



**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ:
ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

**СБОРНИК ТРУДОВ IX ВСЕРОССИЙСКОЙ
(НАЦИОНАЛЬНОЙ) НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ НАУЧНЫХ, НАУЧНО-
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ, АСПИРАНТОВ И
СТУДЕНТОВ**

ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ: ЗАДАЧИ,
ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

**СБОРНИК ТРУДОВ IX ВСЕРОССИЙСКОЙ
(НАЦИОНАЛЬНОЙ) НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ НАУЧНЫХ, НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
РАБОТНИКОВ, АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

Челябинск
2025

УДК 656
ББК 39
С 56

Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения: сборник трудов IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов / [науч. ред. Е.К. Батовская]. – Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет», 2025 – 262 с.

Научный редактор – д.б.н., и.о. зав. кафедрой «Техника и технологии» ОУ ВО «ЮжноУральский технологический университет» Е.К. Батовская

Редактор-корректор – специалист редакционно-издательского отдела, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет» А.Ю. Белайчук

В сборник включены статьи участников IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов «Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения», состоявшейся в г. Челябинске 23 января 2025 г.

ISBN 978-5-6053832-1-5

© ОУ ВО «Южно-Уральский
технологический университет», 2025

© Коллектив авторов, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Электроэнергетика и электротехника

Абдреев К.А., Кузьмин С.В., Рахматуллина Д.Э. Преимущества и недостатки стандартов напряжения США и Великобритании	5
Буторин В.А., Гусейнов Р.Т., Царев И.Б. Тарировка нагруженного устройства подшипникового узла электродвигателей при испытании на надежность долговечность	12
Гильмутдинов Р.Р., Марьин Г.Е. Анализ режимов работы блока ГТУ-КУ на переменном режиме	18
Гиматдинов И.Р. Технологии хранения энергии: ключ к стабильной работе энергосистем	25
Доненко С.Л., Доненко И.Л., Доненко Л.Н. Проблемы и возможности для развития «умных» энергосетей в Бишкеке	32
Калашников Д.С. Применение нейросетей и математических преобразований для эффективной обработки вибрационных сигналов	36
Кочешкова А.М., Грибанов А.А. Анализ применения накопителей электрической энергии в распределительных электрических сетях	41
Малышева Н.Н., Рябов А. А. Создание виртуального тренажёра энергетической системы в webscadant	47
Мартиросян М.Д. Преобразователь сигналов повышенной стабильности с применением матрицы постоянного импеданса	55
Петрова Д.Д., Марьин Г.Е. Предотвращение обледенения элементов воздухозаборного тракта ГТУ энергетических ПГУ	59
Пряшников П.Ф. Алгоритмическое и программное обеспечение построения областей статической устойчивости установившихся режимов электрических сетей	64
Самигуллин Д.С., Марьин Г.Е. Модернизация систем шумоглушения газопускных и выхлопных трактов ГТУ	69

Транспортные технологии

Бешенцев И.Д. Выбор наиболее оптимального вида шинного электрического транспорта для г. Перми на основе расчёта себестоимости	74
Гильмутдинов Р.Р., Марьин Г.Е. Концепция реинжиниринга деталей ГТУ в условиях импортозамещения	85
Лаврин В.Е. Актуальные подходы по снижению ресурсоемкости автомобильной отрасли при разработке транспортных средств	91
Логинов Д.Д. Специальное программное обеспечение для автоматизированного анализа навигационных характеристик локомотивной аппаратуры GNSS	97
Марьин Г.Е., Новоселова М.Н. Работа газовой турбины при добавлении водорода к синтез-газу	108
Мороз А.В., Кузнецова Т.В. Роль электромобилей в логистике и цепочке поставок	114
Никитов В. И., Ходоркова В.М. Разработка новых или усовершенствование существующих технических средств организации движения	118
Ольховатов Д.В., Шевкунова А.В. Повышение устойчивости работы вспомогательной машины электровоза	123
Пустоветов М.Ю. Синтез регуляторов для системы автоматического управления скоростью электровоза	128
Рогожникова Д.Л. Организация распределительной логистики на предприятии	135
Семеновых Г.А., Семеновых А.Г. Анализ качества общественного транспорта в Екатеринбурге	142
Скоробогатов М.Э., Пультяков А.В. Путевой приёмник тональных рельсовых цепей на основе счётчика импульсов	153
Стефановский А.Б. Верификация зависимости между двумя параметрами процессов сгорания и расширения в модели рабочего цикла дизеля	160
Стрыгина В.О. Средства индивидуальной мобильности как способ уменьшения негативного воздействия на экологию города	168
Татаринцев В.А. Подход к обоснованию рационального уровня надежности элемента транспортной машины	173
Токарев В.А., Токарева А.Е., Кузнецов М.Д. Использование искусственных нейронных сетей в дорожной отрасли	184

Тушминцев В.А. Проблема развития грузовых перевозок на железнодорожном транспорте в современных условиях	190
Харлап А.А. Автоматизация управления городского общественного транспорта	194
Хошимжонов А.А., Ибрагимова М.Н. Разработка интеллектуальных транспортных систем на основе технологий ИОТ и искусственного интеллекта	202
Худоногов И.А., Антонов М.С. Устранение повреждений кабельных линий станционной двухсторонней парковой связи	210

Информационные технологии

Аль Уатик Х.С., Пронин С.П. Практика внедрения предиктивного обслуживания на оффшорной ветровой электростанции	216
Батенков К. А. Анализ классов качества функционирования IP сетей	223
Гайфуллин Н.М. Система определения номиналов резисторов по их цветовой маркировке с использованием нейросетевой модели EfficientNet	231
Гейнц А.М., Филимонов А.А., Васёв Д.Э., Лобанов В.С. Экономическое обоснование собственной разработки системы контроля и управления доступом для института	238
Исмаилов Э.М., Гавриленко Т.В. Проблема устойчивости критической инфраструктуры в условиях высокого уровня автоматизации	245
Петровский С.В., Петровский А.В. Использование систем искусственного интеллекта для обеспечения требований по электромагнитной совместимости	250

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СТАНДАРТОВ НАПРЯЖЕНИЯ США И ВЕЛИКОБРИТАНИИ

Абдреев К.А. – студент 1 курса магистратуры, ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»

Кузьмин С.В. – студент 1 курса магистратуры, ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»

Рахматуллина Д.Э. – к.ф.н., доцент кафедры «Иностранные языки», ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»

Аннотация

Выбор стандарта напряжения сети является очень важным вопросом для каждой страны. Частота оказывает очень большое влияние на волновые параметры сети и на размеры электрогенераторов и электродвигателей. Напряжение распределительной сети определяет потери в ней и затраты цветных металлов при производстве проводников, поэтому целесообразность использования того или иного стандарта зависит от ряда факторов, присущих той или иной стране.

Введение

Стандарт напряжения потребительской сети, с одной стороны, выступает не столь сложным вопросом, однако даже человек, непосредственно связанного с электротехникой с легкостью не сможет ответить на вопрос рентабельности того или иного стандарта. Это обусловлено тем, что зачастую мы связаны лишь со стандартом Европейского напряжения, и редко имеем дело с Американскими стандартами. Тем не менее, данный аспект имеет существенное значение в сфере локальных распределительных сетей и даже в экономике страны в целом, имея под собой историческую основу.

В мировой практике применяются два основных стандарта напряжения – это Американский стандарт 100-127В 60Гц и Европейский стандарт, действующий так же в Великобритании 220-240В 50Гц. На рисунке (Рис.1) представлены страны и принятые в них стандарты напряжения [7].

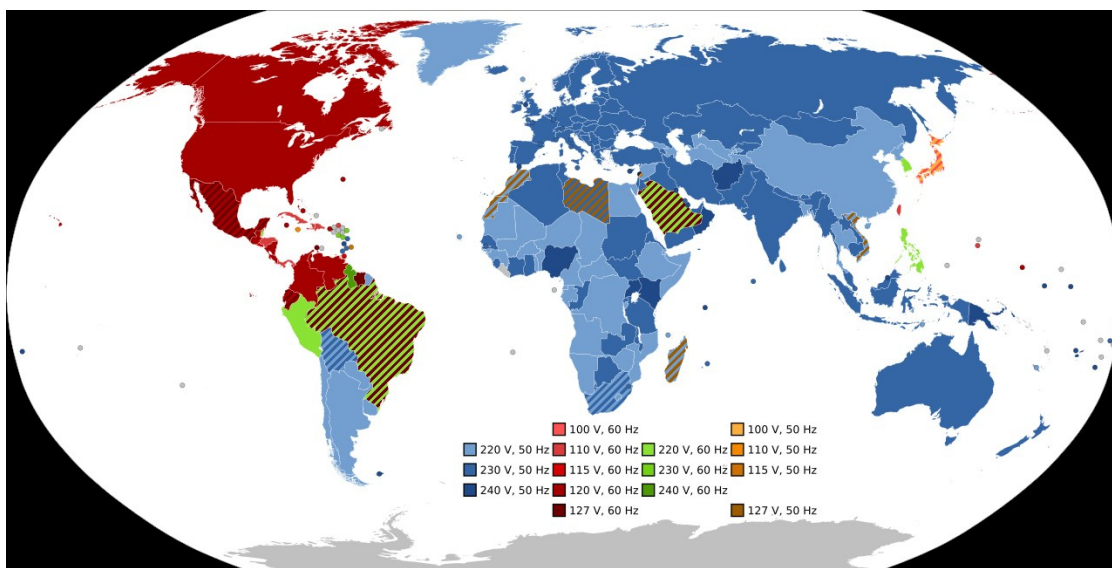


Рис. 1. Мировая карта стандартов напряжения [7]

История стандарта напряжения США

Исторически первые системы электроснабжения, построенные Томасом Эдисоном, функционировали по технологии трёхпроводной сети постоянного тока, где одна фаза выступала нулевым проводником, две другие имели напряжение +100 и -100В. Учитывая потери в линиях, напряжение сети было поднято до +110 и -110В. Такая сеть хорошо подходила для питания лампы накаливания и обеспечения тем самым уличного освещения. Однако со временем Джордж Вестингауз и его переменный ток начал вытеснять постоянный ток. Связано это было в первую очередь с огромными трудностями в преобразовании величины напряжения постоянного тока, в связи с чем все потребители должны были располагаться на расстоянии не более 1,5 км от электростанции. Так же большую роль в переходе на переменный ток играли открытия в области электротехники, в том числе открытия Николы Теслы. С того момента сеть США перешла на переменный ток, однако сохранили стандарт напряжения 100-127В. Частота сети выбиралась из промежутка 40-60 Гц, так как при частоте менее 40 Гц дуговые лампы не могли нормально работать, а при частоте более 60 Гц не функционировали асинхронные электродвигатели Николы Теслы. Предположительно частота сети в 60Гц была выбрана в связи с удобством проведения расчётов, связанных с числом секунд в минуте. В настоящее время в сетях потребителей США проходит переменный ток 120В 60Гц принятый в законодательно в 1967-м году [6].

История стандарта напряжения Великобритании

Великобритания так же была подвержена влиянию борьбы в использовании постоянного и переменного тока. Однако в Европе изначально проводились большие исследования с переменным током, поэтому практически сразу обширное применение нашёл именно переменный ток. Используя лампы с металлическими нитями накала диктовали условия, так как напряжения в 110В для них было недостаточно, поэтому объединением двух кабелей американского производства получали сеть с напряжением в 220В, позднее начали производиться цельные кабели 220В. Это и привело к принятию в Великобритании напряжения 220-240В. Частота сети так же выбиралась из промежутка 40-60 Гц, а также опиралась на предположение о том, что повышение частоты увеличивает потери при передаче на большие расстояния.

Сравнение физических характеристик сети 50 и 60 Гц

Одним из преимуществ частоты 60 Гц, как уже было сказано ранее, это удобство работы с ней при расчётах, так как в минуте 60 секунд. Вторым достоинством сети 60 Гц является то, что трансформаторы при ней имеют меньшие габариты, чем для системы с частотой 50 Гц. То же касается электродвигателей, это видно из формулы мощности электродвигателя.

$$P_{эд} = F_{тяг} \cdot n \cdot r \cdot 2 \cdot \pi \quad (1)$$

где $F_{тяг}$ – сила тяги электродвигателя, Н; n – частота вращения Гц; r – радиус вала, м. Как видно из формулы, мощность и частота – прямо пропорциональны. А, следовательно, выходная мощность электродвигателей и электрогенераторов при 60 Гц будет выше, чем у аналогов того же размера, но с частотой 50 Гц.

С другой стороны, потери в сети 60 Гц будут выше, чем в сети 50 Гц при передаче на высоком напряжении на дальние расстояния. Это связано с тем, что чем выше напряжение сети, тем сильнее в ней преобладают индуктивные потери, которые, в свою очередь, прямо пропорциональны частоте.

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (2)$$

где X_L – индуктивное сопротивление, Ом; ω – круговая частота переменного тока, рад/сек; L – индуктивность, Гн; f – частота Гц.

Так же волна более стабильна при передаче на большие расстояния именно частотой 50 Гц нежели частотой 60 Гц, эту закономерность можно вывести из формулы коэффициента фазы:

$$\beta_{50} = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_l} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{v_b} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3 \cdot 10^5} = 0,00105 \frac{\text{рад}}{\text{км}} = 0,06 \frac{\text{град}}{\text{км}} \quad (3)$$

$$\beta_{60} = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{л}}} = \frac{2\pi \cdot f}{v_{\text{в}}} = \frac{2\pi \cdot 60}{3 \cdot 10^5} = 0,00125 \frac{\text{рад}}{\text{км}} = 0,072 \frac{\text{град}}{\text{км}} \quad (4)$$

где β_{50}, β_{60} – коэффициенты фазы при 50 и 60 Гц, рад/км; $\lambda_{\text{л}}$ – длина волны в линии, км; f – частота волны, Гц; $v_{\text{в}}$ – скорость волны равна скорости света 300 000 км/с [5].

Из формулы видно, что при передаваемый частотой 50 Гц ток менее подвержен изменению фазы.

Сравнение физических характеристик сети 100-127 В и сети 220-240В

Наиболее явным отличием являются большие потери в сети 100-127 В. Так как напряжение и ток обратно пропорциональны, в сети с меньшим напряжением пропорционально будет выше ток при той же мощности, а, следовательно, и большие потери, однако потери уже зависят от квадрата тока.

$$P_{\text{пот}} = I_{\text{пот}} \cdot U_{\text{ном}} \quad (5)$$

$$\Delta P = I_{\text{пот}}^2 \cdot R \quad (6)$$

где $P_{\text{пот}}$ – мощность потребителя, Вт; $I_{\text{пот}}$ – ток потребителя, А; $U_{\text{ном}}$ – напряжение потребителя, В; ΔP – потери мощности, R – сопротивление, Ом.

Именно по этой причине в странах с американским стандартом напряжения большей частью не используются распределительные сети. Среднее напряжение преобразуется непосредственно у самого потребителя компактными трансформаторными подстанциями (ТП) они обычно носят названия распределительных трансформаторов (от англ. distribution transformer). Строение этих трансформаторов так же необычно. Стандартный европейский распределительный трансформатор (рис.2) преобразует три фазы высокого напряжения в три фазы низкого напряжения. Они идут вдоль всех потребителей, и каждый потребитель имеет отпайку от одной фазы и нулевой провод (речь идет о потребителе однофазного тока). В случае сети 100-127В, среднее напряжение преобразуется непосредственно у потребителя в распределительных трансформаторах (рис.3). Такой трансформатор имеет отвод от середины, который заземляется, и получаются две цепи, работающие в противофазе, тем самым к каждому потребителю подходит три провода. Обычные электроприёмники подключаются к напряжению 100-127 В через фазный провод и заземлённую нейтраль, более мощные электроприёмники подключаются уже к линейному напряжению 200-250 В, через 2 фазы [2, 3, 4].

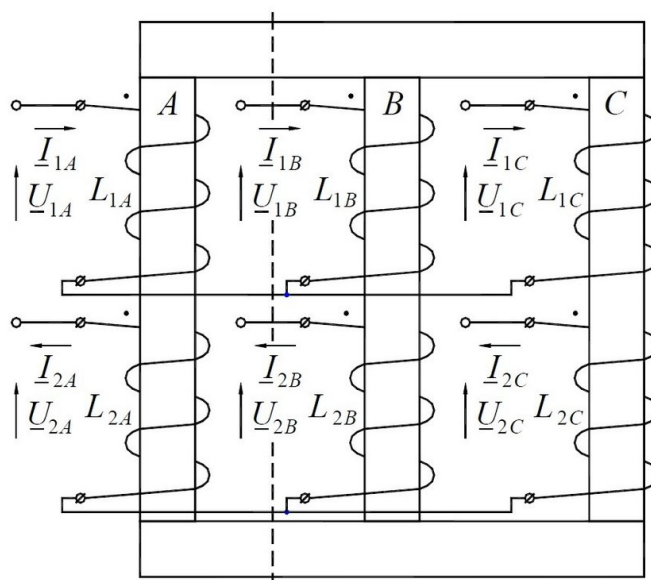


Рис. 2. Стандартный трёхфазный трансформатор [1]

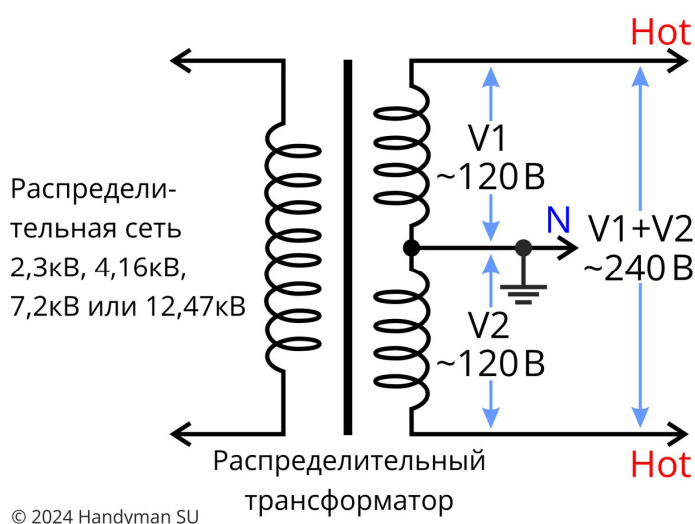


Рис. 3. Схема распределительного трансформатора 100-127 В [1]

Таким образом, можно отметить, что сеть 210-230В более проста в монтаже, так как отсутствует третий провод. Она более гибкая в связи с тем, что к любой розетке можно подключить мощный электроприёмник, поэтому ее легче обслуживать, а сами провода имеют меньшие потери. При этом каждая ТП является более мощной и питает районы, а не отдельных потребителей. Использование меньшего числа более мощных трансформаторов более экономически целесообразно, так как более мощный трансформатор, как правило, имеет меньшие потери в процентном соотношении, чем менее мощный.

В сетях 100-127В расположение трансформаторов ближе к потребителю помогает сократить потенциальные потери. Кроме того, такие сети менее затратны со стороны используемых материалов проводников по сравнению с материалами, применяемыми в европейской однофазной схеме.

Выводы

Суммируя достоинства и недостатки напряжения и частоты каждого стандарта, можно заключить следующее. Американский стандарт ориентирован на экономию в распределительных сетях. Преобразование напряжения до более высокого уровня непосредственно у потребителя позволяет снизить потери в указанных сетях. Преимуществом данных сетей также является использование менее затратных материалов проводников и меньший размер электрогенератора и электродвигателей при частоте 60 Гц. Такое решение целесообразно в условиях стран с большой плотностью населения, а также тех областей, в которых целесообразно использование множества маломощных трансформаторов для уменьшения потерь электроэнергии и экономии цветных металлов. Европейский стандарт в первую очередь экономит электроэнергию на потерях при передаче на дальние расстояния. Также данные сети более простые по конструкции, так как потребитель любой мощности может подключиться к любой розетке, а увеличенное напряжение в сетях потребителя имеет меньшие потери. Обсуждаемый стандарт подходит для стран с невысокой плотностью населения и большими территориями, где активно происходит передача электроэнергии на дальние расстояния, при этом простота и удобство распределительной сети более приоритетны, чем экономия на потерях электроэнергии и материалах.

Таким образом, несмотря на существенную разницу в стандартах напряжения, каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Использование американского стандарта в США, а Европейского в Великобритании более чем оправданы. Каждая страна имеет свои особенности территории, демографии, ископаемых и промышленных ресурсов, следовательно, каждая из них выстраивает свой стандарт напряжения, опираясь на эти факторы.

Список используемых источников

1. Американские стандарты напряжения – 120, 208, 240, 277, 480 Вольт. Электрика / Handy man. [Электронный ресурс]. URL: <https://handyman.su/us-electricity> (дата обращения: 07.12.2024).

2. Елпидифоров В. Распределительные сети Великобритании // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 1(28). С. 116-123.
3. Елпидифоров В. Распределительные сети Великобритании. Окончание // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 2(29). С. 118-128.
4. Мельник А.О. Исследование характеристик комбинированной распределительной сети для электроснабжения удаленных потребителей / А. О. Мельник // СТУДЕНТ года 2021: сборник статей II Международного учебно-исследовательского конкурса: в 6 ч., Петрозаводск, 15 декабря 2021 года. Том Часть 3. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2021. С. 10-22.
5. Петрова Д.А., Болотина Е.Д., Болотина А.Б. Анализ разницы в значениях коэффициента фазы при расчете по полной и упрощенной формуле // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2022. № 5.
6. Рылов А. Переменный или постоянный: «война токов» продолжается // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 4. С. 54-57.
7. Electric Current Abroad, 2002 edition. U.S. Department of Commerce International Trade Administration February 2002 / WebCite, What's this? [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3KXTCT> (date of treatment: 07.12.2024).

ТАРИРОВКА НАГРУЖЕННОГО УСТРОЙСТВА ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА НАДЕЖНОСТЬ

Буторин В.А. – д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Гусейнов Р.Т. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Царев И.Б. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

В работе направлена, что для возможности использования активного планирования эксперимента при оценке надежности подшипниковых узлов электродвигателей, воздействующих факторов должны в процессе опытов иметь строго постоянные значения. В работе приведена конструктивная схема испытательного стенда с устройством нагружения с различным сжатием исследуемых подшипниковых узлов с применением оснастки. Для возможности исследования стенда узла результаты тарирования пружины его нагрузочного устройства.

Введение. Существующие стенды ускоренных испытаний на надежность подшипниковых узлов электродвигателей [1, 2] обнаружен ряд недостатков. Наиболее существенных из них является фиксированная нагрузка на подшипниковые узлы электродвигателей при их испытаниях на надежность [3, 4, 5]. Известно, что формирования нагрузок приводит к испытанию картины изнашивания объекта, а это в свою очередь к существенным трудностям при оценке коэффициента ускорения при оценке достоверных результатов надежности испытываемых электродвигателей [6, 7, 8]. К настоящему времени появляются работы ускоренной оценки надежности электрооборудования по результатам испытаний на нормальных (эксплуатационных) режимах работы [9, 10, 11].

Один из вопросов является установление на стендах режимов, соответствующих реальным условиям эксплуатации [12, 15, 16].

Цель исследования – провести тарировку нагрузочного устройства на подшипниковые узлы электродвигателя, обеспечивающей постоянную эксплуатационную нагрузку в процессе испытаний электродвигателей на надежность.

Методы и материалы. В отличие от предыдущих работ по методике ускоренных испытаний подшипниковых узлов электродвигателей в настоящей работе ускорение испытаний будет осуществляться за счет использования теории активного планирования эксперимента [1, 13, 14]. В предыдущих работах усилие на подшипниковый узел возрастает во время опыта за счет увеличения силы одностороннего магнитного притяжения из-за износа подшипников. В настоящей работе постоянное усилие на подшипниковый узел обеспечивается пружиной. Для электродвигателей небольшой мощности можно использовать пружины с индексом $C = 3,6$ или $C = 5,75$.

Значение индекса C находится из формулы [1]

$$C = \frac{D_0}{d}$$

где D_0 – средний диаметр пружины, мм;

d – диаметр проволоки пружины, мм.

Конструкция разрабатываемого стенда с использованием нагрузочного устройства на основе пружины, представленной на рисунке 1.

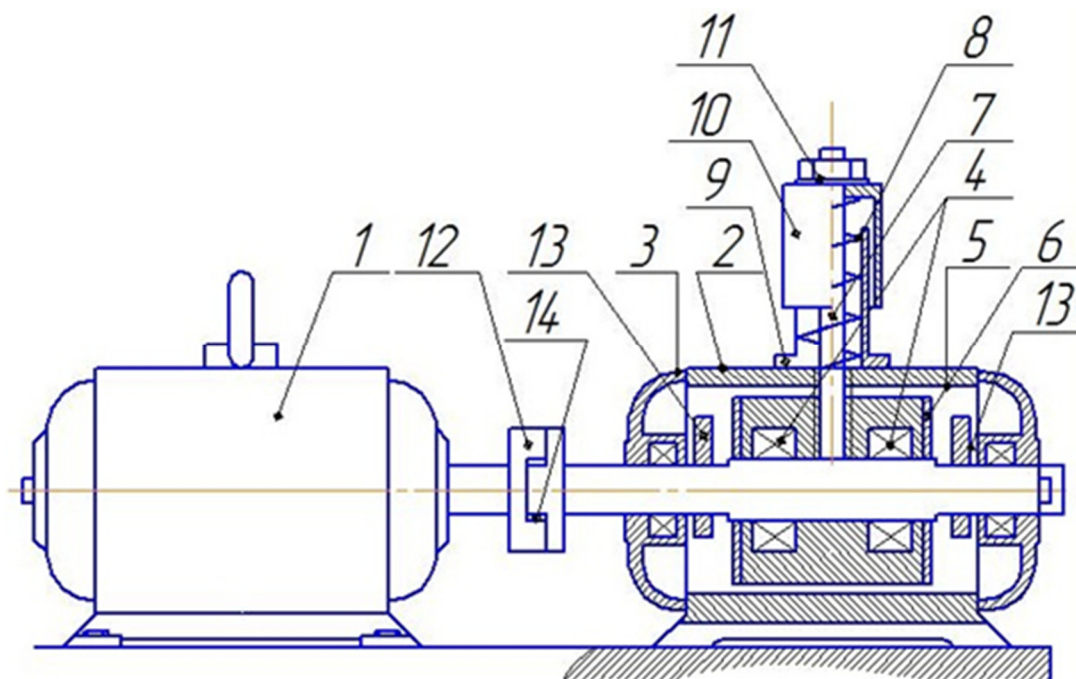


Рис. 1. Принципиальная схема стенда для износных испытаний подшипниковых узлов электродвигателей [1]

1 – приводной электродвигатель; 2 – испытываемый электродвигатель; 3 – подшипниковый щит; 4 – технологический подшипник; 5 – каретка; 6 – крышка; 7 – шток; 8 – пружина; 9 – стакан; 10 – дно стакана; 11 – регулировочная гайка; 12 – эксцентрик; 13 – упругая муфта; 14 – крестовина

Стенд включает приваренной 1 и испытываемой 2 электродвигатель. На подшипниковый щит 3 испытуемого электродвигателя клемме тензодатчика, усилие на испытываемые подшипниковые узлы передаются через технологические подшипники 4, установленные в каретке 5, к торцам которой крепятся крышки 6. В каретке нарезана резьба для штока 7, который передает усилие от пружины 8 на исследуемые подшипниковые узлы. Нижняя часть пружины помещается в стакане 9, верхняя часть - в дне стакана 10. Установка необходимого постоянного усилия регулируется посредством гайки 11. Переменное усилие на испытываемые подшипниковые узлы осуществляются эксцентриками 12. Электродвигатель подверженный испытаниям соединяется приводом через муфту 13, которые состоят из крестовины 14 [1, 13, 14].

Результаты исследований. Как уже отмечалось выше, для реализации любого плана матрицы активного планирования эксперимента при испытаниях, одним из главных условий его реализации является строго постоянные значения составных воздействующих на контролируемый параметр факторов. В настоящей работе этим фактором является постоянное усилие, передаваемое на подшипниковый узел в процессе эксперимента. Это усилие в предлагаемом стенде осуществляется определённым сжатием пружины. Результаты тарировки пружины с индексом $C=3,6$ при $D_0 = 54\text{мм}$ и $d= 15\text{ мм}$ представленных в таблице 1.

Табл. 1.

Пример результатов тарировки пружины с индексом $C = 3,6$

№ п/п	Усилие Нагрузки, кГс	Величина сжатия пружины, мм						
		Прямой ход			Обратный ход			Среднее значение
		1	2	3	4	5	6	
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	40	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
3	80	2,8	2,7	2,6	2,9	2,8	2,8	2,8
4	120	4,2	4,1	4,2	4,1	4,0	4,0	4,1
5	160	5,7	5,5	5,3	5,5	5,5	5,4	5,5
6	200	7,0	6,9	6,9	7,0	8,6	6,7	6,9
7	240	8,3	8,3	8,2	8,5	8,2	8,3	8,3

8	280	9,6	9,5	9,6	9,8	9,5	9,7	9,6
9	320	11,1	10,8	10,9	11,5	11,0	11,1	11,1
10	360	12,4	12,1	12,1	12,4	12,3	12,4	12,3
11	400	13,9	13,5	13,8	13,7	13,8	14,0	13,8
12	440	15,3	15,2	15,2	15,1	15,2	15,1	15,2

Источник: составлено автором

Выводы. Проведенные в настоящей работе исследования могут быть использованы при проведении стендовых испытаний надежности подшипниковых узлов электродвигателей мощностью до 5 кВт, при этом обеспечивается необходимый уровень воздействия постоянного усилия на работоспособность данных электродвигателей. Постоянство воздействия основных факторов обеспечивает возможность использования при опытах теории активного планирования эксперимента, что существенно снижает материальные затраты на оценку надежности подшипниковых узлов электродвигателей.

Список используемых источников

1. Амплитуда колебаний частоты вращения ротора как параметр оценки эксцентриситета ротора асинхронного двигателя / А. Ю. Прудников, В. В. Боннет, М. Н. Герасимова [и др.] // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2016. № 10. С. 70-73. EDN XVFRAN.
2. Боннет В.В., Логинов А.Ю., Потапов В.В. Уровень технического состояния асинхронного двигателя и его влияние на надежность функционирования производственного процесса // Вестник КрасГАУ. 2012. № 9 (72). С. 200-203.
3. Буторин В.А., Гусейнов Р.Т. Основные факторы, влияющие на ресурс подшипниковых узлов погружных электродвигателей // Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы LIII международной научно-технической конференции, Челябинск, 30 января – 01 2014 года / под редакцией П. Г. Свечникова. Том Часть III. Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2014. С. 241-246.
4. Буторин В.А. Прогнозирование ресурса подшипниковых узлов электродвигателей по результатам стендовых испытаний (на примере их работы в

условиях животноводческих ферм): Дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1980. 196 с.

5. Буторин В.А., Гусейнов Р.Т. Разработка испытательного стенда для проведения ресурсных испытаний упорного подшипника погружного электродвигателя марки ПЭДВ // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 2(30). С. 64-68.

6. Буторин В.А., Гусейнов Р.Т. Разработка электрической схемы для проведения ресурсных испытаний упорного подшипникового узла погружного электродвигателя // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2014. № 3. С. 46-49.

7. Буторин В.А., Гусейнов Р.Т. Факторы, влияющие на упорные подшипниковые узлы погружных электродвигателей // Перспективы развития АПК в работах молодых учёных: Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых учёных, Тюмень, 05 февраля 2014 года / Министерство сельского хозяйства РФ ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья». Том Часть 1. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья 625003 Тюмень, ул. Республики 7, 2014. С. 191-195.

8. Гусейнов Р.Т., Бабыкин Е.В. Зависимость скорости изнашивания элементов подшипниковых узлов от действующих факторов // Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы ЛП международной научно-технической конференции, Челябинск, 24–26 января 2013 года. Том Часть V. Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2013. С. 155-158.

9. Гусейнов Р.Т., Царев И.Б., Новик И.В. Место оптимизации резерва запчастей электроремонтных предприятий АПК в обобщенном предмете теории эксплуатации электрооборудования // Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения: сборник трудов VIII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов, Челябинск, 25 января 2024 года. Челябинск: Южно-Уральский технологический университет, 2024. С. 25-31.

10. Гусейнов Р.Т., Царев И.Б. Управление запасами складов электроремонтных предприятий АПК районного уровня // Актуальные вопросы естественных, экономических, гуманитарных наук и энергетики в АПК: теория и

практика: Материалы Национальной (Всероссийской) научной конференции Института агроинженерии, Челябинск, 12–13 декабря 2023 года. Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2023. С. 197-202.

11. Прудников А.Ю., Боннет В.В., Герасимова М.Н. Диагностический комплекс исследования работы асинхронного двигателя в переходных режимах // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VII международной научно-практической конференции, Саратов, 18 апреля 2016 года / Под общей редакцией Трушкина В.А. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2016. С. 189.

12. Прудников А.Ю., Боннет В.В., Логинов А.Ю. Анализ методов определения работоспособности асинхронных электродвигателей в процессе эксплуатации // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Саратов, 01–30 апреля 2013 года / Под редакцией А.В. Павлова. Саратов: ООО ПКФ «Буква», 2013. С. 273-276.

13. Прудников А.Ю., Боннет В.В., Логинов А.Ю. Экспериментальная проверка способа диагностирования эксцентриситета ротора асинхронного двигателя // Вестник КрасГАУ. 2015. № 11(110). С. 73-77.

14. Прудников А.Ю., Боннет В.В., Логинов А.Ю. Экспериментальная установка для диагностики статического эксцентриситета ротора асинхронных двигателей // Актуальные вопросы аграрной науки. 2022. № 45. С. 13-21.

15. Тонкушин Н.В., Гусейнов Р.Т. Предмонтажная подготовка электродвигателей // Молодежь и наука – 2024. Технические системы в агропромышленном комплексе: Сборник статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург, 13 марта 2024 года. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2024. С. 32-35.

16. Устюгов П.О., Гусейнов Р.Т. Диагностика асинхронных электродвигателей // Молодежь и наука – 2024. Технические системы в агропромышленном комплексе: Сборник статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург, 13 марта 2024 года. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2024. С. 43-45.

17. Царев И.Б., Гусейнов Р.Т., Новик И.В. Место оптимизации аварийного резерва районов электрических сетей в обобщенном предмете теории эксплуатации электрооборудования // Современная техника и технологии в электроэнергетике и

на транспорте: задачи, проблемы, решения: сборник трудов VIII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов, Челябинск, 25 января 2024 года. Челябинск: Южно-Уральский технологический университет, 2024. С. 80-86.

18. Царев И.Б., Гусейнов Р.Т., Мартыненко П.Е. Планирование эксперимента при изучении скорости изнашивания подшипников электродвигателей // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VIII международной научно-практической конференции, Саратов, 01–30 апреля 2017 года. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2017. С. 295-299.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БЛОКА ГТУ-КУ НА ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

Гильмутдинов Р.Р. – студент, ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет»

Марьин Г.Е. – к.т.н., доцент, ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация

В данной работе был проведен анализ функционирования блока «газотурбинная установка – котел-утилизатор» в условиях переменного режима работы с применением различных программ управления. На основе проведенных исследований были оптимизированы диапазоны управления установкой, что позволило эффективно распределять электрическую и тепловую нагрузку в зависимости от текущих условий эксплуатации.

В последние годы наблюдается рост числа строящихся энергообъектов, использующих газотурбинные установки с котлами-утилизаторами (ГТУ-КУ) для работы в когенерационном режиме. С увеличением срока эксплуатации такого оборудования растут требования и задачи, которые необходимо решать для обеспечения эффективной работы таких энергетических систем [2].

Газотурбинные установки с котлами-утилизаторами, введенные в эксплуатацию в конце 90-х годов, первоначально предназначались для работы в параллельном режиме с электрическими и тепловыми сетями. Примеры таких установок включают ТЭЦ в Электростали (1999 год – ГТЭ25У+ГПСВ) и Безымянскую ТЭЦ (1999 год – НК-37+К40/1,4). Обычно эти установки размещались на площадках существующих теплоэлектростанций. В настоящее

время когенерационные электростанции, использующие газотурбинные установки с котлами-утилизаторами, также могут работать автономно, обеспечивая энергоснабжение для одного потребителя, как это происходит на Нарьян-Марской ГТЭС.

Работа блока «газотурбинная установка – котел-утилизатор» в условиях теплового графика для двухвальной ГТУ, выполненной по простому циклу без регулируемого соплового аппарата и регулируемого входного направляющего аппарата, характеризуется рядом особенностей. Газотурбинная установка работает параллельно с электрической сетью, при этом другие энергоблоки сети участвуют в поддержании частоты, что позволяет поддерживать частоту вращения ротора турбогенератора и силовой турбины в пределах, соответствующих ГОСТ 29328-92 [3,4].

В таких условиях блок газотурбинной установки с котлом-утилизатором (ГТУ-КУ) должен обеспечивать эффективную работу в переменных режимах, включая участие в регулировании частоты электрической сети и возможность функционирования по тепловому графику потребления [2]. Это предполагает высокую гибкость и адаптивность системы для удовлетворения динамических требований энергоснабжения.

При работе газотурбинной установки по электрическому графику в системе используется контур регулирования частоты вращения ротора и мощности. Программное обеспечение управления ГТУ динамически регулирует работу установки в зависимости от заданной электрической мощности, обеспечивая точное соответствие вырабатываемой энергии текущим потребностям.

В этом режиме, обозначаемом условно как режим I, температура и расход газов за турбиной изменяются пропорционально изменению электрической нагрузки. Это требует высокой точности в управлении рабочими параметрами установки, чтобы минимизировать потери и поддерживать эффективность системы на всех этапах ее эксплуатации.

Электрическая сеть при этом способна воспринимать изменения электрической мощности турбогенератора. Регулирование тепловой мощности осуществляется с помощью единственного регулирующего фактора – регулирования расхода топлива. Однако регулирование электрической мощности в этом режиме невозможно без дополнительных регулирующих факторов. Температура газов за ГТУ в этом режиме поддерживается на заданном уровне. При работе по программе управления I задача выработки и утилизации тепла за ГТУ

является вторичной по отношению к выработке электрической мощности, а тепловая нагрузка утилизируется по остаточному принципу. В то время как при переходе на программу управления II регулирование выработки электрической мощности становится невозможным без дополнительных регулирующих факторов.

В режиме работы II перераспределение теплоперепадов между силовой турбиной и турбиной компрессора осуществляется иначе, чем в режиме I, где газотурбинная установка работает на электрическую нагрузку при номинальной мощности. Это перераспределение влияет на баланс энергии между компонентами установки, изменяя характеристики работы турбин в зависимости от условий эксплуатации.

Для обоих режимов (I и II) параметры работы блока «газотурбинная установка – котел-утилизатор» существенно зависят от температуры наружного воздуха. Понижение температуры окружающей среды способствует увеличению плотности воздуха, что приводит к росту массового расхода через компрессор, улучшению термодинамических характеристик установки и, как следствие, повышению мощности и КПД системы.

Это приводит к значительным различиям в выходных параметрах ГТУ в зависимости от выбранного режима работы. Для анализа работы блока рассмотрим газотурбинную установку ГТЭС-16ПА, производимую ОАО «Авиадвигатель», и водогрейный котел-утилизатор К-20-150Н, производимый ЗАО СО «Белэнергомашпроект». ГТЭС-16ПА создана на базе двигателя ПС90ЭУ-16А, который был разработан ОАО «Авиадвигатель» совместно с компанией UTC/Pratt & Whitney Group. Этот двигатель используется для привода синхронного трехфазного турбогенератора Т-16-2РУХЛЗ.

Двигатель ПС-90ЭУ-16А является газотурбинной двухвальной установкой, включающей турбокомпрессорный вал и вал свободной турбины. В конструкции предусмотрена свободная турбина, состоящая из четырех ступеней, с номинальной скоростью вращения 3000 об/мин. Выходной вал этой турбины используется для передачи энергии синхронному турбогенератору.

Водогрейный котел К-20-150Н представляет собой водотрубный агрегат противоточного типа, выполненный в горизонтальной компоновке.

При расчетах работы ГТУ для режимов I и II использовались следующие параметры. Для режима II уставка температуры газов за силовой турбиной была установлена на уровне 480°C, что обеспечивает оптимальный контроль тепловых процессов при работе установки в условиях повышенной нагрузки. В режиме I уставка

мощности ГТУ была принята равной номинальной мощности – 16,3 МВт, что соответствует полной загрузке агрегата. Температура уходящих газов за котлом-утилизатором для обоих режимов была задана на уровне 130°C, что обеспечивает стабильную работу системы утилизации тепла.

Коэффициент полезного действия (КПД) турбогенератора принят равным 97%, при этом электрический КПД ГТУ рассчитывался на клеммах турбогенератора. Потери рабочего тела по тракту на охлаждение и утечки составляют 6,5%, что учитывается при определении реальной эффективности системы. КПД камеры сгорания ГТУ в номинальном режиме был принят равным 99,5%, а её гидравлическое сопротивление – 4%, что обеспечивает высокую степень сжигания топлива и минимальные потери давления.

Топливом для ГТУ служит природный газ с теплотворной способностью 44300 кДж/кг. Тепловая мощность, получаемая за ГТУ, определялась как располагаемая мощность, то есть та, которая может быть утилизирована при заданном перепаде температур рабочего тела. Такой подход к расчетам позволяет обеспечить точность прогнозирования характеристик и оптимальную настройку оборудования.

Вариантные расчеты проводились в диапазоне температур наружного воздуха от +15 до -35°C для степени расширения турбины от 11 до 25. Методика расчета блока на переменный режим по программе управления I является широко известной. В то время как методика расчета блока для переменного режима по программе управления II была разработана авторами на основе существующих зависимостей и отличается от метода для режима I. В частности, расчеты для режима II начинаются с исходных данных о температуре газов на выходе из турбины, что является ключевым отличием от расчетов для режима I, где основным исходным параметром является температура газов на выходе из котла.

Значения КПД для режима работы II оказываются выше значений КПД для режима I при степени расширения турбины в диапазоне от 18 до 11, что соответствует режиму работы с пониженной электрической нагрузкой газотурбинной установки (ГТУ). Это связано с тем, что при меньшей электрической нагрузке газотурбинная установка работает в условиях, при которых потери тепла меньше, а процесс сгорания в камере происходит с большей эффективностью. Такие условия способствуют улучшению КПД, поскольку значительная часть энергии, выделяющаяся при сгорании, используется на производство тепла, которое можно утилизировать, а не тратится на генерацию электрической мощности. В свою очередь, при степени расширения турбины в диапазоне от 18 до 25, что соответствует режиму работы с номинальной и

повышенной электрической нагрузкой, значения КПД для режима работы II оказываются ниже значений для режима I. Это связано с тем, что при высокой электрической нагрузке требуется более интенсивное использование энергии, что увеличивает потери на охлаждение и утечку рабочего тела, что снижает общий КПД установки.

Что касается располагаемой тепловой мощности, то она в режиме работы I оказывается выше, чем в режиме работы II при степени расширения турбины от 11 до 17. Это объясняется тем, что при более низкой степени расширения газов температура рабочих газов за турбиной выше, что позволяет эффективно утилизировать большее количество тепла для отопления или иных нужд, а также способствует более высокому тепловому КПД установки. Однако, в диапазоне изменений степени расширения турбины от 17 до 25, значения располагаемой тепловой мощности на режиме работы I оказываются ниже значений на режиме работы II. Это связано с тем, что при увеличении степени расширения турбины повышается степень использования тепла для производства электрической энергии, что уменьшает тепловую мощность, доступную для утилизации.

Особенность этих двух режимов заключается в том, что при изменении температуры наружного воздуха кривые значений располагаемой тепловой мощности для обоих режимов сливаются в одну линию. Это подтверждает, что тепловая мощность, доступная для утилизации, сильно зависит от внешней температуры, и этот фактор оказывает значительное влияние на работу установки, особенно в условиях изменяющихся климатических условий. При степени расширения, равной 17, кривые пересекаются, что указывает на точку, где тепловая мощность начинает уменьшаться на режиме работы I и становится больше на режиме работы II. Это также свидетельствует о сложной взаимосвязи между степенью расширения турбины и теплообменом в газотурбинной установке [3].

Таким образом, при работе газотурбинной установки (ГТУ) на режимах с пониженной тепловой и электрической нагрузкой более экономичным становится режим работы II. Этот режим характеризуется более высокими значениями КПД по сравнению с режимом I, что особенно важно при работе на частичной или пониженной мощности. Когда ГТУ работает в этом режиме, потребление топлива снижается, так как установка эффективно использует теплоту сгорания для поддержания работы на пониженных нагрузках, что позволяет снизить общие эксплуатационные расходы и улучшить эксплуатационные характеристики установки.

Однако, несмотря на более высокие значения КПД, есть ряд факторов, которые требуют более внимательного анализа при использовании такого режима работы. Во-первых, понижение значений располагаемой тепловой мощности по сравнению с режимом I приводит к уменьшению доступной тепловой энергии для утилизации, что может стать ограничивающим фактором, особенно в условиях, когда необходимо обеспечить высокие тепловые нагрузки или поддержание теплового графика. В условиях работы по тепловому графику, когда требуются значительные объемы тепла для отопления или других технологических процессов, режим II может не быть достаточно эффективным, так как тепловая мощность утилизируется по остаточному принципу.

Важно отметить, что использование режима работы II в качестве основной рабочей программы для блока ГТУ-КУ будет зависеть от того, какой цели он должен служить. Если установка работает в режиме обеспечения тепловой мощности для автономного потребителя или в когенерационном режиме, где требуется значительная доля тепловой энергии для внешних потребностей, то переход на работу по тепловому графику может привести к снижению общей эффективности системы. Однако для чисто электрической генерации, где тепловая нагрузка имеет меньший приоритет, режим II может быть более выгодным. Окончательное решение о применимости такого режима работы будет зависеть от конкретных эксплуатационных условий, задач и экономических факторов, которые необходимы для достижения оптимальной производительности и минимизации затрат.

Работа газотурбинной электростанции (ГТЭС) с водогрейным котлом-утилизатором по тепловому графику имеет свои особенности и ограничения, которые зависят от уровня электрической мощности, на которой работает установка. В диапазоне электрической мощности от 0,7 до 1,2 N_e работа по тепловому графику характеризуется пониженным электрическим КПД и тепловой мощностью, что обусловлено необходимостью поддержания теплового графика с учетом ограничения по производимому количеству электроэнергии. В этом диапазоне КПД на режиме работы по электрической нагрузке будет более высоким, так как работа по электрическому графику оптимизирует использование топлива для генерации электрической энергии [5].

Однако, если требуется работа на максимальную тепловую нагрузку, то режим работы по тепловому графику с пониженным КПД может быть более выгодным, особенно если задача состоит в обеспечении постоянной и стабильной подачи тепла для внешних нужд, таких как отопление или промышленные процессы, которые

требуют значительных объемов тепла. В этом случае, несмотря на пониженные электрические характеристики, использование тепловой энергии остается приоритетом.

Сравнивая оба режима работы по программам управления I и II, можно утверждать, что программа II предпочтительнее в диапазоне электрической мощности менее 11,5 МВт. В этом диапазоне работы установка по программе II показывает более высокие показатели эффективности и экономичности, что делает её оптимальной для эксплуатации в условиях ограниченной электрической нагрузки.

В то же время, при повышении электрической мощности выше 11,5 МВт, программа работы II начинает показывать пониженные значения электрического КПД по сравнению с программой I. Это связано с тем, что на высоких нагрузках необходимо большее количество энергии для поддержания работы установки, что приводит к снижению общего КПД установки. Однако, если бы был предусмотрен дополнительный регулирующий фактор, например, более точное управление температурой или системой сжигания, можно было бы повысить электрический КПД при таких режимах работы и улучшить общую эффективность.

Выбор между режимами работы по программам управления зависит от конкретных эксплуатационных условий и требуемой комбинации электрической и тепловой мощности. Программа II предпочтительна для работы на сниженной электрической мощности, особенно если приоритетом является обеспечение тепловой энергии, в то время как программа I будет более выгодна при максимальной электрической нагрузке, обеспечивая лучшие показатели КПД для генерации электроэнергии.

Список используемых источников

1. Илюшин П.В. Анализ влияния распределённой генерации на алгоритмы работы и параметры настройки устройств автоматики энергосистем // Энергетик. 2018. № 7. С. 21-26.
2. Илюшин П.В. Анализ влияния распределённой генерации на алгоритмы работы и параметры настройки устройств автоматики энергосистем // Энергетик. 2018. № 7. С. 21-26.
3. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11, № 3(43). С. 47-56.

4. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: Издательство МЭИ, 2002. 584с.

5. Mendelev D.I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants E3S Web of Conferences: 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. Kazan: EDP Sciences, 2019. P. 05061.

ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ: КЛЮЧ К СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Гиматдинов И.Р. – студент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация

Статья посвящена анализу современных технологий хранения энергии как ключевого элемента стабильной работы энергосистем. Рассматриваются основные типы систем хранения, их роль в интеграции возобновляемых источников энергии и повышении надежности энергосетей. Особое внимание уделено экономическим и экологическим аспектам. Приводятся ключевые вызовы и возможные пути их преодоления, подчеркивается важность государственной поддержки и международного сотрудничества.

Введение

Современная энергетика переживает эпоху значительных изменений, связанных с активным внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и цифровизацией инфраструктуры. Однако такие источники, как солнечная и ветровая энергия, характеризуются нестабильностью выработки, что создает серьезные вызовы для энергосистем. В этих условиях технологии хранения энергии играют ключевую роль [5], обеспечивая баланс между генерацией и потреблением электричества, повышение надежности сетей и снижение пиковых нагрузок.

Развитие систем хранения энергии не только способствует эффективной интеграции ВИЭ, но и открывает новые возможности для децентрализации энергоснабжения, создания автономных систем и повышения энергетической устойчивости. Такие технологии востребованы не только в масштабных энергетических проектах, но и в промышленности, транспорте и даже в бытовом секторе.

Целью данной работы является рассмотрение современных технологий хранения энергии, их роли в обеспечении стабильной работы энергосистем, а также перспектив их развития.

Виды хранения энергии

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) являются важным элементом современных систем хранения энергии, особенно в контексте повышения стабильности энергосистем [1]. Эти станции используют принцип гравитационного хранения электроэнергии, объединяя насосы и генераторы, включая реверсивные гидрогенераторы.

В периоды низкого энергопотребления, например, ночью, насосы перекачивают воду из нижнего резервуара в верхний, используя избыточную и более дешевую электроэнергию. В часы пикового потребления (утром и вечером) вода спускается обратно в нижний резервуар, вращая турбины, что позволяет вырабатывать энергию для покрытия возросших нужд энергосистемы.

Такие системы обеспечивают маневренность, позволяя быстро регулировать частоту в энергосети. КПД ГАЭС составляет около 70-85%, а их срок службы достигает 40 лет. Они обладают высокой мощностью и стабильностью, что делает их ключевыми элементами для балансировки энергосистем с высокой долей возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Однако на пути широкого внедрения гидроаккумулирующих технологий стоят две основные проблемы:

1. Для строительства таких станций требуется местность с существенным перепадом высоты, что ограничивает выбор подходящих территорий.
2. Создание ГАЭС связано с затоплением значительных площадей, что приводит к испарению воды, изменению местных экосистем и потере биоразнообразия.

Технология хранения энергии на основе сжатого воздуха (CAES) использует электрический компрессор для закачки воздуха под высоким давлением в специально подготовленные резервуары или природные подземные полости [3]. Этот процесс обычно осуществляется в ночное время, когда энергопотребление минимально, что позволяет эффективно использовать избыток энергии.

В пиковые часы потребления накопленный сжатый воздух направляется на работу турбогенератора, обеспечивая выработку электроэнергии. CAES-системы способны хранить значительные объемы энергии, аналогично

гидроаккумулирующим электростанциям, и могут применяться как на крупных объектах, так и для локальных нужд с использованием искусственных резервуаров.

Одним из главных вызовов для развития CAES-технологий остается необходимость поиска подходящих географических условий для размещения хранилищ и сравнительно более низкая эффективность по сравнению с гидроаккумулирующими станциями. Однако современные усовершенствования, такие как усиленная технология CAES с тепловым накоплением (AA-CAES), позволяют повысить эффективность за счет сохранения и использования тепла, выделяемого во время компрессии.

Еще одним из эффективных решений для хранения энергии в современных энергосистемах является маховиковое хранение энергии, при котором энергия сохраняется в виде кинетической энергии вращающегося маховика [6].

Современные конструкции маховиковых накопителей энергии включают маховик, подшипники, электродвигатель, генератор и вакуумную емкость. Энергия аккумулируется и высвобождается путем ускорения или замедления вращения маховика. Основным параметром, определяющим количество накопленной энергии, — это скорость вращения маховика, которая прямо пропорциональна запасенной энергии.

Для повышения надежности и долговечности маховиков современные системы могут выдерживать более 100 циклов разгона и торможения. Одним из ключевых аспектов проектирования этих устройств является использование композиционных материалов, которые обеспечивают высокую прочность, оптимизируют массогабаритные характеристики и повышают безопасность эксплуатации.

Преимущества маховиков заключаются в их способности быстро поглощать или отдавать нагрузку. Это делает их идеальными для использования в системах, требующих мгновенной реакции, например, для восстановления энергии торможения в поездах метро, где оборудование устанавливается на подстанциях, а не в самих поездах. Также они находят применение в аварийных энергосистемах для подачи энергии при запуске дизельных генераторов или других критичных потребителей.

Кроме того, маховиковые накопители имеют несколько типов в зависимости от скорости вращения: низкоскоростные (до 6000 оборотов в минуту) и высокоскоростные (до 100000 оборотов в минуту). Супермаховики обладают

высокоэффективными характеристиками, обеспечивая КПД до 95% и применяются для оперативного регулирования частоты тока в электросетях.

Одним из наиболее перспективных направлений сегодня являются электрохимические технологии, которые преобразуют электрическую энергию в химическую с использованием взаимодействия электродов и электролита. Эти технологии позволяют значительно повысить компактность и эффективность хранения энергии [4]. Особое внимание уделяется разработкам с твердыми электролитами, которые могут предложить более стабильные и долговечные решения по сравнению с традиционными жидкими электролитами. На базе этого принципа уже работают широко распространенные электрохимические батареи, такие как литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы.

Одним из интересных решений в области хранения энергии являются проточные аккумуляторные батареи. Эти устройства позволяют значительно увеличить емкость, используя два резервуара с электролитами, которые разделены мембраной. Энергия в таких системах вырабатывается при взаимодействии жидких компонентов, которые могут прокачиваться через элемент, обеспечивая более гибкую и мощную систему хранения.

Применение таких аккумуляторов в коммерческой сети, от свинцово-кислотных до литий-ионных и никель-кадмиевых, демонстрирует высокую эффективность в промышленности и в повседневной жизни. Все эти технологии, благодаря своей обратимости, могут использоваться многократно, что делает их экономически выгодными и устойчивыми решениями для долгосрочного использования.

Свинцово-кислотные батареи являются одними из самых широко используемых технологий хранения энергии, особенно в стартерных и стационарных приложениях, таких как резервные источники питания. Принцип их работы основан на электрохимических реакциях, происходящих на электродах при зарядке и разрядке, с использованием раствора серной кислоты в качестве электролита. Хотя эти батареи обладают низкой удельной энергоемкостью (10-30 Втч/кг) и имеют ограниченное количество циклов зарядки-разрядки, их использование по-прежнему актуально из-за низкой стоимости и простой технологии производства.

Однако важными ограничениями являются низкая энергия на единицу массы и токсичность свинца, что делает необходимым развитие более безопасных и эффективных решений для энергетических систем.

Литий-ионные батареи представляют собой более современную альтернативу свинцово-кислотным, с более высокой удельной энергоемкостью и глубоким циклом зарядки (до 70-80%). Эти аккумуляторы основаны на принципе интеркаляции литиевых ионов в электродах, что позволяет значительно повысить эффективность хранения и отдачи энергии. Органический электролит в литий-ионных батареях обеспечивает высокий рабочий потенциал и увеличивает напряжение по сравнению с традиционными свинцово-кислотными системами.

Литий-ионные батареи широко применяются в системах хранения энергии для интеграции с возобновляемыми источниками энергии, а также в электротранспорте. Однако высокая стоимость и склонность к саморазряду остаются их основными недостатками.

Никель-кадмиевые батареи, которые использовались до появления литий-ионных, также нашли свое применение в энергетике и электротранспорте. Эти аккумуляторы обладают высокой устойчивостью к низким температурам и способны работать при значительных токах зарядки и разрядки. Однако у них имеется существенный недостаток – эффект «памяти», который снижает эффективность при неполном цикле зарядки-разрядки. Эти батареи до сих пор используются в некоторых сферах, но они постепенно уступают место более современным и эффективным системам хранения.

В будущем важнейшими направлениями развития технологий хранения энергии будут повышение удельной энергии на единицу массы, снижение стоимости и улучшение экологической безопасности аккумуляторов. Ожидается, что такие технологии, как водородные аккумуляторы, сверхпроводящие хранилища и системы на основе новых материалов (например, на основе аммиака), смогут значительно улучшить стабильность и эффективность энергетических систем, создавая новые возможности для интеграции возобновляемых источников энергии [2].

Государственное сотрудничество России в области технологий хранения энергии приобретает все большую значимость на фоне стремления к энергетической модернизации и повышению энергетической устойчивости. Одним из ключевых направлений является поддержка и внедрение инновационных решений для улучшения надежности энергосистем, особенно в условиях увеличивающейся доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Россия активно развивает сотрудничество с международными партнерами в области

разработки и внедрения эффективных технологий хранения энергии, что является необходимым для интеграции ВИЭ в национальную энергосистему.

Российские государственные органы поддерживают исследования и разработки в сфере аккумуляторных технологий и систем хранения энергии через программы, такие как государственные гранты и субсидии для научных и образовательных учреждений. В последние годы российские компании начали активно сотрудничать с международными производителями аккумуляторов и систем хранения, что способствует обмену передовым опытом и технологиями. В частности, существует ряд проектов по созданию аккумуляторных станций для балансировки пиковых нагрузок и улучшения качества электроснабжения в удаленных районах. Эти проекты получили поддержку в рамках программ «Цифровая экономика» и «Энергетическая эффективность».

Также Россия активно участвует в международных научных и исследовательских проектах по разработке новых материалов для хранения энергии. Например, в сотрудничестве с ведущими мировыми научными центрами разрабатываются твердотельные и литий-сульфидные аккумуляторы, которые обещают значительно повысить эффективность хранения. Кроме того, сотрудничество с Китаем, Европейским Союзом и странами СНГ позволяет России обмениваться опытом в области использования водородных технологий и создания крупных резервных хранилищ энергии, что будет способствовать модернизации российской энергетической инфраструктуры.

Заключение

Технологии хранения энергии играют решающую роль в обеспечении стабильности и надежности современных энергосистем, особенно в условиях увеличения доли возобновляемых источников энергии. Они позволяют сглаживать колебания генерации, улучшать баланс спроса и предложения, а также обеспечивать энергоснабжение в периоды пиковой нагрузки и в случае сбоев в системе. Несмотря на значительный прогресс в разработке и внедрении различных технологий хранения, таких как литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы, механические и тепловые системы, остаются важные вызовы, связанные с эффективностью, стоимостью и долговечностью этих решений. Тем не менее, дальнейшие инновации в области материаловедения и новых энергетических технологий, таких как водородное хранение и системы с использованием возобновляемых источников энергии, обещают значительное улучшение ситуации. Важно, чтобы государства, научные организации и коммерческий сектор

продолжали сотрудничество, направленное на совершенствование технологий хранения, что будет способствовать не только устойчивости энергосистем, но и достижению глобальных экологических целей.

Список используемых источников

1. Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И. Энергоинформационные модели систем электроснабжения мегаполисов. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 376 с.
2. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения: учебное пособие. М.: Академия, 2011. 352 с.
3. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. М.: Додека XXI век, 2011. 334 с.
4. Макареня Т.А., Сташ С.В., Кобец Е.А. Основные направления энергетической эффективности. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 88 с.
5. Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумуляция энергии. М.: Интеллект, 2011. 296 с.
6. Тимофеев В., Ершова И. Энергоресурсосберегающие системы на возобновляемых источниках энергии. М.: Palmarium Academic Publishing, 2014. 168 с.

ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ «УМНЫХ» ЭНЕРГОСЕТЕЙ В БИШКЕКЕ

Доненко С.Л. – студент 2 курса естественно-технического факультета, ГОУ ВПО «Кыргызско-Российский Славянский университет им. первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина»

Доненко И.Л. – к.ф.-м.н., и.о. доцента кафедры естественно-научных дисциплин, ГОУ ВПО «Кыргызский авиационный институт им. И. Абдраимова», учитель физики и информатики центра международного сотрудничества министерства просвещения Российской Федерации

Доненко Л. Н. – к.ф.-м.н., и.о. доцента кафедры естественно-научных дисциплин, ГОУ ВПО «Кыргызский авиационный институт им. И. Абдраимова»

Аннотация

В статье исследуются основные проблемы и перспективы внедрения «умных» энергосетей в Бишкеке. Рассматриваются такие аспекты, как устаревшая инфраструктура, нехватка инвестиций, кибербезопасность и низкая осведомленность населения. Отмечается потенциал «умных» сетей для повышения энергоэффективности, интеграции возобновляемых источников энергии, минимизации потерь электроэнергии и улучшения качества обслуживания. Также приводится международный опыт внедрения интеллектуальных энергосетей и предложены рекомендации для успешной реализации данной технологии в Бишкеке.

Введение

Внедрение «умных» энергосетей («smart grids») становится важным шагом на пути модернизации энергетической инфраструктуры во всем мире. В Бишкеке, как в столице Кыргызстана, данное направление является особенно актуальным. Увеличение энергопотребления, устаревшие электрические сети и необходимость повышения энергоэффективности требуют внедрения современных технологий, таких как «умные» энергосети. Однако процесс их реализации сталкивается с множеством препятствий. В данной статье рассмотрены основные проблемы и перспективы внедрения «умных» энергосетей в Бишкеке, а также преимущества, которые они могут принести для города и его жителей.

Что такое «умные» энергосети?

«Умные» энергосети представляют собой системы, которые используют информационно-коммуникационные технологии для оптимизации производства, распределения и потребления электроэнергии. Эти сети интегрируют традиционную энергосистему с цифровыми технологиями, что позволяет автоматизировать процессы управления энергией, повышать надежность

энергоснабжения и минимизировать потери электроэнергии. Основные компоненты «умных» сетей включают:

Интеллектуальные счетчики: устройства, которые позволяют автоматически собирать данные о потреблении энергии и передавать их в централизованные системы [2].

Системы управления спросом: программы, которые помогают распределять нагрузку на сеть в зависимости от текущих потребностей.

Датчики и сенсоры: устройства, контролирующие состояние сетей и сигнализирующие о возможных неисправностях.

Программное обеспечение для анализа данных: инструменты, которые помогают оптимизировать работу энергосистемы и прогнозировать энергопотребление [1].

Проблемы внедрения «умных» энергосетей в Бишкеке:

Устаревшая инфраструктура: энергосистема Бишкека построена на основе технологий середины XX века, что создает множество ограничений для внедрения современных «умных» решений [3]. Старые трансформаторы, линии электропередач и распределительные устройства часто не соответствуют требованиям для интеграции с интеллектуальными системами. Замена или модернизация этих элементов требует значительных финансовых вложений.

Нехватка инвестиций: проекты по внедрению «умных» энергосетей требуют крупных капитальных затрат на начальном этапе. Для города с ограниченным бюджетом и экономическими трудностями это представляет собой серьезную проблему. Привлечение международных инвесторов также осложняется из-за отсутствия долгосрочных стратегий развития энергосектора.

Проблемы с надежностью связи: «Умные» сети зависят от надежной передачи данных через интернет или другие каналы связи. В Бишкеке были случаи, когда «умные» счетчики переставали работать из-за проблем с сотовыми операторами. Например, в 2016 году 10% «умных» счетчиков в городе перестали передавать данные из-за прекращения работы одного из операторов связи.

Низкая осведомленность населения: многие жители Бишкека не понимают преимуществ использования «умных» технологий и выражают сомнения относительно их надежности [5]. Жалобы на завышенные счета или автоматические отключения электроэнергии усиливают недоверие со стороны потребителей.

Проблемы с кибербезопасностью: интеграция цифровых технологий делает энергосистему уязвимой для кибератак. Без надлежащих мер безопасности «умные» сети могут стать целью хакеров, что приведет к сбоям в энергоснабжении и утечке конфиденциальных данных.

Возможности развития «умных» энергосетей в Бишкеке:

1. Повышение энергоэффективности: одной из главных задач «умных» сетей является снижение потерь электроэнергии. В Бишкеке внедрение интеллектуальных счетчиков уже позволило сократить потери электроэнергии с 23% в 2012 году до 12% в 2017 году. Это свидетельствует о том, что подобные технологии могут значительно повысить эффективность энергосистемы [2].

2. Устранение человеческого фактора: «Умные» счетчики и автоматизированные системы учета минимизируют необходимость в ручной работе, что снижает риск ошибок и коррупции. Например, автоматический сбор данных о потреблении энергии исключает необходимость посещения домов контролерами.

3. Интеграция возобновляемых источников энергии: «Умные» сети легко адаптируются к работе с солнечными батареями, ветряными установками и другими возобновляемыми источниками энергии. Это особенно важно для Бишкека, где существует потенциал для развития зеленой энергетики [1].

4. Улучшение качества обслуживания: благодаря интеллектуальным системам операторы энергосетей могут быстро выявлять и устранять неисправности. Это позволяет минимизировать время отключения электроэнергии и повышает удовлетворенность потребителей.

5. Создание новых рабочих мест: развитие «умных» энергосетей требует привлечения специалистов в области IT, инженерии и энергетики. Это способствует созданию новых рабочих мест и развитию местной экономики.

Международный опыт внедрения «умных» энергосетей:

В рамках программы Energiewende Германия активно внедряет «умные» счетчики и системы управления спросом. Это позволило сократить выбросы CO₂ и увеличить долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе страны. Американские компании, такие как Pacific Gas and Electric, используют «умные» сети для повышения надежности энергоснабжения и сокращения затрат на обслуживание сетей. Китай инвестирует миллиарды долларов в развитие «умных» энергосетей, что помогает улучшить энергоснабжение в сельских районах и снизить потери электроэнергии [4].

Рекомендации для Бишкека:

- **Разработать долгосрочную стратегию:** Создать четкий план действий, который будет учитывать все этапы внедрения «умных» технологий.
- **Привлекать инвестиции:** Активно сотрудничать с международными финансовыми организациями и частными инвесторами для привлечения средств на реализацию проектов.
- **Повышать информированность населения:** Проводить образовательные кампании, которые помогут жителям понять преимущества «умных» сетей.
- **Обеспечить кибербезопасность:** Внедрить передовые технологии защиты данных, чтобы предотвратить кибератаки.
- **Сотрудничать с международными партнерами:** Изучать опыт других стран и привлекать экспертов для реализации проектов [6].

Заключение

Внедрение «умных» энергосетей в Бишкеке является важным шагом на пути к модернизации энергосистемы города. Несмотря на существующие проблемы, такие как устаревшая инфраструктура, нехватка инвестиций и низкая осведомленность населения, перспективы развития «умных» сетей открывают широкие возможности для повышения энергоэффективности, интеграции возобновляемых источников энергии и улучшения качества обслуживания. Реализация этих возможностей требует комплексного подхода, включающего разработку стратегий, привлечение инвестиций и сотрудничество с международными партнерами. С правильным подходом Бишкек может стать примером успешного внедрения «умных» энергосетей в Центральной Азии.

Список используемых источников:

1. Доненко С.Л., Доненко И.Л. Внедрение умных энергосетей в городской инфраструктуре: перспективы и вызовы // Энергетика будущего. 2023. № 5. С. 12-19.
2. Иванов А.В., Петров Б.Г. Интеллектуальные технологии в энергетике: мировой опыт и перспективы // Вестник энергетики. 2022. Т. 11, № 3. С. 45-53.
3. Сидоров В.М. Проблемы и возможности цифровизации энергосистем // Электротехнический журнал. 2021. Т. 15, № 2. С. 23-29.

4. Смирнова Е.А. Интеграция возобновляемых источников энергии в умные сети // Научный вестник технологий. 2020. Т.7, № 4. С. 30-35.

5. Energiewende – The Success Story of Germany’s Energy Transition. [Electronic resource]. URL: <https://www.energiewende-global.com> (date of treatment: 08.01.2025).

6. World Bank. Smart Grid Technology Investments: Opportunities and Challenges. [Electronic resource]. URL: <https://www.worldbank.org/smartgrid> (date of treatment: 08.01.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Калашников Д.С. – аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Аннотация

В данной работе исследуется методика предварительной обработки вибрационных сигналов с использованием комбинированного подхода, включающего математические преобразования и нейросетевые модели для дальнейшего анализа. Была предложена структурная схема предлагаемого метода, а также рассмотрены преимущества комбинированного подхода к обработке вибрационных сигналов.

Вибрационные сигналы играют ключевую роль в диагностике состояния промышленного оборудования, особенно в таких отраслях, как энергетика, машиностроение и транспорт. Точные и своевременные методы их обработки могут существенно повысить эффективность технического обслуживания и снизить риск возникновения аварийных ситуаций. Однако, традиционные методы обработки имеют свои ограничения, особенно в сложных и шумных условиях эксплуатации. Основная цель работы – это разработка гибридной модели, которая сочетает в себе нейросетевые алгоритмы и математические методы для более эффективной обработки вибрационных сигналов. В последние годы наблюдается рост интереса к использованию искусственного интеллекта, в частности нейросетевых моделей, для анализа вибрационных сигналов. Тем не менее, сочетание этих методов с традиционными математическими подходами, такими как фильтрация и преобразования, остаётся недостаточно исследованным.

Существующие работы часто фокусируются на одном из подходов, в то время как их комбинация может существенно улучшить результаты диагностики.

Основная проблема применения математических методов для обработки вибрационных сигналов заключается в их ограниченной способности учитывать сложные и нелинейные зависимости, характерные для реальных эксплуатационных условий. Традиционные подходы, такие как спектральный анализ или преобразования Фурье, эффективно выявляют основные частотные компоненты сигналов, но им проблематично полноценно анализировать динамическое поведение системы, особенно при наличии шумов или изменяющихся внешних факторов. В таких случаях нейросетевые модели, обладая высокой гибкостью и способностью адаптироваться к сложным данным, могут эффективно компенсировать эти ограничения, обучаясь на большом объеме информации и выявляя скрытые закономерности, которые традиционные методы не могут обнаружить. Однако, одной из основных ограничений нейросетей является потребность в качественной подготовке данных и их достаточном объеме для обучения модели. В реальных условиях вибрационные сигналы часто подвержены шумам и могут содержать множество неструктурированных и случайных факторов, что может затруднить обучение нейросети и привести к ухудшению её производительности [3]. Математические методы, такие как фильтрация и преобразования, могут эффективно справляться с этим, очищая сигнал от шумов и выделяя ключевые признаки, которые будут служить лучшей основой для нейросетевого анализа. Таким образом, комбинированное применение математических подходов к предварительной обработке данных и нейросетей для последующего анализа позволяет преодолеть ограничения каждого отдельно взятого метода, повышая точность и надежность диагностики [5].

В источнике [2] авторы приводят пример вибродиагностики на основе метода анализа формы сигнала. Этот подход заключается в сравнении текущей формы вибрационного сигнала с эталонной для нормального состояния оборудования. При наличии дефектов форма сигнала меняется, что позволяет с высокой точностью выявлять неисправности в механизмах, таких как дефекты подшипников, трещины в корпусах и другие структурные повреждения. В качестве дополнительного метода в источнике [1] авторы описывают анализ синусоидальных сигналов с использованием метода кросс-корреляции. Этот подход позволяет оценивать степень симметричности вибраций в различных точках оборудования, что помогает обнаружить аномальные изменения в

механической системе, например, повреждения элементов баланса или неправильную установку. Совмещение этих методов может повысить точность диагностики, позволяя выявлять неисправности на ранних стадиях и снижать риск серьезных поломок.

Среди множества методов, таких как преобразование Фурье, вейвлет-анализ и спектральный анализ, наиболее подходящим для решения задач, связанных с вибрационными сигналами, является вейвлет-преобразование. Этот метод позволяет эффективно выделять характеристики сигналов в различных временных интервалах и частотных диапазонах, что особенно важно для анализа сигналов с переменной частотой и амплитудой. Вейвлет-анализ обладает преимуществом перед традиционными методами, такими как преобразование Фурье, тем, что обеспечивает локализацию сигналов по времени и частоте, что делает его более устойчивым к шумам и изменениям в условиях эксплуатации. Этот подход был выбран как основной для предварительной обработки вибрационных данных. Далее, проанализировав существующие нейросетевые методы для обработки вибрационных сигналов, был выбран наиболее эффективный подход, обеспечивающий высокую точность и способность к обобщению. Среди множества нейросетевых моделей, таких как полносвязные сети, свёрточные нейросети (CNN) и рекуррентные нейросети (RNN), для решения задач вибрационной диагностики наиболее подходящими оказались свёрточные нейросети. Свёрточные нейросети, в отличие от других моделей, позволяют автоматически извлекать признаки из сырых данных, что значительно упрощает процесс подготовки и оптимизации. Кроме того, их способность к обучению на больших объемах данных делает их особо эффективными при анализе вибрационных сигналов, подверженных шумам и вариативности. Поэтому для последующего анализа вибрационных сигналов выбор остановился именно на этой модели нейросети.

Предлагаемая схема процесса анализа вибрационных сигналов (рис. 1):

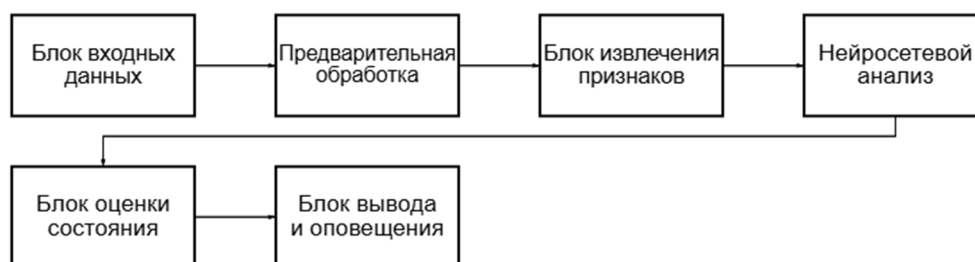


Рис.1. Структурная схема алгоритма для анализа вибрационных сигналов
Источник: составлено автором

Принцип работы предлагаемой системы обработки вибрационных сигналов основывается на комбинированном подходе, который включает два этапа: предварительную обработку данных с помощью математических методов и их последующий анализ с использованием нейросетевых алгоритмов. Каждый этап выполняет свою функцию, обеспечивая более точную и эффективную диагностику.

На двух начальных этапах сигналы, поступающие с вибрационных датчиков, сначала проходят через блок фильтрации. Это необходимо для устранения шумов и искажений, которые могут возникать в процессе измерений из-за внешних факторов, таких как механические вибрации, электрические помехи и прочее. В качестве метода фильтрации используется вейвлет-преобразование, которое позволяет локализовать и выделять важные частотные компоненты сигнала. Вейвлет-анализ делит сигнал на несколько уровней, позволяя анализировать его как в частотной, так и во временной области, что значительно улучшает точность выделения признаков, таких как резкие изменения амплитуды, которые могут указывать на неисправности. После того как сигнал очищен от шума и преобразован в более удобную для анализа форму, извлекаются признаки. Это происходит с помощью методов выделения ключевых характеристик, таких как пиковые значения амплитуд, частотные компоненты и их соотношение. Признаки могут быть представлены в виде векторов или матриц, что позволяет компактно передать всю необходимую информацию о сигнале в следующий этап системы – нейросетевой анализ. Далее обработанные данные подаются на вход свёрточной нейросети (CNN). В данном случае, после предварительной обработки, признаки вибрационного сигнала преобразуются в формат, который удобен для работы нейросети (например, матрицы с характеристиками частот и амплитуд). В последних двух блоках система оценивает состояние и выдает результат: нормальное или аномальное состояние. В случае обнаружения аномалии система может сигнализировать об этом оператору или автоматически инициировать меры по предотвращению отказа оборудования.

Таким образом, система реализует последовательное использование математических методов для фильтрации и выделения признаков и нейросетевых алгоритмов для анализа, что позволяет значительно повысить точность диагностики вибрационных сигналов.

Для фильтрации сигнала с использованием вейвлет-преобразования выполняется математическая операция свёртки с волновыми функциями, что

способствует эффективному выделению отдельных частотных компонентов в сигнале:

$$W(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \varphi(t - \tau) dt$$

Где $W(x)$ – результат вейвлет-преобразования сигнала; $x(t)$ – исходный сигнал; $\varphi(t)$ – волновая функция, используемая для фильтрации частот; τ – временной сдвиг для каждого масштаба и уровня анализа

Заключение

В данной работе был предложен эффективный метод обработки вибрационных сигналов, сочетающий математические преобразования и нейросетевые алгоритмы для улучшения точности диагностики. Разработанная структурная схема метода включает этапы предварительной обработки сигнала с использованием вейвлет-преобразований для выделения ключевых признаков, которые затем анализируются с помощью нейросетевых моделей.

Список используемых источников

1. Горбачев А.В., Щелканов А.И. Вибродиагностика подшипниковых узлов датчиками на основе MEMS-акселерометров // Актуальные проблемы современной науки. 2016. С. 82-85.
2. Денисов Е.С., Гайсин Н.Р., Никишин Т.П., Адьютантов Н.А. Контроль и прогнозирование критических режимов работы водородных топливных элементов в процессе эксплуатации на основе искусственных нейронных сетей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 12. С. 11-16.
3. Дергачев К.А. Вибродиагностика промышленного оборудования при помощи искусственного интеллекта // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. 2018. С. 43-44.
4. Сабиров Ф.С., Козочкин М.П., Молодцов В.В., Яхутлов М.М. Контроль состояния технологического оборудования в производственных условиях на основе вибродиагностики // Наука сегодня: достижения, проблемы и перспективы. 2017. С. 20-22.
5. Шиндор О.В. Исследование диагностических возможностей вейвлет-преобразования для анализа электрических флуктуаций водородного топливного

элемента // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. С. 120-124.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Кочешкова А.М. – студент магистратуры, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Грибанов А.А. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Аннотация

В данной статье авторами рассматриваются различные аспекты применения СНЭЭ в РЭС. Проанализирован опыт ведущих сетевых организаций, уже эксплуатирующих НЭЭ, определены дальнейшие перспективы. Рассмотрен вопрос о возможности интеграции ВИЭ в существующую электроэнергетическую систему совместно с СНЭЭ. Предложено техническое решение по комбинированию ВИЭ и СНЭЭ в распределительные электрические сети с целью повышения общей энергоэффективности и надежности электросетевого комплекса страны.

Одно из ключевых направлений развития энергетического сектора Российской Федерации заключается в структурной диверсификации. Это подразумевает совмещение традиционной углеродной энергетики с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), а также переход от централизованного к децентрализованному энергоснабжению [5].

С прогрессом технологий возобновляемые источники энергии становятся все более сопоставимыми с традиционными по удобству использования и стоимости электричества. В то же время, технологический прогресс в области углеводородной генерации улучшает её экологические показатели и энергоэффективность. На фоне мирового энергетического кризиса пересматриваются ранее намеченные планы по декарбонизации сектора, и создание баланса между возобновляемой и углеводородной генерацией становится основной стратегией дальнейшего развития отрасли.

Интеграция возобновляемых источников энергии в существующие энергосистемы сопряжена с определёнными рисками из-за зависимости от природных факторов и колебаний нагрузки, что может угрожать стабильности

работы энергосистемы. Эти риски можно минимизировать с помощью накопителей электроэнергии.

С точки зрения простоты строительства и эксплуатации, электрохимические накопители электрической энергии (НЭЭ) наиболее широко распространены в распределительных электрических сетях. Кроме интеграции возобновляемых источников в эти сети, накопители могут выполнять различные функции, такие как обеспечение качества электрической энергии (КЭЭ), сглаживание нагрузок, предоставление возможности технологического подключения, обеспечение бесперебойного питания, снижение потерь на длинных линиях электропередачи (ЛЭП) и зарядка электрического транспорта.

Чтобы обеспечить КЭЭ для потребителей, накопители интегрируются в длинные воздушные линии низкого напряжения в тех местах, где фиксируются показатели, превышающие нормы, установленные нормативными документами (ГОСТ 32144-2013). Когда в сети достигаются определённые параметры, НЭЭ начинает работать в режимах заряда, разряда или холостого хода. Однако данное техническое решение имеет ряд недостатков, а его эффективность может быть достигнута лишь при соблюдении множества условий [1].

Основным недостатком является то, что установка накопителей не учитывает возможные изменения нагрузки на рассматриваемой линии. Мировые тенденции в области распределенной генерации показывают, что всё больше домохозяйств, используя возобновляемые источники энергии, становятся почти полностью независимыми от внешних поставок энергии. В среднесрочной перспективе ожидается снижение нагрузки со стороны существующих потребителей на распределительные сети. При этом в случае с линией электропередачи низкого напряжения увеличение нагрузки возможно только при технологическом подключении новых потребителей. Однако это предположение не может быть учтено, поскольку при рассмотрении новых заявок на технологическое присоединение, сетевой организацией обязательно будут включены требования по реконструкции или строительству новых объектов.

Нагрузка элементов электрической сети представляет собой важный критерий, поэтому при расчете режимов работы сети параметры должны обеспечивать, чтобы загрузка оборудования оставалась в пределах нормы во всех режимах работы сети. Обычно нагрузка в течение определенного времени варьируется, имея как максимальные, так и минимальные значения, и для расчета допустимых нагрузок учитываются только максимальные показатели.

Подобный подход можно наблюдать и в процессе разработки технических условий для подключения новых потребителей. Чтобы избежать перегрузки силовых трансформаторов, сетевые организации в рамках своих инвестиционных программ планируют замену трансформаторов на более мощные. Однако в некоторых случаях из-за конструктивных особенностей имеющихся трансформаторных подстанций (ТП) и необходимости соблюдения требований ПУЭ и ПБ замена может оказаться невозможной.

В качестве альтернативы, для уменьшения нагрузки, устранения перегрузок существующего оборудования и возможности подключения новых потребителей можно использовать системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Подключение происходит после вводного коммутационного аппарата в распределительном устройстве (РУ) на низкой стороне, а режим работы программируется исходя из фактической загрузки силового трансформатора. Разрядка накопителя осуществляется при минимальных нагрузках, а его отключение при коротком замыкании будет контролироваться вводным автоматическим выключателем, который подает сигнал отключения непосредственно к накопителю.

Накопитель следует размещать в непосредственной близости от существующих трансформаторных подстанций в охранной зоне для обеспечения его нормальной работы [2]. Учитывая наличие маслonaполненного оборудования, важно также соблюдать нормы пожарной безопасности.

Стоит отметить, что на данный момент установка НЭЭ для сглаживания графиков нагрузки возможна только в рамках инвестиционных программ эксплуатирующих организаций. В текущих условиях стоимость системы накопления мощностью 100 кВт·ч сопоставима со стоимостью силового трансформатора мощностью 630 кВА. С развитием технологий, увеличением плотности заряда аккумуляторов и экономией за счет масштабирования производства себестоимость электрохимических аккумуляторов постоянно снижается, что делает такие проекты всё более привлекательными с точки зрения инвестиций.

Согласно ПУЭ, к первой категории надежности электроснабжения относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых допускается лишь на время срабатывания автоматики [3]. В настоящее время подключение ряда электроприемников, таких как группы светофоров, уличное освещение, вышки

сотовой связи, средства радиосвязи, телевидения и радиовещания и сетевое оборудование, составляют менее 10% от общей коммунально-бытовой нагрузки (от 5 до 20 кВт) и относится к третьей категории. Хотя эта нагрузка и занимает небольшую долю в общем объеме, она имеет социальное значение. Предоставление отдельных линий для подключения накопителей для этих электроприёмников позволит поддерживать работоспособность инженерно-технических сооружений в населенных пунктах до устранения аварийных ситуаций.

Среднее время на устранение аварий в группе компаний «ПАО Россети» составляет менее двух часов и каждый год уменьшается. Аккумуляторы мощностью 40-60 кВт способны обеспечить электроснабжение этих потребителей в течение нескольких часов.

Использование СНЭЭ оправдано для организации резервного питания объектов с небольшой максимальной мощностью. Для более крупных социальных объектов следует применять СНЭЭ в сочетании с другими источниками генерации.

Концепция развития электрического производства и использования автомобилей в России подразумевает поэтапное внедрение таких технологий [4]. Главной целью является строительство более 70 тысяч зарядных станций к 2030 году, среди которых 30 тысяч должны быть быстрыми.

Создание зарядной инфраструктуры для электрического транспорта представляет собой сложную задачу для сетевых компаний, так как необходимо технологически подключить большое количество новых устройств. Учитывая, что мощность быстрой зарядной станции составляет не меньше 150 кВт, а медленной – 44 кВт, для подключения всех новых станций потребуется минимум 6,3 ГВт мощности. Реализация данного объема потребует значительных инвестиций и будет иметь неравномерный график нагрузки, что сделает ее коммерчески оправданной лишь в долгосрочной перспективе. В текущих условиях развитие этой сферы возможно только с поддержкой государственного субсидирования.

ВИЭ, будучи зависимыми от погодных условий, демонстрируют недостаточную надежность в обеспечении графика нагрузок. Для балансировки колебаний в генерации применяется зарядка накопителей в периоды ее избытка и разрядка в моменты дефицита. Этот процесс позволяет аккумулировать излишки энергии, что, в свою очередь, увеличивает долю возобновляемых источников в общем энергетическом балансе.

Режим работы накопителей будет зависеть от уровня генерации, производимой возобновляемыми источниками. Когда генерация превышает потребление, энергия накапливается, а в период снижения отдает.

С учетом прогнозируемого широкого внедрения объектов микрогенерации для достижения экономической эффективности, каждому активному абоненту будет необходим аккумулятор и соответствующая автоматизированная система. При технологическом подключении объектов микрогенерации к электрическим сетям сетевых организаций, технические условия должны будут предусматривать правила установки накопителей для энергопотребления абонента, а также условия для их выдачи в сеть и продажи, которые будут определяться сетевой организацией.

Для решения вышеупомянутых задач предлагается технический проект, который включает установку накопителей с литий-ионными батареями рядом с существующими трансформаторными подстанциями. Накопители будут размещены в охранной зоне в непосредственной близости от ТП, что позволит избежать необходимости решать земельные вопросы. Монтаж батарей осуществляется на фундаменте из блоков ФБС, а подключение выполняется с помощью кабельной перемычки от точки после вводного коммутационного аппарата на низком напряжении. В ТП планируется установить два автоматических выключателя и автоматический ввод резервирования по низкой стороне.

Система будет работать в трех режимах: «заряд», «хранение», «отдача», выбор параметров каждого режима будет производиться на этапе проектирования с учетом решения конкретных задач. Мощность аккумуляторов будет определяться на основе соотношения генерирующих мощностей возобновляемых источников, суточных графиков нагрузки и необходимости сглаживания этих графиков.

При необходимости часть емкости может использоваться в качестве источника бесперебойного питания (ИБП), в этом случае резервируемые потребители будут подключены к накопителям отдельными линиями. В случае полного отключения ТП, заряд батарей обеспечит работу этих потребителей в течение 2-3 часов до устранения неисправности.

Преимущества предложенного технического решения включают:

1. Увеличение пропускной способности существующих вышестоящих элементов сети за счет распределения нагрузки, что позволяет подключать новых потребителей без необходимости реконструкции действующих электрических сетей.

2. Возможность технологического присоединения объектов микрогенерации к электрическим сетям и реализация излишков энергии потребителями.

3. Создание развитой инфраструктуры для зарядки электротранспорта, что позволяет снизить стоимость зарядных станций благодаря использованию компонентов накопителей.

4. Использование накопителей в качестве ИБП для критически важных объектов городской инфраструктуры, что повышает надежность системы.

5. Простота установки на блоки ФБС, возможность быстрой замены и мобильность конструкции, включая возможность отдельной замены аккумуляторного модуля.

6. Размещение накопителей в охранный зоне ТП, что избавляет от необходимости решать земельные вопросы в городской местности.

Однако у данного технического решения имеются и недостатки:

1. Необходимость утилизации литий-ионных компонентов по завершении их эксплуатации.

2. Срок окупаемости решения зависит от множества факторов и может варьироваться в зависимости от места установки накопителей.

3. Резервирование значительной емкости аккумулятора для выполнения функции ИБП приводит к снижению эффективности сглаживания графика нагрузки.

4. Невозможность применения быстрой зарядки для электротранспорта при максимальных нагрузках.

Использование накопителей в распределительных электрических сетях открывает множество возможностей для сетевых компаний. Однако экономическая целесообразность данной технологии в настоящее время проявляется в случаях, когда капитальные затраты на реконструкцию значительно высоки.

Список используемых источников

1. Балабин А.А., Виноградов А.В., Лансберг А.А. Анализ работы и рекомендации по совершенствованию системы накопления электрической энергии, установленной в сельской электрической сети 0,4 кВ // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 72-79.

2. Постановление Правительства РФ от 24.02.2009 №160 «О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон» / СПС

«Гарант». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12165555/> (дата обращения 03.12.2024).

3. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ) / Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.

4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.08.2021 №2290-р / СПС «Гарант». [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LZ4XS> (дата обращения 03.12.2024).

5. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 №1523-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года» / СПС «Гарант». [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LZ4Z5> (дата обращения 03.12.2024).

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЁРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В WEBSCADAMT

Малышева Н.Н. – к.т.н., доцент кафедры энергетики, ФГБОУ ВО «Нижневартровский государственный университет»

Рябов А. А. – студент, ФГБОУ ВО «Нижневартровский государственный университет»

Аннотация

В статье рассматривается создание XML – документа, необходимого для программирования виртуальных устройств в SCADA-системе, применяемой в АСУ ТП электроэнергетики. Основной целью является отображение корректных мнемосхем, включающих в себя реальные элементы управляемой энергетической системы, и создание симулятора существующих энергетических систем для решения задач в процессе обучения.

В системах электроснабжения необходимо непрерывное отслеживание состояния электроэнергетических систем и показателей электротехнического оборудования, а также управление коммутационными аппаратами. Современный уровень развития интеллектуальных технологий позволяет частично автоматизировать эти процессы и сделать управление и мониторинг удалённым и интерактивным. Для этих целей служат АСУ ТП (автоматизированные системы управления технологическим процессом), которые представляют собой совокупность аппаратных и программных инструментов, предназначенные для

управления процессами, протекающими на предприятиях и производствах, в том числе в электроэнергетике.

Одним из основных средств АСУ ТП является SCADA система, реализующая программную составляющую человеко-машинного интерфейса. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – системы, предназначенные для диспетчерского управления; сбора, обработки и отображения данных управляемого объекта в реальном времени, а так же для их архивирования и хранения. SCADA могут использоваться в АСУ ТП, АСКУЭ, в автоматизации процессов в зданиях и в системах экологического мониторинга.

Основным применением SCADA в АСУ ТП электроэнергетики является связь с электрическим оборудованием и системой РЗА (релейной защиты и автоматики) станций и подстанций. Для взаимодействия физического оборудования с программной частью АСУ ТП используются реле фиксации положения, которые считывают состояние физического устройства и подают сигнал РПВ/РПО (реле положения включено/отключено), который в SCADA-системе обрабатывается в виде тега, на который ссылается элемент мнемосхемы – визуального интерактивного интерфейса для осуществления связи с электрической частью физического объекта.

При том, что взаимодействие может быть необходимо с ограниченным числом оборудования, мнемосхема управляемого объекта должна включать в себя все элементы электрической схемы объекта и корректно их отображать (рис. 1). Решение этой задачи возможно посредством моделирования виртуального устройства.

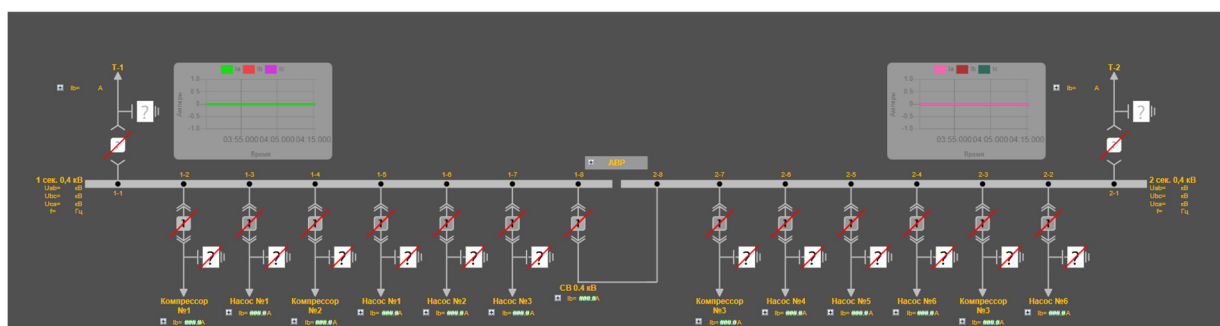


Рис. 1. Некорректное отображение элементов мнемосхемы [2]

Виртуальные устройства предназначены для имитации работы подстанционного оборудования и могут быть использованы как для корректного

отображения пассивных элементов реальной схемы управляемого объекта, так и при создании мнемосхем для использования в обучающих целях.

В WebScadaMT [2] встроен вспомогательный модуль «Виртуальные устройства», который позволяет создание любого требуемого виртуального оборудования, включающего в себя параметры, необходимые для отраслевых задач.

При создании имитируемого устройства в модуль загружается описательный документ, написанный на языке программирования XML, в структуре которого должны содержаться элементы, характеризующие создаваемое оборудование. Для полноценного использования модуля «Виртуальные устройства» необходимо изучение структуры и принципа создания индивидуального описательного документа XML, отвечающего требованиям каждой задачи.

Для работы модуля «Виртуальные устройства» используется документ, написанный на языке программирования XML. XML (eXtensible Markup Language) – расширяемый язык разметки, разработанный для описания, хранения и передачи данных. Язык включает в себя набор последовательностей, пригодных для разбора информации вычислительной машиной. Данные находятся внутри тегов, организованно и структурированно в логической иерархии, подходящей для понимания и ЭВМ, и пользователем.

В документе XML (рис. 2), предназначенном для работы с модулем «Виртуальные устройства», возможно наличие следующих разделов:

1. Пролог;
2. Корневой элемент;
3. Комментарии.

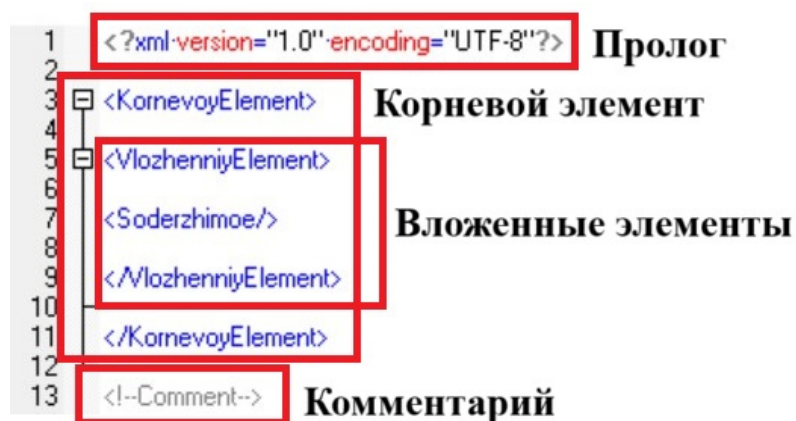


Рис. 2. Структура документа XML

Источник: составлено автором в программе XML Copy Editor

Пролог XML-документа – это данные, располагающиеся в начале документа перед корневым элементом. Наличие его в документе не является обязательным. Он может включать в себя XML-декларацию, в которой указано, что это документ XML с указанием номера версии. Также пролог может содержать строку с информацией о кодировке документа. В XML возможно использование двух видов Юникода (промышленного стандарта символьной кодировки текстового документа): UTF8 и UTF16, использующих разное количество бит для представления символов. В случае, если в прологе отсутствует информация о кодировке, в документе используется кодировка UTF8, являющаяся кодировкой по умолчанию в HTML-5, JavaScript, PHP, SQL и XML. Пролог также может содержать инструкцию по обработке – информацию для программного обеспечения, которые будут работать с документом [3].

Элементами называются части, формирующие основу XML-документа. Элементом верхнего уровня является корневой элемент – раздел, содержащий основную информацию документа XML, с которой может работать модуль «Виртуальные устройства». Корневой элемент может быть только один, и все элементы более низкого уровня должны быть вложены в него. Все элементы, включая корневой, ограничиваются открывающими и закрывающими тегами и именуются согласно следующим правилам:

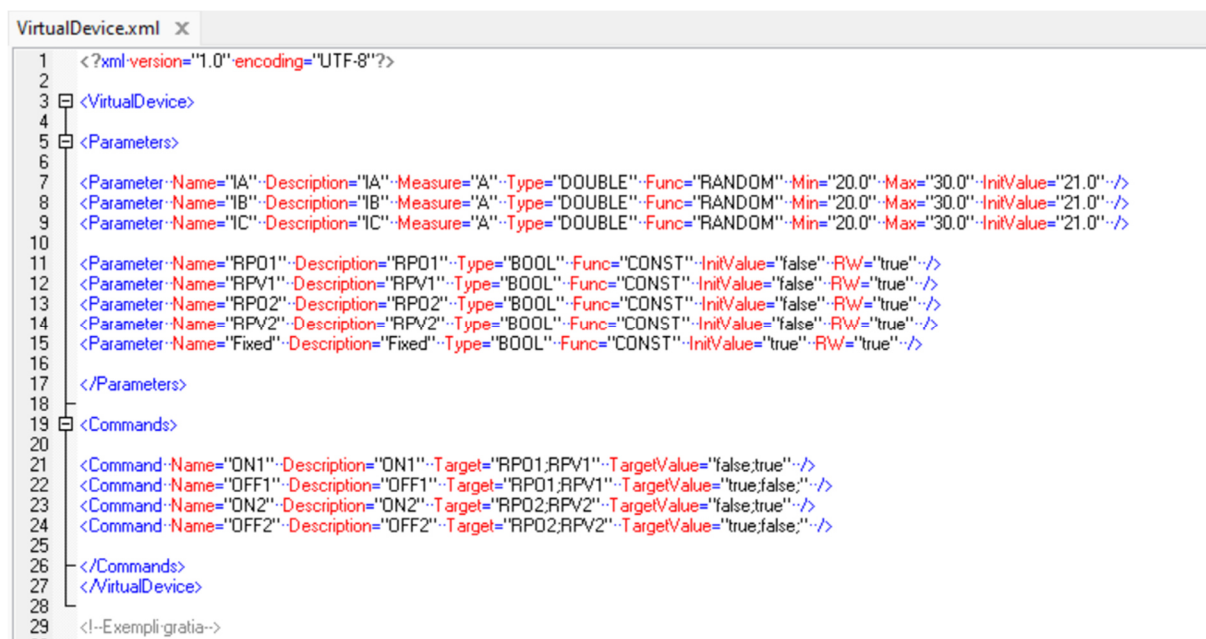
1. В названии допускается использование букв, цифр и специальных символов;
2. В названии необходимо соблюдать регистр;
3. Не допускается начинать название со знака препинания, цифры или сочетания xml;
4. Не допускается ставить в названии пробелы.

Комментарий представляет собой информацию, предназначенную для считывания пользователем при обращении к документу напрямую. Это может быть сообщение о структуре или содержимом документа, или примечания о его назначении. Благодаря особой разметке комментариев не подвергается синтаксическому анализу модуль «Виртуальные устройства». Он может располагаться в прологе, после него, после корневого элемента и непосредственно в нём. В комментариях допускается использование любых символов, букв и цифр, за исключением символа «>», который анализатор синтаксиса считает окончанием комментария и после него возобновляет прочтение XML-документа. Наличие

комментария не является обязательным, однако может быть востребованным при передаче документа для работы другому лицу.

Редактирование документа на языке XML возможно как при помощи стандартного приложения операционной системы Windows «Блокнот», так и при помощи редактора таблиц «Excel», входящего в программный пакет «Microsoft Office». Для создания документа XML требуется редактор XML, который позволит сохранять файлы в требуемом формате, и упростит написание и редактирование документа. Редактор позволяет ускорить написание документа, автоматически заполняя пролог, добавляя закрывающие тэги элементов при распознавании открывающих, выставляя автоматически некоторые символы синтаксиса, где они необходимы, предлагая автозаполнение элементов на основе уже написанных строк.

Создание XML для модуля «Виртуальные устройства» приведено в документе «VirtualDevice» (рис. 3).



```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <VirtualDevice>
4
5 <Parameters>
6
7 <Parameter Name="IA" Description="IA" Measure="A" Type="DOUBLE" Func="RANDOM" Min="20.0" Max="30.0" InitValue="21.0"/>
8 <Parameter Name="IB" Description="IB" Measure="A" Type="DOUBLE" Func="RANDOM" Min="20.0" Max="30.0" InitValue="21.0"/>
9 <Parameter Name="IC" Description="IC" Measure="A" Type="DOUBLE" Func="RANDOM" Min="20.0" Max="30.0" InitValue="21.0"/>
10
11 <Parameter Name="RP01" Description="RP01" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
12 <Parameter Name="RPV1" Description="RPV1" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
13 <Parameter Name="RP02" Description="RP02" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
14 <Parameter Name="RPV2" Description="RPV2" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
15 <Parameter Name="Fixed" Description="Fixed" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="true" RW="true"/>
16
17 </Parameters>
18
19 <Commands>
20
21 <Command Name="ON1" Description="ON1" Target="RP01,RPV1" TargetValue="false,true"/>
22 <Command Name="OFF1" Description="OFF1" Target="RP01,RPV1" TargetValue="true,false"/>
23 <Command Name="ON2" Description="ON2" Target="RP02,RPV2" TargetValue="false,true"/>
24 <Command Name="OFF2" Description="OFF2" Target="RP02,RPV2" TargetValue="true,false"/>
25
26 </Commands>
27 </VirtualDevice>
28
29 <!--Exempli-gratia-->
```

Рис. 3. Документ XML «VirtualDevice»

Источник: составлено автором в программе XML Copy Editor

Пролог находится в первой строке приведённого документа, содержащий в себе XML-декларацию с номером версии и информацию об используемой кодировке.

Корневой элемент в приведённом документе ограничен тегам **<VirtualDevice>** и **</VirtualDevice>**, отмечающими его начало и окончание.

Наличие корневого элемента с названием «VirtualDevice» является обязательным в документе для работы модуля «Виртуальные устройства» ПК «WebScadaMT». Структура документа должна быть иерархически организована, и остальные элементы, содержащиеся в документе, должны быть вложены в элемент «VirtualDevice».

Содержимое вложенных элементов «Parameters» и «Commands» ограничивается открывающими (<Parameters> и <Commands>) и закрывающими тегами (</Parameters> и </Commands>). Указанные элементы включают в себя непосредственно параметры и команды, ссылаться на которые необходимо при имитации оборудования.

Строка под корневым элементом, ограниченная символами <!-- и -->, является **комментарием**.

Вложенные элементы «Parameters» и «Commands» содержат в себе вложенные элементы нижнего уровня, где каждый элемент нижнего уровня прописан отдельной строкой и ограничен тегами разметки < и /> [1].

Элемент «Parameters» включает в себя:

- **вычисляемые параметры** имитируемого устройства, такие как: сила тока I, напряжение U и частота F, а также любой электрический параметр, добавленный к списку. В структуре каждого из этих элементов должны содержаться следующие значения в указанном порядке: **Parameter** – указывает, что данный элемент относится к вложенному элементу «Parameters», **Name** – наименование параметра, **Description** – расшифровка параметра (то, как он будет отображаться в ПК «WebScadaMT»), **Measure** – единицы измерения, **Type=DOUBLE** – тип отображения данных (double – 64-разрядный тип), **Func=ANDM** – вид изменения функции параметра во времени (random – случайным образом), **Min** и **Max** – диапазон значений, в пределах которого изменяется функция параметра, **InitValue** – начальное значение параметра при включении имитируемого устройства (рис. 4).

```
<Parameter Name="IA" Description="IA" Measure="A" Type="DOUBLE" Func="RANDOM" Min="20.0" Max="30.0" InitValue="21.0"/>
<Parameter Name="IB" Description="IB" Measure="A" Type="DOUBLE" Func="RANDOM" Min="20.0" Max="30.0" InitValue="21.0"/>
<Parameter Name="IC" Description="IC" Measure="A" Type="DOUBLE" Func="RANDOM" Min="20.0" Max="30.0" InitValue="21.0"/>
```

Рис. 4. Вычисляемые параметры

Источник: составлено автором в программе XML Copy Editor

- **параметры состояния** имитируемого устройства, такие как: Отключено (RPO), Включено (RPV), Ремонтное положение (Blocked), Фиксированное положение (Fixed). В структуре каждого из этих элементов должны содержаться следующие значения в указанном порядке: **Parameter** – указывает, что данный элемент относится к вложенному элементу «Parameters», **Name** – наименование параметра, **Description** – расшифровка параметра (то, как он будет отображаться в ПК «WebScadaMT»), **Type=BOOL** – тип данных, который используется для определения элементов, которые могут принимать одно из двух значений: **True** (истина) или **False** (ложь); **Func=CONST** – вид изменения функции параметра во времени (const – не изменяется во времени), **InitValue** – начальное состояние, в котором отобразится параметр при включении имитируемого устройства, **W** – второе возможное состояние параметра (рис. 5).

```
<Parameter Name="RP01" Description="RP01" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
<Parameter Name="RPV1" Description="RPV1" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
<Parameter Name="RP02" Description="RP02" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
<Parameter Name="RPV2" Description="RPV2" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="false" RW="true"/>
<Parameter Name="Fixed" Description="Fixed" Type="BOOL" Func="CONST" InitValue="true" RW="true"/>
```

Рис. 5. Параметры состояния

Источник: составлено автором в программе XML Copy Editor

Изменение качества параметра состояния происходит при подаче команды, зависимым от которой является этот параметр. Параметр состояния может как переключаться подачей команды, так и не иметь созависимой команды, отображая лишь одно состояние, для имитируемого оборудования, которое не требует изменения состояния. Например, параметр состояния **Fixed** в документе «VirtualDevice» не является зависимым ни от какой команды. Для него прописано начальное состояние **InitValue** = «true» для корректного отображения оборудования, которое будет на него ссылаться.

Элемент «**Commands**» содержит в себе команды, являющиеся также элементами нижнего уровня, как и параметры (вычисляемые и состояния), имеющие аналогичные теги разметки и похожую структуру. В структуре каждого из этих элементов должны содержаться следующие значения в указанном порядке: **Command** – указывает, что данный элемент относится к вложенному элементу «Commands», **Name** – наименование команды, **Description** – расшифровка команды (то, как она будет отображаться в ПК «WebScadaMT»), **Target** – цель (указывает

параметры состояния, на качество которых влияет выполнение данной команды), **TargetValue** – состояние цели (указывает какое качество примут параметры состояния после выполнения команды) (рис. 6).

```
<Command·Name="ON1"·Description="ON1"·Target="RP01;RPV1"·TargetValue="false,true"·/>  
<Command·Name="OFF1"·Description="OFF1"·Target="RP01;RPV1"·TargetValue="true,false;"·/>  
<Command·Name="ON2"·Description="ON2"·Target="RP02;RPV2"·TargetValue="false,true"·/>  
<Command·Name="OFF2"·Description="OFF2"·Target="RP02;RPV2"·TargetValue="true,false;"·/>
```

Рис. 6. Команды

Источник: составлено автором в программе XML Copy Editor

В результате создания XML-документа и использования его для эмуляции подстанционного оборудования, отображение пассивных элементов реальной схемы управляемого объекта выполняется корректно (рис. 7).

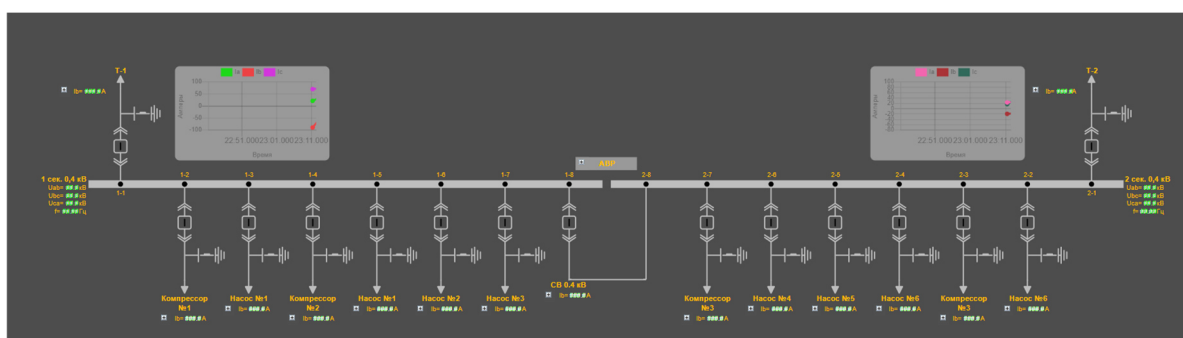


Рис. 1. Фрагмент виртуальной модели энергосистемы

Источник: составлено автором в программе WebScadaMT

В результате работы, созданный XML-документ корректен и пригоден для работы в модуле «Виртуальные устройства» WebScadaMT. Построен алгоритм формирования описательного документа виртуальных устройств, разобрана его структура и команды, на которые будет ссылаться имитированное оборудование.

Понимание структуры описательного документа позволяет создавать мнемосхемы любой сложности: как статичные для работы с физическим оборудованием, так и интерактивные для имитации оборудования в учебных целях или для взаимодействия с другими модулями SCADA при отсутствии физического оборудования.

Использование эмулированной мнемосхемы позволило работать со SCADA-системой и создать виртуальный тренажёр энергетической системы для обучения и подготовки по диспетчерскому управлению и автоматизации процессов.

Список используемых источников

1. Одиночкина С.В. Основы технологий XML: учебное пособие. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. 56 с.
2. Программный комплекс «WebScadaMT»: руководство оператора, версия 4.8. НТЦ «Механотроника», 2024. 294 с. ДИВГ.20804-09 34 01.
3. Токмаков Г.П. Основы XML-технологий: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2017. 229 с.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЦЫ ПОСТОЯННОГО ИМПЕДАНСА

Мартиросян М.Д. – студент, Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Аннотация

В данной работе представляется достаточно дешёвый в изготовлении и эксплуатации, универсальный по отношению к большинству основных типов ЭВМ, легко модифицируемый при необходимости и обладающий хорошими характеристиками с точки зрения недопустимости шумовых искажений преобразователь сигналов. Он призван решить проблему физического моделирования вибрационных, световых, звуковых и иных процессов, а также позволить признанным непригодными для этого ЭВМ обрабатывать звуковую информацию.

В вопросах физического моделирования различных процессов часто необходимо максимальное постоянство всех компонентов измерительной системы при протекании с её участием различных процессов, имеющих различную природу. Наиболее сильно на результаты экспериментов влияют, в целом, воздействия химической природы и воздействия, описываемые различными полями, к примеру, температуры, электромагнитным и силовым. Логично предъявить следующие условия, которые справедливы для большинства экспериментов:

1. Силовые воздействия на измерительную систему пренебрежимо малы по сравнению с остальными. Это легко показать с помощью приведения механических характеристик наиболее ходовых из полимеров, использующихся в электротехнике [3].

2. Изменения, вносимые полями, не являются существенными. Это условие следует понимать так: сохраняются основные допущения, принятые в электромагнетизме и тепломассообмене (к примеру, коэффициент теплопроводности можно считать линейно изменяющимся от температуры), таким

образом, свойства элементов изменяются в пределах одной физической модели (не происходит фазовых переходов, насыщений магнитных систем, генерации значительных шумов извне).

3. Химические воздействия происходят только с наружными слоями системы, то есть они не являются значительными с электротехнической точки зрения, хотя, они могут представлять некоторую опасность для персонала, эксплуатирующего систему.

После обозначения условий рассматриваемых экспериментов стоит обратиться к устройству предлагаемого преобразователя подробнее. Его более уязвимая к внешним воздействиям, но более точно передающая сигнал, а также являющаяся более совершенной в схемотехническом плане (например, имеется более точно настраиваемая батарея конденсаторов, позволяющая плавнее регулировать частоту среза), представлена в работе [4]. Схема преобразователя показана на рис.1.

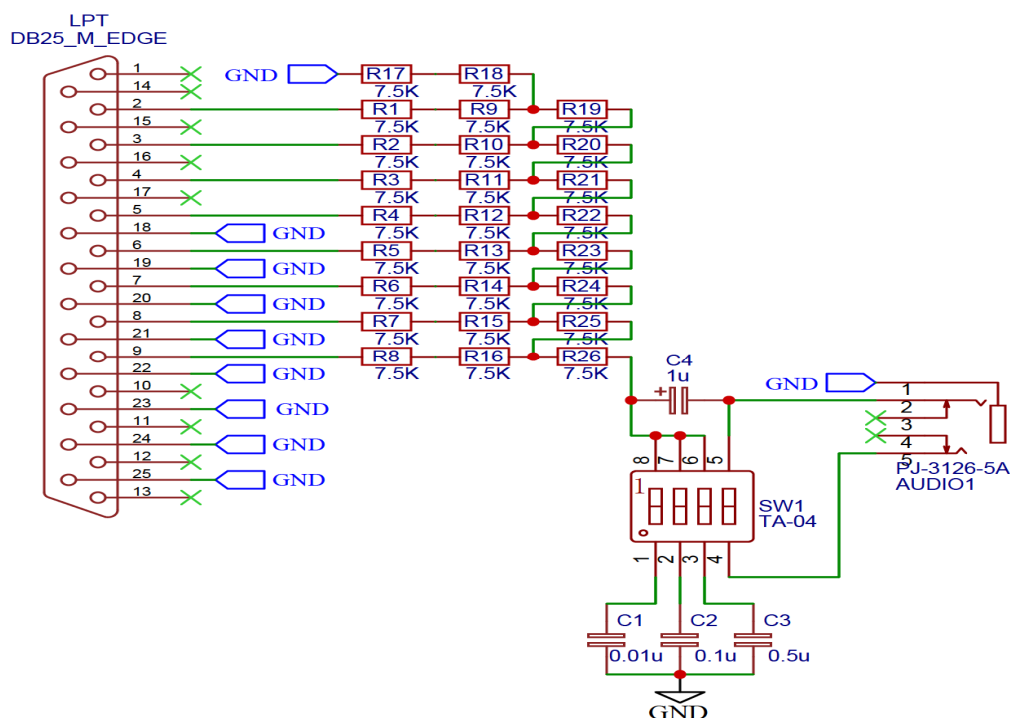


Рис. 1. Схема преобразователя сигналов. На вход через параллельный (LPT) интерфейс подаётся цифровой сигнал, который преобразуется в аналоговый с помощью матрицы постоянного импеданса.

Источник: составлено автором

На схеме ёмкостные элементы обеспечивают верхние и нижние частоты среза, помогающие различить сигнал лучше. Допуск отклонения сопротивлений резисторов от их номинального значения должен быть менее одного процента, это помогает дополнительно уменьшить шум. Параллельный интерфейс отчасти помогает противодействовать дополнительным шумовым наводкам [2]. Особенностью данной реализации прибора, при, казалось бы, меньшей эффективности с точки зрения потребления ресурсов центрального процессора, является отсутствие в ней каких-либо электронных компонентов. По этой причине можно говорить о том, что магнитные поля не являются значительным источником помех и сбоев в работе прибора.

Температурное поле воздействует на резисторы линейным образом, при этом линейный коэффициент его воздействия (т.е. температурный коэффициент электрического сопротивления) достаточно мал и изменение сопротивления идёт очень слабо для обычных углеродно-плёночных резисторов, как отмечается в работе [1]. К тому же, его возможно принять одинаковым для всех резисторов в цепи, так как было задано достаточно строгое условие на отклонение значений сопротивлений от их номинальных значений, что будет означать практически полное отсутствие влияния температурного поля.

Электрическое поле представляет значительную опасность только при повреждённой изоляции преобразователя (например, с помощью химической реакции, оплавка из-за температурного нагрева не рассматривается, см. п. 2.), что является событием, которое очень часто обозначает начало аварийного режима работы, то есть такого, в котором недопустима дальнейшая эксплуатация прибора. Соответственно, электростатического экранирования, описанного в [5], должно хватить для правильной работы устройства.

После успешного обоснования устойчивости настоящей схемы к воздействию различных полей стоит упомянуть достоинства, которыми обладает оригинальный прибор. Он достаточно дешёвый в изготовлении и эксплуатации, универсальный по отношению к большинству основных типов ЭВМ, легко модифицируемый при необходимости, удобный для написания драйверного ПО и подключения к чисто электронным (без аспекта тонкого управления, имеющегося у ЭВМ) и имеющий малое влияние шумов в выходном сигнале. При настоящем упрощении несколько увеличилось влияние шумов, а также стало невозможным применение микросхем для экономии ресурсов центрального процессора, но это

дало возможность создать более устойчивое устройство, во многом из-за своей исключительной простоты.

В заключение можно отметить, что получившийся по результатам работы прибор можно эксплуатировать в различных условиях, которые выполняются, например, вблизи магнитного стенда, на тепловом пункте, при плохой электрической изоляции соседних, напрямую не связанных с устройством электрических приборов (хороший тому пример – электротехнически не полностью отключенный приводной двигатель в механическом эксперименте). Это лишний раз сообщает об успешности её исполнения.

Список используемых источников

1. Бородина Е.А., Семенова Л.Л. Зависимость сопротивления от температуры различных материалов и определение их температурного коэффициента // Вестник кибернетики. 2019. №1 (33). С. 55-59.
2. Гук М.Ю. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. 1072 с.
3. Любин Дж. Справочник по композиционным материалам. В 2-х кн. Кн. 1. Пер с англ. Под ред. Б. Э. Геллера. М.: «Машиностроение», 1988. 448 с.,
4. Мартиросян М.Д. Разработка прибора, преобразующего цифровой звук в аналоговый сигнал / Труды XX Международной Конференции «Электротехника, Электротехнологии, Электротехнические Материалы и Компоненты». М.: Знак, 2024. 320 с. С. 134-137
5. Рогинский В.Ю. Экранирование в радиоустройствах. Л.: «Энергия», 1969. 112 с.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЗДУХОЗАБОРНОГО ТРАКТА ГТУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПГУ

Петрова Д.Д. – студент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Марьин Г.Е. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация

В данной работе изложены факторы и условия, способствующие образованию льда на элементах воздухозаборного тракта газотурбинной установки, а также методы борьбы с обледенением. Приведены плюсы и минусы различных типов систем для предотвращения обледенения.

Газотурбинные установки (ГТУ) работают в различных климатических условиях, и в некоторых регионах страны осенью и весной наблюдается значительное количество дней с температурой от $+3^{\circ}\text{C}$ до -6°C и влажностью от 90% до 100%. В таких условиях, когда снег и морось могут присутствовать в течение половины месяца, существует высокая вероятность обледенения [1]. Это представляет серьезную опасность для работы установки, так как может привести к аварийным остановкам, помпажу, повреждению отдельных лопаток или даже поломке всего лопаточного аппарата осевого компрессора (ОК) [2].

Пример из эксплуатации ГТУ на Транс-Канадском газопроводе за 6 лет работы агрегатов с газотурбинным приводом, где суммарная наработка 37 установок составила 1,1 миллиона часов, демонстрирует, что обледенение всасывающего тракта компрессоров стало причиной 18 аварий, из которых 7 произошли во время мокрых снегопадов. Это означает, что при средней годовой наработке агрегатов в 5-7 тысяч часов, поломки от обледенения случались ежегодно на каждом 12-м агрегате.

В зависимости от того, какие элементы или детали подвергаются обледенению, а также от интенсивности образования льда, последствия этого процесса для работы ГТУ могут существенно различаться. Далее будут рассмотрены процессы льдообразования в элементах воздухозаборного тракта и осевого компрессора, а также ухудшения работы ГТУ, вызванные этим явлением.

Изучение процессов обледенения представляет собой сложную задачу с точки зрения как количественных, так и качественных аспектов. Это обусловлено целым комплексом факторов, включая метеорологические, термодинамические и

аэродинамические условия, а также множеством материаловедческих и конструктивных характеристик [3]. В результате существующая информация о льдообразовании зачастую описывает лишь отдельные элементы механизма его возникновения, не представляя собой полностью теоретически обоснованную картину этого явления в целом.

Практика эксплуатации стационарных газотурбинных установок (ГТУ) показала, что обледенение входной камеры и ВНА осевого компрессора (ОК) возникает при наружной температуре, равной или ниже ± 5 °С. Дополнительное понижение температуры воздуха в потоке происходит вследствие политропного расширения воздуха, которое обусловлено наличием гидравлического сопротивления входного тракта. Это сопротивление вызывает увеличение разрежения по длине канала. В некоторых случаях также важно учитывать, что на температуру воздуха, поступающего в воздухозаборный тракт (ВЗТ), могут влиять внешние факторы, такие как направление ветра, повышенная влажность и подсос отходящих газов или теплого воздуха от находящихся рядом установок ТЭЦ.

Кроме температуры, важным фактором, определяющим условия образования льда, является относительная влажность воздуха (ϕ), поступающего в ВЗТ ГТУ. Исследования показали, что при значениях ϕ выше 80 % возможно образование капель воды в воздухе, что связано с гетерогенной конденсацией водяного пара на так называемых ядрах конденсации. Это явление особенно выражено в условиях повышенной влажности воздуха, что способствует образованию льда на элементах ВЗТ [4].

Процесс конденсации на этих ядрах определяется аэрозольным составом воздуха и зависит от месторасположения ГТУ. Природные условия местности, высота над уровнем моря и метеорологические факторы оказывают значительное влияние на интенсивность конденсации.

Наряду с температурой и влажностью, важным параметром, влияющим на процесс льдообразования, является водность воздуха, которая характеризует содержание воды в жидком или твердом состоянии (например, в виде снега) на единицу объема воздуха. В зависимости от фазового состояния воды выделяют кристаллическую и капельную водность. Увеличение водности воздуха, особенно в виде мокрого снега или дождя при температуре, близкой к 0 °С, усиливает процессы льдообразования.

Опасное обледенение элементов воздухозаборного тракта (ВЗТ) становится более вероятным при повышенной водности воздуха. Этот процесс усугубляется на

жалюзийных решетках, расположенных с наветренной стороны, особенно при увеличении скорости ветра. Крупные капли влаги, замедляясь в жалюзийных просветах, оседают на рабочих кромках решеток, где замерзают, образуя ледяные наросты. Эти наросты уменьшают проходное сечение и могут значительно повысить входное сопротивление [5].

Повышенное сопротивление на входе ухудшает условия работы осевого компрессора (ОК): уменьшается расход воздуха, возрастает разрежение на входе в компрессор, что снижает общую эффективность работы системы. Особенно опасным является перекрытие жалюзи, которое может быть вызвано их неправильной установкой. Такое перекрытие усугубляет ситуацию, создавая дополнительные риски для стабильной работы ГТУ.

При возрастании сопротивления в системе возможен автоматический сброс воздуха через байпасные клапаны, что приводит к попаданию переохлажденных капель или снега в проточную часть, ухудшая работу компрессора [6].

Обледенение в инерционном жалюзийном сепараторе (ИЖС) схоже с процессами на жалюзи ВЗТ. В норме ИЖС равномерно распределяет поток, но при обледенении его лопаток нарушается поле скоростей, что может привести к обратным течениям в центре и смещению основного потока к периферии. Такие процессы увеличивают нагрузку на систему и требуют своевременного удаления льда и использования эффективных противообледенительных мер.

Фильтры тонкой очистки циклового воздуха подвержены обледенению из-за высокой скорости воздуха и резкой остановки на фильтрующей ткани. Это усиливается при наличии в воздухе мелкодисперсной взвеси (туман, морось, снежная крупа). Сухие фильтры из волокнистых материалов часто страдают от конденсации влаги и замерзания в фильтрующем слое, что резко снижает воздухопроницаемость и увеличивает сопротивление, подчеркивая необходимость предфильтра-влагоотделителя.

Обледенение элементов системы шумоглушения вызывает перекрытие сечений, искажение потока, рост гидравлического сопротивления и акустических проблем. Оторвавшиеся ледяные куски могут попасть в компрессор и вызвать повреждения лопаток [7].

На стенках всасывающего трубопровода лёд наиболее интенсивно образуется в труднодоступных зонах, например, на нижних горизонтальных участках, уменьшая сечение и создавая неравномерность воздушного потока. В северных районах страны из-за конденсации паров и осаждения влаги часто наблюдается сильное обледенение в

приземной части короба, требующее ручного удаления льда. Такие явления увеличивают риск аварий и снижают надежность эксплуатации ГТУ.

Обледенение на входном патрубке и конфузоре отрицательно сказывается на равномерности поля скоростей перед входным направляющим аппаратом (ВНА) компрессора, снижает степень сжатия и ухудшает вибрационно-прочностные характеристики лопаток. Искажение конфигурации канала воздухозаборного тракта (ВЗТ) приводит к неравномерному распределению давления и скорости, что может вызывать изменения аэродинамических характеристик и даже помпаж компрессора.

Интенсивное обледенение может привести к отрыву льда, который, попадая в проточную часть, вызывает предпомпажные явления или помпаж. Кроме того, увеличенное входное сопротивление и деформация поля скоростей на всасе компрессора из-за льда также способствуют помпажу. В целом, обледенение снижает эксплуатационную надежность, КПД и мощность газотурбинной установки (ГТУ).

Обледенение входных элементов газотурбинных установок (ГТУ) представляет собой сложный и многогранный процесс, зависящий от множества факторов, включая климатические условия, конструктивные особенности, а также аэродинамические и термодинамические процессы в воздухозаборном тракте (ВЗТ). Основные причины образования льда связаны с понижением температуры воздуха при его расширении, высоким уровнем влажности, а также наличием капельной или кристаллической водности. Кроме того, влияние аэрозольных частиц и их роль в процессе конденсации существенно повышают риск льдообразования.

Обледенение оказывает значительное влияние на эксплуатационные показатели ГТУ, снижая равномерность поля скоростей, ухудшая аэродинамические характеристики и приводя к предпомпажным явлениям или полкам. Повышенное гидравлическое сопротивление, вызванное льдом, негативно сказывается на эффективности работы компрессора, а деформация входных потоков может стать причиной серьезных аварий. В крайних случаях, образование льда на внутренних элементах ВЗТ, таких как фильтры или элементы шумоглушения, способно вызвать внезапные остановки установки, что угрожает надежности и безопасности эксплуатации.

Для предотвращения обледенения применяются различные инженерные решения, включая установку конструктивных элементов, препятствующих попаданию осадков, подогрев атмосферного воздуха или поверхностей элементов ГТУ, подверженных льдообразованию. Однако ни один из этих методов не является

универсальным и требует учета специфики климатических условий, места расположения установки и ее эксплуатационных особенностей.

Таким образом, проблема обледенения ГТУ требует системного подхода и глубокого анализа, направленного на разработку и внедрение более эффективных методов борьбы с этим явлением. Совершенствование конструктивных и эксплуатационных решений, адаптированных к различным условиям, позволит повысить надежность, КПД и срок службы газотурбинных установок, что является важной задачей современной энергетики.

Список используемых источников

1. Киндл Ф.Х. Эксплуатация газовых турбин в арктических условиях. GF, 1972. 46 с.
2. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии Энергия-2018: Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 томах, Иваново, 03–05 апреля 2018 года. Том 1. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2018. С. 7.
3. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 4(153). С. 821-831.
4. Мещерякова Т.П. Проектирование системы защиты самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
5. Михайлов Е.И. Воздушные фильтры для газотурбинных установок в СССР и за рубежом. М.: НИИинформтяжмаш, 1970.
6. Усовершенствование КВОУ газовых турбин с целью снижения веса, сопротивления, шума, обледенения // Отчет ЦКТИ, Е.И. Михайлов. Л., 1982.
7. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Performance Characteristics of A Gas Turbine Unit with Clogged Filters of an Air Filtering and Conditioning System 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. Vladivostok, 2020. P. 9271309.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Пряшников П.Ф. – к.т.н., доцент кафедры вычислительной математики, филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в городе Севастополе

Аннотация

Предложен алгоритм построения областей статической устойчивости установившегося режима в пространстве двух настраиваемых параметров электрических сетей. В отличие от известного графо-аналитического метода D-разбиения предложенный алгоритм, во-первых, является численно-аналитическим и позволяет аппроксимировать области устойчивости с любой заданной точностью. Во-вторых, предложенный алгоритм позволяет строить области устойчивости не только для линейной, но и для полиномиальной зависимости коэффициентов характеристического полинома от варьируемых параметров. Описана компьютерная программа, реализующая предложенный алгоритм в среде Embarcadero RAD Studio. Приведен пример применения предложенной программы для построения области устойчивости в пространстве двух настраиваемых параметров электрической сети.

Введение

Построение областей статической устойчивости установившегося режима используется в задачах параметрического синтеза электрических сетей [1, с.202-215; 3, с. 50-81]. Обычно рассматривают случай одного, двух и редко – трех настраиваемых параметров. Для случая двух параметров рассматривается характеристический многочлен

$$a(s, \alpha, \beta) = \sum_{k=0}^n a_k(\alpha, \beta) s^k \quad (1)$$

с коэффициентами $a_k(\alpha, \beta)$ ($k = 0, \dots, n$), зависящими от двух параметров $(\alpha, \beta) \in \Lambda = [\alpha_{min}; \alpha_{max}] \times [\beta_{min}; \beta_{max}] \subseteq \mathbb{R}^2$. Построение областей статической устойчивости, заключается в определении множества Λ_s , такого что $\Lambda_s \subseteq \Lambda$ и $((\alpha, \beta) \in \Lambda_s) \Leftrightarrow ((a(s, \alpha, \beta) = 0) \Rightarrow (\operatorname{Re}(s) < 0))$.

При линейной зависимости $a_k(\alpha, \beta) = a_{k,1}\alpha + a_{k,2}\beta + a_{k,0}$ ($a_{k,0}, a_{k,1}, a_{k,2} \in \mathbb{R}$) ($k = 0, \dots, n$) построение множества Λ_s традиционно проводят графо-аналитическим методом D-разбиения. Метод D-разбиения основан на определении и графическом построении параметрической зависимости $\alpha = \alpha(\omega)$, $\beta = \beta(\omega)$, $\omega \in [0, +\infty)$, которая определяет элементы множества Λ , соответствующие

наличию у многочлена (1) нулей на мнимой оси. Построенная кривая разбивает множество Λ на подмножества, на каждом из которых многочлен (1) имеет одно и то же число нулей в левой полуплоскости. Искомое множество Λ_s находят как объединение построенных подмножеств, для которых число нулей многочлена (1) в левой полуплоскости равно степени многочлена n (с учетом кратности нулей).

Недостаток метода D-разбиения заключается, во-первых, в том, что функции $\alpha = \alpha(\omega)$, $\beta = \beta(\omega)$ в аналитическом виде найдены только для линейной зависимости от параметров α и β коэффициентов многочлена (1), в то время как на практике встречаются более сложные зависимости, в частности, - полиномиальные. Во-вторых, для построения графиков функций $\alpha(\omega)$ и $\beta(\omega)$ вместо непрерывного аргумента $\omega \in [0, +\infty)$ используют конечное множество значений $\alpha(\omega_q)$ и $\beta(\omega_q)$ ($q = 0, \dots, Q \in \mathbb{N}$) ($0 \leq \omega_0 < \omega_1 < \dots < \omega_Q = \omega_{max}$). Таким образом, графические построения проводят приближенным методом, при котором вопрос об устойчивости на множестве точек границы, отличных от точек $(\alpha(\omega_q), \beta(\omega_q))$ ($q = 0, \dots, Q$) остается открытым.

Теоретическая часть. Алгоритмическое обеспечение

В статье предлагается метод разработки алгоритмического обеспечения построения на компьютере областей статической устойчивости электрических сетей, не требующий получения аналитических зависимостей $\alpha = \alpha(\omega)$ и $\beta = \beta(\omega)$, и тем самым свободный от перечисленных выше недостатков традиционного метода D-разбиения. В предлагаемом методе используются теоремы, доказанные в [2].

Множество областей устойчивости Λ_s предлагается искать приближенно в виде множества $\tilde{\Lambda}_s \subseteq \Lambda_s$, которое является объединением прямоугольников. Для непустого множества Λ_s относительная погрешность аппроксимации определяется выражением $\rho = \frac{S_{\Lambda_s} - S_{\tilde{\Lambda}_s}}{S_{\Lambda_s}}$, где S_{Λ_s} и $S_{\tilde{\Lambda}_s}$ есть площади, соответственно, множеств Λ_s и $\tilde{\Lambda}_s$. В предлагаемом методе прямоугольники, составляющие множество $\tilde{\Lambda}_s$, строятся так, что величина ρ может быть сделана сколь угодно малой.

Предлагаемый алгоритм включает выполнение следующих пунктов:

1. Если $a(s, \alpha, \beta) \equiv 0$, то $\forall (\alpha, \beta) \in \mathbb{R}^2$ множество нулей многочлена (1) есть вся комплексная плоскость $\mathbb{C}^2$ и, следовательно, $\forall \Lambda \subseteq \mathbb{R}^2$ множество $\Lambda_s = \emptyset$.

2. Если $a(s, \alpha, \beta) \not\equiv 0$ и $n = 0$, то $\forall (\alpha, \beta) \in \mathbb{R}^2$ многочлен (1) не имеет нулей и $\Lambda_s = \Lambda$.

3. Если $n \geq 1$, то будем рассматривать пять типов прямоугольников: 1) $p_{s,k}$ ($k = 1, \dots, n_s$) – прямоугольники, для которых $(\alpha, \beta) \in p_{s,k} \Rightarrow$ многочлен (1) – устойчив; 2) $p_{n,k}$ ($k = 1, \dots, n_n$) – прямоугольники, для которых $(\alpha, \beta) \in p_{n,k} \Rightarrow$ многочлен (1) – не устойчив; 3) $p_{g,k}$ ($k = 1, \dots, n_g$) – прямоугольники, аппроксимирующие кривую D-разбиения; 4) $p_{u,k}$ ($k = 1, \dots, n_u$) – прямоугольники, для которых после выполнения алгоритма вопрос об устойчивости остается открытым; 5) $p_{c,k}$ ($k = 1, \dots, n_c$) – прямоугольники, для которых во время выполнения алгоритма проводится анализ устойчивости. Перечисленные прямоугольники являются элементами, соответственно, упорядоченных множеств: $P_s = \langle p_{s,k} \rangle_{k=1}^{n_s}$, $P_n = \langle p_{n,k} \rangle_{k=1}^{n_n}$, $P_g = \langle p_{g,k} \rangle_{k=1}^{n_g}$, $P_u = \langle p_{u,k} \rangle_{k=1}^{n_u}$, $P_c = \langle p_{c,k} \rangle_{k=1}^{n_c}$. Искомое множество определяется соотношением $\tilde{\Lambda}_s = \bigcup_{k=1}^{n_s} p_{s,k}$.

4. Полагаем $P_s = \emptyset$, $P_n = \emptyset$, $P_g = \emptyset$, $P_u = \emptyset$, $P_c = \langle \Lambda \rangle$ и выполняем п. п. 5-11 до окончания выполнения алгоритма.

5. Если $P_c = \emptyset$, то заканчиваем выполнение алгоритма.

6. Обозначим $p = p_{c,n_c}$ и полагаем $P_c := P_c \setminus \langle p \rangle$.

7. Если на прямоугольнике p выполняются достаточные условия устойчивости многочлена (1) [2, теоремы 1-3], то полагаем $P_s := P_s \cup \langle p \rangle$ и переходим к выполнению п. 5.

8. Если на прямоугольнике p выполняются достаточные условия неустойчивости многочлена (1) [2, теоремы 1-3], то полагаем $P_n := P_n \cup \langle p \rangle$ и переходим к выполнению п. 5.

9. Если выполняется неравенство $diam(p) < d$, где $diam(p)$ есть диаметр (диагональ) прямоугольника p , $d > 0$ – характеристика точности аппроксимации множества Λ_s множеством $\tilde{\Lambda}_s$, то: 1) делим прямоугольник p на два равновеликих прямоугольника p' и p'' (деление производим по большей стороне, а в случае равенства сторон – по вертикальной стороне); 2) Полагаем $P_c := P_c \cup \langle p', p'' \rangle$ и переходим к выполнению п. 5.

10. Если выполняются достаточные условия существования на прямоугольнике p точки кривой D-разбиения [2, теоремы 1-3], то полагаем $P_g := P_g \cup \langle p \rangle$ и переходим к выполнению п. 5.

11. Полагаем $P_u := P_u \cup \langle p \rangle$ и переходим к выполнению п. 5.

За характеристику точности аппроксимации принимается $\tilde{\rho} = \frac{S_{P_u} + S_{P_g}}{S_{P_s}}$.

Программное обеспечение. Экспериментальная часть

На основе предложенного алгоритма в среде Embarcadero RAD Studio разработана компьютерная программа D-Decomposition2p. Объем программного текста 13379 строк алгоритмического языка Object Pascal. Интерфейс программы приведен на рис. 1.

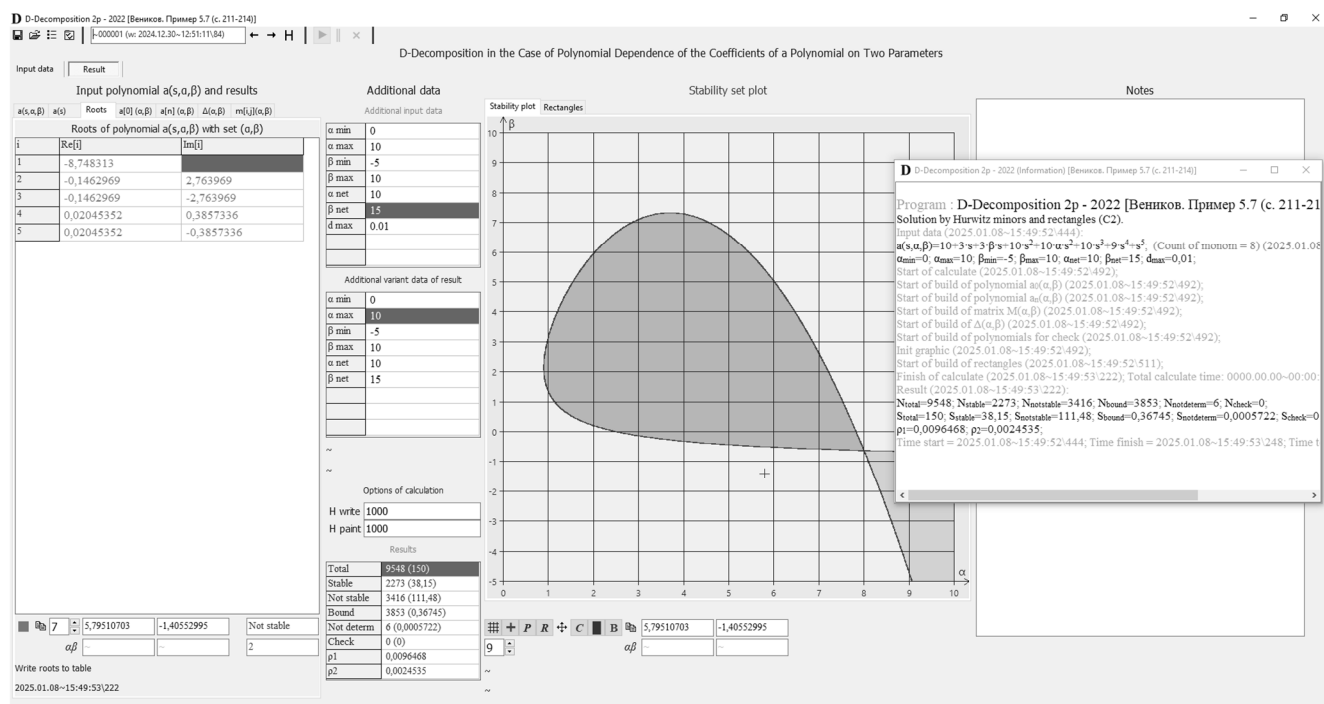


Рис.1. Интерфейс программы D-Decomposition2p

Источник: составлено автором в программе D-Decomposition2p

Исходными данными для программы являются коэффициенты многочлена (1), параметры множества Λ , параметры графика областей устойчивости, характеристика точности аппроксимации d . Для задания и корректировки исходных данных используется многостраничный блокнот, изображенный слева на рис. 1. Основным результатом выполнения программы является график областей устойчивости, изображенный в центре рис. 1. Численно-аналитические результаты выполнения программы выводятся в формате MS Word в отдельное окно, изображенное справа на рис. 1.

В качестве примера, иллюстрирующего эффективность разработанного алгоритмического и программного обеспечения рассмотрена задача [1, с. 211-214] построения областей статической устойчивости электрической системы с характеристическим многочленом $a(s, \alpha, \beta) = 10 + 3s + 3\beta s + 10s^2 + 10\alpha s^2 + 10s^3 + 9s^4 + s^5$. Построенная область статической устойчивости изображена

темно-серым цветом в центре рис. 1. Время построения области устойчивости на персональном компьютере с процессором Ryzen 7 составило 0,8 с. Число построенных прямоугольников $n_s = 2273$, $n_n = 3416$, $n_g = 3853$, $n_u = 6$. Характеристика точности построения области статической устойчивости $\tilde{\rho} = 0,0096$.

Заключение

Предложенное в статье алгоритмическое и программное обеспечение, как показывает приведенный пример, позволяет с высокой точностью при небольших затратах компьютерного времени строить области статической устойчивости в пространстве двух варьируемых параметров электрических сетей. Дальнейшее развитие предложенного алгоритмического и программного обеспечения может быть направлено на обобщение на случай трех и более параметров.

Список используемых источников

1. Веников В.А., Зуев Э.Н., Литкенс И.В., Маркович И.М., Мельников Н.А., Солдаткина Л.А., Строев В.А. Математические задачи электроэнергетики: учебник. М.: Высшая школа, 1981. 288 с.
2. Пряшникова П.Ф. D – разбиение при полиномиальной зависимости коэффициентов многочлена от двух параметров // Автоматика и телемеханика. 2021. №3. С. 32-46.
3. Тащилин В.А. Анализ и выбор параметров стабилизации устройств регулирования возбуждения с использованием методов идентификации: дис. ... кандидата технических наук. Екатеринбург, 2018. 139 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ШУМОГЛУШЕНИЯ ГАЗОВПУСКНЫХ И ВЫХЛОПНЫХ ТРАКТОВ ГТУ

Самигуллин Д.С. – студент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Марьин Г.Е. – к.т.н., доцент кафедры энергомашиностроения ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация

Современный технический прогресс неразрывно связан с увеличением производительности энергетических машин. Однако модернизация таких установок, которая зачастую снижает их металлоемкость, приводит к росту вибрационной активности из-за повышения параметров газозвуковых потоков и мощностей. Это, в свою очередь, увеличивает интенсивность излучаемого звукового давления, что негативно влияет на работоспособность и безопасность персонала, а также ухудшает условия проживания населения вблизи энергетических объектов. Шум, создаваемый такими установками, становится существенным фактором экологического воздействия, характерным для техногенной цивилизации.

Шум газотурбинных установок (ГТУ) имеет аэродинамическую и механическую природу. Аэродинамический шум возникает в результате вихреобразования на входе в компрессор, пульсаций давления в камере сгорания, процессов в проточной части турбомашин, а также нестационарности потоков энергоносителя в каналах. Механическая составляющая шума обусловлена дисбалансом роторов, вибрациями рабочих колес и деформациями подшипниковых узлов.

Основным источником акустической мощности ГТУ является газозвуковой шум, излучаемый через всасывающие и выхлопные каналы. Эти каналы функционируют как волноводы, которые эффективно передают звуковую энергию высокой интенсивности в окружающую среду, что делает их ключевым объектом для анализа и разработки шумозащитных мероприятий.

Большой уровень звукового давления на входе в компрессор газотурбинных установок обусловлен нестационарными процессами в воздухозаборных устройствах и формированием ударных звуковых волн, которые преимущественно создаются первыми тремя ступенями компрессора. Это явление вызывает необходимость разработки эффективных методов снижения мощности генерируемых акустических процессов.

Одним из ключевых решений является создание абсорбирующего воздухозаборного канала (ВЗК) с интегрированным высокоэффективным

устройством шумоглушения. Внутренняя поверхность ВЗК снабжена системой звукопоглощения, которая включает перфорированную оболочку из нержавеющей стали (со степенью перфорации 0,25–0,3). Между оболочкой и корпусом ВЗК располагается звукопоглощающий материал (ЗПМ), например, уплотненный слой мелкоячеистой металлической сетки с различными формами плетения. Использование металлической сетки обеспечивает устойчивость звукопоглощающей системы к воздействию влажных и химически агрессивных сред, а также сохраняет её эффективность в широком диапазоне рабочих режимов установки [1].

Механизм первичного демпфирования звуковых выбросов компрессора базируется на затухании акустических волн при их взаимодействии с системой шумоглушения. Волны, падая на звукопоглощающую поверхность ВЗК, отражаются и поглощаются ЗПМ, размещенным на прилегающих стенках. Эта конструктивная мера позволяет значительно снизить интенсивность звуковых волн, улучшая акустические характеристики всей системы.

Широкое применение подобных систем в газотурбинных установках позволяет не только снизить уровень шума, но и повысить надежность работы оборудования, сократить вредное воздействие на окружающую среду и улучшить условия труда для обслуживающего персонала [2, 5].

Дальнейшее снижение излучаемой компрессором звуковой энергии осуществляется во впускном канале воздухозаборного канала (ВЗК), который оборудован поворотными лопатками. Эти лопатки обеспечивают поворот акустических волн на 90° , что значительно уменьшает их интенсивность. Лопатки имеют облицовку из перфорированной листовой нержавеющей стали с коэффициентом перфорации 0,2–0,3, а их внутренняя часть заполнена уплотненным мелкоячеистым металлическим плетеным наполнителем. Эта конструкция обеспечивает высокую эффективность поглощения звуковой энергии даже в условиях воздействия высоких температур и агрессивных сред [2].

Геометрия каналов, образованных поворотными лопатками, оптимизирована для гашения частотных гармоник акустических мод, которые достигают области решетки. Это обеспечивает эффективное снижение звуковой энергии на начальном этапе её распространения.

Кроме того, для снижения мощности звуковых волн, генерируемых первыми ступенями компрессора, предлагается оснащение этого отсека специальным периферийным устройством шумоглушения. Оно включает кольцевые камеры,

размещенные в корпусе над рабочими колесами первых трех ступеней компрессора. Внутренняя поверхность этих камер также выполнена перфорированной (степень перфорации 0,2–0,3) и покрыта мелкочаистой металлической сеткой со стороны газового потока. Такая конструкция способствует значительному уменьшению звуковой мощности компрессора, повышая его акустическую эффективность.

Применение данных решений в комплексе позволяет снизить общий уровень звукового давления, улучшить эксплуатационные характеристики газотурбинной установки и минимизировать её негативное воздействие на окружающую среду [3].

Внутренняя структура камер включает комплекс ячеек-резонаторов, ограниченных перегородками, расположенными как в осевом, так и в окружном направлениях. Перегородки имеют пристеночные щели вдоль внешней и внутренней поверхностей камеры, что создает ступенчатую траекторию протекания энергоносителя, аналогичную принципу лабиринтовых уплотнений. Это позволяет направить поток из области высокого давления в зону меньшего давления с подсосом в газовый тракт через рециркуляцию потока.

При обтекании рабочих лопаток (РЛ) турбомшины возникают аэродинамические импульсы и высокоинтенсивные акустические волны, особенно выраженные в области периферийной части рабочих венцов. Пульсации давления газа образуют сложные колебания, спектр которых включает вибрации РЛ. Вихрь, возникающий в РЛ, вытесняется центробежными силами в область радиального зазора ступени, где происходит его деформация в процессе взаимодействия с периферийным пограничным слоем.

Геометрия резонаторов кольцевых камер в корпусе компрессора оптимизируется для эффективного затухания акустической энергии, формируемой концевыми импульсами энергоносителя в рабочих колесах. Это позволяет звукопоглощающей структуре работать наиболее эффективно на частотах, где излучаемая звуковая мощность отсека наиболее интенсивна [4].

Перетекание нестационарных вращающихся вихрей через перфорированную периферийную поверхность в полость камеры способствует устранению формирования волновых гармоник над рабочими лопатками (РЛ). Это уменьшает пульсации рабочего тела в области радиальных зазоров и снижает уровень аэродинамических сил, воздействующих на лопаточный аппарат и элементы статора. Также улучшается течение теплоносителя в проточной части, что повышает экономичность и надежность отсека. В результате данное устройство значительно

улучшает виброакустические характеристики входного тракта компрессора, снижая энергетические потери и уровень излучаемого шума в окружающую среду.

Шум, возникающий в выхлопных трактах ГТУ, имеет низкочастотный характер и длинные волны, что создает трудности в снижении звукового давления. Для решения этой проблемы при проектировании выхлопных устройств с хорошими акустическими характеристиками и экономической эффективностью необходимо реализовать следующие меры: разделить выпускной тракт на несколько звукопоглощающих каналов без уменьшения общей площади проходного сечения, что обеспечит эффективное снижение шума в выхлопной зоне; оборудовать каждый канал системой звукопоглощения; обеспечить плавные кривизны каналов; разработать их геометрию и сопротивление таким образом, чтобы потоки имели равномерную структуру и низкие скорости. Это позволит эффективно гасить звук и минимизировать энергетические потери [6].

В некоторых газотурбинных установках для повышения их экономической эффективности используется технология утилизации тепла отходящих газов. Для таких систем необходимо разработать конструкцию шумоглушителя-утилизатора, который одновременно снижает звуковую энергию выхлопных газов и обеспечивает их охлаждение. Задача решается с использованием системы шумоглушения, включающей звукоизолирующий корпус и комплекс пластинчатых глушителей, поверхности которых покрыты перфорированным нержавеющей стальным листом, а внутренние полости заполнены звукопоглощающим материалом, например, уплотненной мелкоячеистой сеткой. Утилизационный теплообменник выполнен в виде системы парных сферических элементов, размещенных на боковых поверхностях пластинчатых глушителей и оснащенных ребрами для интенсификации охлаждения энергоносителя. Выхлопной газ разделяется на отдельные струи между глушителями, что способствует гашению шума и многократному сужению-расширению при обтекании ребренных элементов, вызывая охлаждение газа и уменьшение звуковой активности. Такая конструкция шумоглушителя обеспечит эффективную утилизацию тепла с улучшением экологических характеристик ГТУ.

В некоторых выходных устройствах турбомашин для повышения жесткости и оптимизации течений выхлопных газов используются силовые стойки, которые могут вызвать образование интенсивных ударных аэродинамических волн при контакте с потоком. Эти волны могут вызывать противодействие в проточной части, что влияет на ротор, возбуждая рабочие лопатки и увеличивая виброакустическую активность установки. Таким образом, необходимо разработать конструкцию силовых элементов,

которая позволит уменьшить нестационарность течений рабочего тела в выхлопном отсеке турбомашин [7].

В заключение, оптимизация звукового давления и снижение акустической активности газотурбинных установок (ГТУ) являются неотъемлемой частью повышения их эффективности и экологической безопасности. Современные подходы в проектировании шумоглушащих систем включают разработку инновационных конструкций, которые позволяют одновременно снижать уровень шума и улучшать тепловую эффективность работы установки. В частности, внедрение абсорбирующих воздухозаборных каналов, оснащенных высокоэффективными шумоглушителями и специальными профильными стойками, помогает минимизировать акустические волны, формируемые как на входе в компрессор, так и в выхлопных трактах ГТУ.

Использование различных методов, таких как звукопоглощение, интенсификация охлаждения с помощью ребристых элементов, а также оптимизация геометрии каналов для выхлопных газов, способствует значительному снижению уровня шума и сокращению вибрационной нагрузки на элементы установки. Эти решения позволяют не только повысить комфортность работы обслуживающего персонала и улучшить экологическую обстановку в прилегающих районах, но и повысить экономичность и надежность работы ГТУ.

Список используемых источников

1. Гасенов А.И. Технические аспекты шумоподавления в газотурбинных установках: теория и практика. М.: Энергия, 2015.
2. Дроконов А.М., Дроконов А.Е. Генерация и методы снижения виброакустической активности в центробежных компрессорах // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 4. С. 20-24.
3. Илюшин П.В. Анализ влияния распределённой генерации на алгоритмы работы и параметры настройки устройств автоматики энергосистем // Энергетик. 2018. № 7. С. 21-26.
4. Кудрявцев, И.М., Румянцев, Н.В. Акустика и вибрация газотурбинных установок. М.: Машиностроение, 2017. С. 88-104.
5. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 4(153). С. 821-831.

6. Тарасов, В.А. Экологические и экономические аспекты работы газотурбинных установок. СПб.: Политехника, 2019. С. 101-124.

7. Mendelev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Performance Characteristics of A Gas Turbine Unit with Clogged Filters of an Air Filtering and Conditioning System 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. Vladivostok, 2020. P. 9271309.

ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВИДА ШИННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ Г. ПЕРМИ НА ОСНОВЕ РАСЧЁТА СЕБЕСТОИМОСТИ

Бешенцев И.Д. – студент 3-го курса, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация

В данной статье мы рассмотрим транспортную систему г. Перми по части шинного электрического транспорта – троллейбусы и электробус. Первый был закрыт в 2019 году, последний был запущен через 4 года после закрытия троллейбуса, и на сегодняшний день обслуживает 1 маршрут. Сравним данные виды транспорта в условиях эксплуатации г. Пермь, и определим, развитие какого вида транспорта для данного города будет наиболее оптимальным. Исследование будет проведено в рамках комплекса маршрутной сети (троллейбус, электробус), а также с учётом планов развития пермского электробуса.

Город Пермь является областным центром Пермского края, также является миллионным городом. В городе функционирует развитая автобусная система и из ГНЭТ функционирует лишь трамвай. До 2019 г. также работал и троллейбус. В максимальный пик развития насчитывал до 11 маршрутов (№№ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13), на момент закрытия число маршрутов составляло 6 (№№ 1, 5, 8, 10, 12, 13).

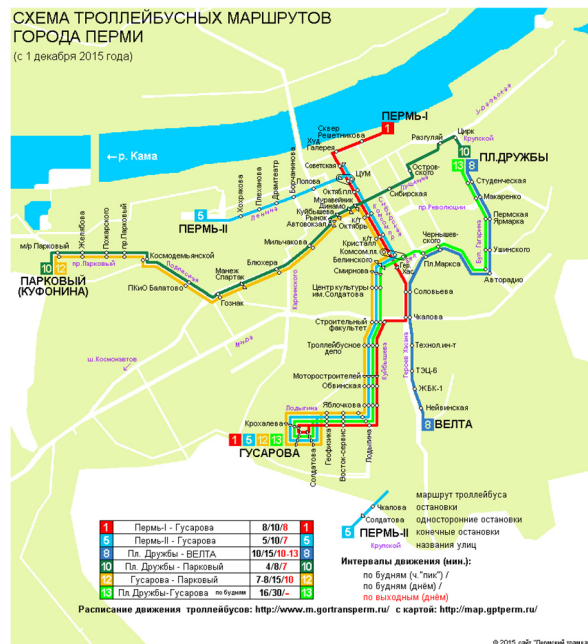


Рис.1. Схемы маршрутов 2010 и 2015 годов: утрачена половина маршрутов [11]



Рис. 2. Схема маршрутов 2008 года: комплексная схема трамвая и троллейбуса на максимальный пик развития последнего [11]

На момент закрытия общая сеть троллейбуса обеспечивала до 7% от общего пассажиропотока – примерно по 1% на нерентабельные маршруты 8, 12, 13. 2% – на наиболее популярные маршруты 1, 5, 10. В абсолютных цифрах по троллейбусу просматривалась некоторая прибыль – на каждую машину в год было до 5 млн руб. дохода при затратах на эксплуатацию не более 4,5 млн руб. Троллейбус привозил

чистую прибыль не менее 25 млн в год, но у ГЭТ были убытки до 50 млн руб./год, поэтому дефицитная часть покрывалась субсидией [6,7]. Коммерческий троллейбусный маршрут 12t в Перми был запущен в 2000 году с ценой проезда, равной стоимости проезда на коммерческом автобусе [14].

Открылся пермский троллейбус в 1960 году. С 1960 по 1970 годы сеть развивалась в основном в центральной части, а с 1970-го стала постепенно вытеснять трамвай на параллельные улицы. В 1970-1990-е троллейбус развивался в окраинных районах. Годом последней открытой в городе магистральной линии стал 1993. Десять лет спустя был опубликован генеральный план развития города, включающий в себя расширение троллейбусной сети в новые жилищные строительства. Это затронуло районы Молодёжный, Вышка-2, Костарево, Бахаревка, Запруд, Висим, а также улучшило связи между правым и левым берегами города через «Мотовилихинский» мост [5]. Однако отмена данного плана в 2007 году, завершила планирование развития троллейбуса – впоследствии в большинстве планов развития транспортной системы города значилась ликвидация троллейбуса. Единственный документ, который был принят и действовал с 2005 по 2008 г., «Концепция организации и развития городского пассажирского транспорта общего пользования г. Перми», предусматривал продление троллейбусной линии через Красавинский мост после завершения его строительства, для соединения Паркового микрорайона и Кировского района [8].

Географически обслуживание города троллейбусом оказалось неоптимальным. Расположение лишь в левобережной части города ограничивало его развитие и популярность по сравнению с автобусной и трамвайной сетями – ни в правобережной части, ни в Кировском или Орджоникидзевском районе троллейбусное сообщение не осуществлялось. В 2020 году была внедрена новая модель транспортного обслуживания, что способствовало активному развитию автобусной системы. Основная цель заключалась в смене формы оплаты транспортной работы перевозчикам – с помощью брутто-контрактов, что помогло улучшить транспортное обслуживание пассажиров (не только с маршрутной, но и социальной функцией), сократить число ДТП с общественным транспортом и обеспечить его доступность в отдаленных районах. Парк подвижного состава был обновлен: средний возраст автобусов сократился с 12 до 3 лет, причём доля низкопольных автобусов увеличилась с 78% до 95%. По трамваям – с 18 до 11 лет, доля низкопольных также выросла – с 31% до 49% (см. рисунок 3).



Рис. 3. Поэтапная закупка подвижного состава и расширение маршрутной сети г. Перми [12]

Сегодняшний день характеризуется тем, что все маршруты предоставляют возможность пассажирам выбирать наиболее подходящий для них способ оплаты проезда: помимо наличного расчёта, банковские или транспортные карты, а также мобильное приложение. Оптимальная маршрутная сеть распространилась на новые районы, снизив нагрузку на центральные улицы города и создав подвозящие внутрирайонные маршруты, связывающие в основном объекты социального назначения.

В конце 2024 г. Минтранс РФ был разослан по регионам проект приказа об определении НМЦК (начальной минимальной цене контракта) с множеством или единичным количеством перевозчиков на автомобильном и городском наземном электротранспорте [13], в приложении к которому были представлены формулы расчёта различных показателей контракта по различным видам транспорта, в частности по троллейбусу и электробусу. Учитывая, что в Перми запустили один маршрут электробуса – №81 – и, как видится, сделали ставку на развитие электробуса – сравним расходы, затрачиваемые на троллейбус и на электробус, и сделаем вывод касательно наиболее предпочтительного для развития вида транспорта.

Воспользуемся Приложением №3 данного приказа. На протяжении одного года действия контракта (Sit), мы проведем расчет максимальной себестоимости проезда 1 километра троллейбусов большого класса (БК) по маршрутной сети. Этот показатель определяется специальной формулой, где учитываются следующие

расходы: SH_{ijt} – на зарплату водителей на определенном маршруте, $РКК_t$ – на содержание контактно-кабельной сети и $РТП_t$ – на обслуживание тяговых подстанций, все в расчете на 1 км пробега в течение 1 года контракта:

$$S_{it} = (\sum_{j=1}^n S_{H_{ijt}}) + P_{ККt} + P_{ТПt}, \text{ руб./км}$$

Актуальные цены по первому показателю найти по региону достаточно затруднительно, так как в Пермском крае областной центр – единственный миллионник, а зарплаты водителей троллейбусов в г. Березники, с населением 135 тыс. чел., невозможно считать актуальными для мегаполиса. Рассмотрим в качестве примера г. Челябинск, располагающийся в схожих географических условиях – Южном Урале (Пермский край – в Северном). Заработная плата водителей троллейбуса Челябинска составляет 55 тыс. рублей [15]. Примем эту цифру аналогичной Пермскому краю.

Второй показатель – расходы на содержание контактно-кабельной сети (ККС) – состоит из ряда основных коэффициентов:

- базовые удельные расходы на содержание ККС: суммарной её протяженности на 1 кмоп, в ценах мая 2024 г., руб./км в год;
- общая протяженность ККС, используемая для движения троллейбусов по маршрутам на 1 год действия контракта (с учётом сети на объектах энергообеспечения, территории депо и др.), кмоп;
- корректирующие коэффициенты базовых удельных расходов на содержание ККС: в зависимости как от условий её эксплуатации, так и от природно-климатических условий;
- накопленный индекс цен производителей (далее – ИЦП) для внутреннего рынка в группе товаров «Услуги по ремонту и техническому обслуживанию прочего профессионального электрического оборудования» периодизацией не более чем за месяц до заключения контракта (максимальный срок – май 2024 год) [9];
- накопленный с начала календарного года расчета НМЦК, прогнозный ИЦП на продукцию машиностроения для каждого года действия контракта (в нашем случае 1) [10];
- предписанный по контракту пробег троллейбусов всех классов по маршрутной сети на 1 год действия контракта, км.

Рассчитываем:

- примем базовые расходы равными 198000, как предложено в Приказе (необходимо умножить на число суток действия контракта и разделить на календарное число суток, получается 1, ведь транспорт должен работать весь год);
- общая протяжённость контактной сети (без кабельной) – примем на момент максимального развития троллейбусной системы 95 км;
- условия эксплуатации контактной сети корректируются холмистым рельефом Перми, поэтому примем этот показатель по таб. 3 в Приказе равным 1,05;
- природно-климатические условия не корректируются особенностями территории, поэтому примем этот показатель по таб. 4 в Приказе равным 1,05;
- накопленный ИЦП составит в первом случае 113,7%; во втором – 20,6%;
- пробег троллейбусов БК по маршрутной сети (возьмём максимальный период развития маршрутной сети – 2006 г.) за год составит 10,4 млн км.

Перемножаем все показатели, кроме последнего, делим на последний и получаем 4670,48 руб. – расходы на содержание ККС на 1 км.

Третий показатель – расходы на содержание тяговых подстанций (ТП) по маршрутной сети в расчете на 1 км пробега – состоит из ряда основных коэффициентов:

- базовые расходы на содержание ТП в текущем году, выраженные в рублях за каждый киловатт установленной мощности;
- общая установленная мощность ТП на маршрутной сети за год, содержащемся в контракте (учитывается мощность всех ТП, включая тяговые подстанции на депо и других территориях);
- накопленные данные об ИЦП для внутреннего рынка по категории услуг по ремонту и обслуживанию электродвигателей, генераторов, трансформаторов и другого оборудования для электропитания, не старше месяца на момент заключения контракта (последний срок – май 2024) [9].

Прогнозный индекс цен на машиностроительную продукцию для каждого года контракта, начиная с года расчета НМЦК, копится. Также в контракте предусмотрен пробег троллейбусов БК по маршрутной сети за один год действия контракта, выраженный в километрах [10].

Рассчитываем:

- примем базовые расходы равными 680, как предложено в Приказе (необходимо умножить на число суток действия контракта и разделить на календарное число суток – получается 1, ведь транспорт должен работать весь год);

– установленная мощность ТП – примем на момент максимального развития троллейбусной системы 8 подстанций, умножим на мощность подстанции 6300 кВА – получим 50400 кВт;

– накопленный ИЦП составит в первом случае 100,2%; во втором – 20,6%;

– пробег троллейбусов всех классов по маршрутной сети (возьмём максимальный период развития маршрутной сети – 2006 г.) за год составит 10,4 млн км.

Перемножаем все показатели кроме последнего, делим на последний и получаем 646196,58 руб. – расходы на содержание ТП по маршрутной сети на 1 км пробега в год.

Вводим данные в единую формулу:

$S_{Hijt} = 55\ 000 + 4670,48 + 646196,58 = 705867,06$ – максимальная себестоимость 1 км пробега троллейбусов БК по маршрутной сети в год.

Аналогичный показатель рассчитаем в том случае, если бы все троллейбусные маршруты были заменены на электробусные. Воспользуемся Приложением №4 данного приказа.

$$S_{ijt} = (P_{OTBijt} + P_{OTKijt} + CP_{ijt} + P_{KCjt} + P_{Эit} + P_{OCjt} + P_{АкBit} + P_{Шit} + P_{TOit} + P_{ЗCjt} + ПКР_{jt}) / \beta, \text{ руб./км}$$

Расходы на оплату труда работников различных категорий, включая P_{OTBijt} , P_{OTKijt} , CP_{ijt} , P_{KCjt} , занимают важное место в бюджете. Денежные средства, выделенные на электроэнергию для движения электробусов БК ($P_{Эit}$), учитываются на основе пробега в 1 км за год действия контракта. Расходы на топливо или электроэнергию для отопления салона электробусов (P_{OCjt}), а также на замену аккумуляторных батарей тяговых электродвигателей ($P_{АкBit}$) и на износ и ремонт шин электробусов ($P_{Шit}$), рассчитываются также на основе пробега в 1 км за год действия контракта.

В течение года действия контракта рассчитывается стоимость технического обслуживания и ремонта электробусов БК (P_{TOit}) на каждый километр пробега. Также учитывается затрата на эксплуатацию и обновление зарядных станций для электробусов ($P_{ЗCjt}$) на конкретном маршруте за каждый пройденный километр. Дополнительные расходы, включая косвенные, на электробусы ($ПКР_{jt}$) на определенном маршруте в течение года контракта, также учитываются как часть обычных операций. Коэффициент использования пробега (β), зависящий от типа перевозок, принимается равным 0,89 для городского сообщения и 0,91 для пригородного сообщения.

Заметим, что в формулу себестоимости электробуса, в отличие от троллейбуса, включаются расходы на износ и ремонт шин, ТО и Р, по обычным видам деятельности – очевидно, авторы методики предполагают, что троллейбус будет работать настолько более долговечно, что проведение ремонта шин, ТО и Р отразится на его себестоимости незначительно, тем более взятым на один год эксплуатации. Аккумуляторные батареи же электробусов не только благодаря своей массе требуют более частого ремонта шин и проведения ТО, но и утилизации после 8 лет эксплуатации. Зато, у электробуса отсутствуют такие статьи расходов, как содержание контактно-кабельной сети или тяговых подстанций.

Рассчитываем:

- примем расходы на оплату труда сотрудников, как и в случае с троллейбусом, исключительно исходя из водительского состава, так как кондукторы постепенно замещаются контролёрами; к тому же, в первую очередь мы рассматриваем эксплуатационное сравнение, а не техническое – по данным МУП «Пермгорэлектротранс» [4], нижний порог зарплаты составляет 80000 руб.;

- расходы на электроэнергию на движение рассчитываются перемножением следующих показателей: цена за 1 кВт.ч электроэнергии (в Перми 5,30 руб. [16]), накопленный индекс цен на электроэнергию (11,6%), коэффициент потерь в ТП и системе электроснабжения (1,18), потребление электроэнергии для движения электробусов (электробусы БК – 2,4 кВт.ч/км), потребление электроэнергии на работу кондиционера (электробусы БК – 0,3 кВт.ч/км), кол-во электробусов для выполнения регулярных перевозок (аналогично троллейбусам – 104 ед.), планируемый пробег электробусов, приходящийся на работу с кондиционером (в летний период – 25000 км) – получаем 127 318,932 руб./км;

- расходы на энергию для отопления салона рассчитываются перемножением следующих показателей: цена 1 литра дизельного топлива (62,7 руб.), норма расхода топлива на работу отопителей салона электробусов (электробусы БК – 3,5 л/ч), планируемое в соответствии с расписанием количество часов работы электробусов с отопителем (с 06:00 до 00:00 – каждый день по 18 часов, отопитель работает 120 дней – получается 2160), предусмотренный контрактом пробег электробусов БК на определённом маршруте (среднее количество машин на маршруте – 10 ед., пробег на каждом электробусе – 25 000 км, получается 250 000 км), накопленный ИЦП на нефтепродукты (15%) – получаем 474 012 руб./км

- расходы на замену АКБ тяговых электродвигателей рассчитываются перемножением следующих показателей: базовые удельные расходы на замену

аккумуляторных батарей тяговых электродвигателей (электробусы БК – 25,6 руб./км), накопленный ИЦП по товарам, связанным с аккумуляторами (100,2%), накопленный прогнозный ИЦП по продукции машиностроения (20,8) – получаем 53 354,496 руб./км.

– расходы на износ и ремонт шин рассчитываются перемножением следующих показателей: базовые удельные расходы на шины для электробусов БК в расчете на 1 км пробега (электробусы БК – 2,38 руб./км), накопленный индекс цен по товарам, связанным с шинами (117,3%), накопленный ИЦП по производству химических веществ и продукции (107,2%) – получаем 29 927,45 руб./км.

– расходы на техническое обслуживание и ремонт рассчитываются перемножением следующих показателей: базовые удельные расходы на ТО и Р электробусов (электробусы БК – 30,2 руб./км, учитывая требование выполнения ТО и Р по контракту жизненного цикла – 36,3 руб./км), коэффициент корректировки в зависимости от природно-климатических условий базовых удельных расходов (1,1), накопленный ИЦП по деятельности ТО и Р (100,75), накопленный прогнозный ИЦП на продукцию машиностроения (20,8%) – получаем 39 903,864 руб./км.

– расходы на эксплуатацию и обновление зарядных станций (ЭЗС) рассчитываются перемножением следующих показателей: базовые удельные расходы на эксплуатацию и обновление ЭЗС электробусов (3,4), коэффициент, учитывающий расходы на введение ЭЗС в эксплуатацию осуществляется за счет подрядчика, принимается равным 2,2, в случае, если введение ЭЗС в эксплуатацию осуществляется за счет заказчика, принимается равным 1,0 (в Перми за счёт подрядчика – 2,2), накопленный ИЦП по товарам «Машины электрические и аппаратура специализированная» (54,2), накопленный прогнозный ИЦП на продукцию машиностроения (20,8%) – получаем 8432,66 руб./км.

– прочие расходы по обычным видам деятельности в сумме с косвенными расходами в составе расходов, определенном приложением № 5, рассчитываются перемножением следующих показателей: базовые удельные прочие расходы по обычным видам деятельности в сумме с косвенными расходами (28,2), накопленный ИЦП (100,91%), накопленный прогнозный ИЦП (5,8%) – получаем 16504,84 руб./км.

Вводим данные в единую формулу:

$S_{Hjt} = (80\,000 + 127\,318,932 + 474\,012 + 53\,354,496 + 29\,927,45 + 39\,903,864 + 8432,66 + 16504,84) / 0,89 = 931\,971,06$ – максимальная себестоимость 1 км пробега электробусов БК по маршрутной сети в год.

Подведём итоги сравнения себестоимости троллейбуса и электробуса. Троллейбус (705 867,06 руб./1 км) дешевле электробуса (931 971,06 руб./1 км) на 25%. Для городов, сохранивших свои троллейбусные системы, это должно послужить сигналом к их дальнейшему развитию, и переводу автобусных маршрутов, движущихся под контактной сетью троллейбуса на 70% протяжении трассы и выше, на троллейбус, или его модернизированную версию – троллейбус с увеличенным автономным ходом (ТУАХ) [1]. По аналогичным причинам, он эффективнее электробусов с ультрабыстрой зарядкой (УБЗ): им не нужна стационарная зарядная станция, заряжаться они могут в пути, а аккумуляторы легче по своей массе и долговечнее [3]. С 2018 года фиксируется опыт массовой эксплуатации как ТУАХ, так и электробусов УБЗ – он показывает ещё одну важную особенность: в часы пик ТУАХ, как и троллейбус, может работать без значительных простоев на конечной станции, бесперебойно обслуживая пассажиров, то у электробуса УБЗ есть необходимость заряжаться стационарно, какой бы запас хода в аккумуляторах не был [2]. Это также доказывает высокую эффективность электробусов именно на основе троллейбусов, а не просто с аккумулятором.

Список используемых источников

1. Бешенцев И.Д. Исследование существующего состояния и перспектив развития системы общественного транспорта г. Алчевска // Научно-технологические аспекты развития автотранспортного комплекса: материалы X Международной научно-практической конференции, в рамках 10-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики. Горловка, 2024.

2. Бешенцев И.Д., Методика расчёта выбора сценария для полной электрификации маршрутной сети г. Калуги // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, приуроченной к празднованию 300-летия Российской академии наук. Омск, 2024.

3. Бешенцев И.Д. Страницы 120-летней истории российского троллейбуса // Гуманитарные науки в современном мире: вчера, сегодня, завтра: Материалы V

Международной научной конференции. Том 2. Санкт-Петербург: СПбГУПТД. 2022. С. 240-248.

4. В Перми ищут водителей электробусов / URA.RU. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3KYzNj> (дата обращения: 08.12.2024).

5. Генеральный план развития г. Перми до 2020 г. / Департамент планирования и развития территории города Перми. [Электронный ресурс] URL: <https://web.archive.org/web/20080612235237/http://dpir.perm.ru/plan/#r07> (дата обращения: 08.12.2024).

6. Годовая отчётность департамента транспорта Администрации города Пермь за 2019 г. / Муниципальное образование город Пермь. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3KZ3we> (дата обращения: 08.12.2024).

7. Годовая отчётность МКУ «Городское управление транспорта» за 2019 г. / Муниципальное образование город Пермь. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3KZ69b> (дата обращения: 08.12.2024).

8. Концепция организации и развития городского пассажирского транспорта общего пользования г. Перми. [Электронный ресурс]. URL: <http://perm.regnews.org/doc/yw/a9.htm> (дата обращения: 08.12.2024).

9. Накопленный индекс цен производителей для внутреннего рынка для различных групп товаров ЕМИСС (Росстат). / ЕМИСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru/indicator/57608> (дата обращения: 08.12.2024).

10. Накопленный, начиная с календарного года расчета НМЦК, прогнозный индекс цен производителей на продукцию по различным товарным группам, рассчитываемый на основании публикуемых Министерством экономического развития России прогнозов социально-экономического развития Российской Федерации / Региональный центр по ценообразованию в строительстве Республики Карелия. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LaRb3> (дата обращения: 08.12.2024).

11. После введения новой транспортной модели в Прикамье будет 185 маршрутов / РБК.ру. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3KZ6tC> (дата обращения: 08.12.2024).

12. Проект приказа Министерства транспорта РФ «Об утверждении Порядка определения начальной (максимальной) цены контракта, а также цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок в сфере регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом»

/ КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3KZ7eo> (дата обращения: 08.12.2024).

13. Пермь – Общегородские схемы – Фотобаза систем общественного электрического транспорта в городах и регионах мира / Городской электротранспорт. [Электронный ресурс]. URL: <https://transphoto.org/articles/748/> (дата обращения: 08.12.2024).

14. Распоряжение администрации г. Перми «Об организации коммерческого троллейбусного маршрута» от 14 января 2000 г. №30-р / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/438908785> (дата обращения: 08.12.2024).

15. Статистика зарплат Челябинска за 2024 год – «Водитель троллейбуса» / ГородРабот.ру. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3KZ9Nd> (дата обращения: 08.12.2024).

16. Тарифы для населения и приравненных к нему категорий населения 2024 / Пермэнергосбыт. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3KZ9MF> (дата обращения: 08.12.2024).

КОНЦЕПЦИЯ РЕИНЖИНИРИНГА ДЕТАЛЕЙ ГТУ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Гильмутдинов Р.Р. – студент, ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет»

Марьин Г.Е. – к.т.н., доцент, ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация

Статья посвящена разработке концепции реинжиниринга деталей газотурбинных установок (ГТУ) в условиях импортозамещения. Рассматриваются основные аспекты и этапы процесса реинжиниринга, включающие анализ существующих конструкций, использование современных технологий проектирования, материалов и производства. Особое внимание уделяется созданию отечественных конкурентоспособных решений, способных заменить зарубежные аналоги и удовлетворить потребности промышленности и энергетики. Предложенные подходы направлены на обеспечение технологической независимости и развитие высокотехнологичных отраслей в России.

В последние годы вопросы импортозамещения и зависимости от импорта стали одними из наиболее обсуждаемых в обществе. Особенно остро эта тема стоит

в ключевых секторах экономики на фоне современных геополитических вызовов и обострения внешнеполитической и экономической ситуации. Актуальность проблемы была подчеркнута президентом России В. В. Путиным, заявив: «Уверен, что благодаря модернизации промышленности, созданию новых предприятий и локализации конкурентоспособного производства в России мы сможем значительно сократить импорт по многим позициям и вернуть внутренний рынок отечественным производителям. Считаю необходимым оперативно проанализировать потенциал конкурентного импортозамещения в промышленности»

Нефтегазовая отрасль является одной из ключевых составляющих экономики России, однако ее высокая зависимость от импорта создает значительные риски. В последние десятилетия на магистральных газопроводах активно использовалась импортная техника, включая центробежные нагнетатели с газотурбинными приводами таких компаний, как Siemens AG, Solar Turbines, Inc., General Electric и другие. Использование такого оборудования обуславливает зависимость от иностранных поставщиков запчастей и технической политики производителей.

Одними из ключевых требований к газотурбинным приводам газоперекачивающих агрегатов являются высокая надежность и значительный межремонтный ресурс. Эти показатели обеспечивают стабильную работу установки и минимизируют затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Основное влияние на надежность и долговечность газотурбинных приводов оказывают рабочие и направляющие лопатки турбин. Эти элементы подвергаются экстремальным механическим и термическим нагрузкам, поэтому изготавливаются из жаропрочных никелевых и кобальтовых сплавов, которые обладают высокой термостойкостью и устойчивостью к коррозии.

Лопатки турбин являются одними из наиболее сложных и дорогостоящих в производстве деталей, что обусловлено их высокими требованиями к качеству материала, точности изготовления и долговечности. Их конструкция и характеристики напрямую влияют на эффективность, надежность и ресурс работы газоперекачивающих агрегатов.

В связи с этим разработка и производство импортозамещающих турбинных лопаток с использованием жаропрочных сплавов и принципов реинжиниринга представляет значительный интерес. Реинжиниринг в данном контексте подразумевает модернизацию существующих технических решений, но простое копирование конструкций и применение аналогичных материалов без внедрения

оригинальных технологий, как правило, не обеспечивает требуемого уровня эксплуатационных свойств, ресурса и надежности [1].

Перспективным подходом к решению задачи реинжиниринга иностранных деталей является привлечение научно-технического и производственного потенциала ведущих российских предприятий в области авиадвигателестроения и энергетического машиностроения. Эти компании имеют обширный опыт в разработке, доводке и эксплуатации критически важных компонентов авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), что делает их ценными участниками процесса адаптации и воспроизводства деталей.

Применение накопленных знаний и технологий позволяет не только восстанавливать заменяемые компоненты, но и оптимизировать их конструкцию, улучшать материалы и повышать эксплуатационные характеристики. Важным преимуществом является возможность учета особенностей отечественной производственной базы, что снижает зависимость от импорта и укрепляет технологический суверенитет.

Стоит отметить, что зарубежные производители газовых турбин традиционно основывали свои разработки на опыте создания авиационных ГТД. В Советском Союзе, напротив, при проектировании наземных газовых турбин доступ к технической информации по авиационным ГТД был ограничен. Только в настоящее время созданы условия, позволяющие получить открытый доступ к научно-технической информации, касающейся производства авиационных ГТД, что открывает новые возможности для внедрения современных технологий в рамках импортозамещения.

В условиях противостояния в период «холодной войны» такая стратегия, вероятно, была оправданной. В результате в СССР были разработаны авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) и инновационные конструкционные материалы, такие как жаропрочный никелевый сплав для монокристаллических лопаток ЖС32, которые по своим характеристикам опередили зарубежные аналоги на десятилетия [2].

В современной России активно применяется подход конверсионного использования авиационных ГТД для создания наземных газовых турбин, используемых в газоперекачивающих агрегатах (ГПА) и газотурбинных установках (ГТУ) [3]. Однако реализация этого подхода без учета специфики эксплуатационных условий и необходимой конструкторско-технологической доработки приводит к ряду проблем. В частности, снижается надежность оборудования, что делает использование дорогостоящих авиационных ГТД недостаточно эффективным.

Для успешной адаптации технологий производства компонентов авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) к использованию в наземных установках, включая аналоги зарубежного производства, требуется создание комплексной и научно обоснованной методологии. Данная методология должна основываться на обширном производственном опыте, результатах испытаний в промышленных условиях и анализе данных длительной эксплуатации авиационных ГТД.

Ключевым направлением в процессе импортозамещения деталей газотурбинных установок (ГТУ) является разработка эффективного метода преобразования эксплуатационных характеристик авиационных компонентов в их эквиваленты, соответствующие требованиям наземных установок. Решение этой задачи возможно только на основе фундаментальных научных принципов подобия, обеспечивающих корректный перенос эксплуатационных параметров в новые условия функционирования.

При этом, если для описания подобных процессов существует несколько критериев подобия, таких как свойства материалов, технологии изготовления или геометрические параметры, они должны быть интегрированы в единую системную модель для обеспечения высокой точности преобразования и оптимизации эксплуатационных характеристик [4].

Практический опыт восстановительного ремонта и разработки импортозамещающих деталей газотурбинных установок (ГТУ) позволил выделить ключевые принципы трансформации эксплуатационных характеристик деталей авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) в эквивалентные детали для наземных ГТУ. Эти принципы направлены на достижение схожих или превосходящих эксплуатационных свойств деталей ГТУ, что необходимо для повышения их надежности, эффективности и долговечности. Основными аспектами этого процесса являются трансформация материалов и технологий, использованных при производстве деталей ГТД, с учетом специфики эксплуатации в наземных установках.

Для того чтобы детали ГТУ обладали эксплуатационными характеристиками, эквивалентными или превосходящими оригинальные детали ГТД, необходимо адаптировать материалы, которые используются в авиационных двигателях, к условиям работы на земле. Это условие подобия материала по эксплуатационным свойствам предполагает выбор и переработку сплавов, которые могут выдержать те же температуры, давления и механические нагрузки, но с учетом особенностей работы в наземных условиях. Важно, чтобы новые материалы не только соответствовали

существующим стандартам, но и обеспечивали большую долговечность и надежность, что существенно влияет на эксплуатационные характеристики всей установки.

Следующим важным шагом становится адаптация технологического процесса к новым условиям. Применение модифицированных технологий для производства эквивалентных компонентов ГТУ требует тщательного учета особенностей новых материалов и специфики их обработки. Это подразумевает, что технологии, используемые при изготовлении деталей авиационных ГТД, должны быть адаптированы таким образом, чтобы обеспечить высокое качество и надёжность компонентов для наземных установок.

Достижение подобия технологических процессов с учётом условий эксплуатации позволяет повысить эффективность и качество производимых деталей, минимизируя необходимость масштабных изменений в текущих производственных процессах. Такой подход обеспечивает не только улучшение эксплуатационных характеристик компонентов, но и значительное сокращение временных и финансовых затрат на их изготовление [5].

Пример успешного применения этих принципов можно увидеть в практике авиадвигателестроения США, где давно используется базово-семейственный подход для разработки нового поколения деталей. Этот подход предполагает использование существующего опыта и технологий при переходе от лопаток ГТД для истребителей к лопаткам для гражданских авиационных ГТД, а затем и к деталям для наземных ГТУ. Этот процесс позволяет перенести проверенные решения и технологии на новые типы установок, обеспечивая их высокую надежность и эффективность. В результате авиационные ГТД становятся драйвером развития технологий для наземных газотурбинных установок, что подтверждается успешной адаптацией новых сплавов, методов обработки и технологий, разрабатываемых для авиации, к требованиям наземных установок.

При производстве деталей для газотурбинных установок (ГТУ), когда возникает необходимость замены оригинальных компонентов на аналоги, используются два ключевых прототипа.

Первый прототип – это оригинальная деталь, которая сочетает в себе материал, технологию изготовления и конструкцию, характеристики которых необходимо воспроизвести при создании нового аналога. Это позволяет максимально сохранить исходные эксплуатационные параметры и надежность заменяемого компонента.

Второй прототип – это оригинальная деталь авиационного газотурбинного двигателя (ГТД), материалы, технология и конструкция которой адаптируются и

трансформируются для применения в наземных газотурбинных установках. Такая адаптация требует учета различий в условиях эксплуатации авиационных и наземных систем, включая температурные режимы, нагрузки и требования к долговечности.

Использование двух прототипов позволяет обеспечить высокую степень соответствия новых деталей техническим требованиям и эксплуатационным характеристикам, сохраняя эффективность и надежность работы ГТУ.

Высокий уровень развития авиационной техники и технологий в России, а также наличие положительных данных по стендовым и натурным испытаниям лопаток турбин, выполненных из различных сплавов и с применением различных технологических процессов, создают надежную основу для успешного проведения реинжиниринга импортных деталей. Это позволяет не только гарантировать высокие технико-экономические показатели, но и добиться требуемых эксплуатационных характеристик для лопаток турбины наземных ГТУ [6].

Применение принципов подобия в реинжиниринге, основанное на преобразовании системы «материал–технология–конструкция» авиационной детали ГТД в систему «материал'–технология'–конструкция» для эквивалентной детали ГТУ, играет ключевую роль. Такой подход позволяет с минимальными затратами ресурсов и времени создавать импортозамещающие компоненты, которые не только соответствуют заданным эксплуатационным требованиям, но и обеспечивают высокий уровень качества и надёжности в условиях наземной эксплуатации.

Список используемых источников

1. Кишкин С.Т., Каблов Е.Н. Литейные жаропрочные сплавы для турбинных лопаток / Кишкин С.Т., Каблов Е.Н. // Авиационные материалы. Избранные труды 1932-2002: юбилейный научно-техн. сборник / ВНИИ авиационных материалов; общ. ред. Каблов Е. Н. М., 2002. С. 48-58.

2. Менделеев Д.И. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии / Д.И. Менделеев, Г.Е. Марьин // Энергия-2018: Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 томах, Иваново, 03–05 апреля 2018 года. Том 1. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2018. С. 7.

3. Оспенникова О.Г. Особенности, основные задачи и тенденции развития специальной металлургии жаропрочных сплавов нового поколения // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2015. № 4. С. 68-74.

4. Скибин В.А., Солонин В.И., Палкин В.А. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей: (аналитический обзор) / Центральный ин-т авиационного моторостроения им. П. И. Баранова. М.: ЦИАМ, 2010. 673 с.

5. Стенографический отчет о пленарном заседании Санкт-Петербургского международного экономического форума / Президент России. URL: <http://www.kremlin.ru/news/21080> (дата обращения: 07.01.2025).

6. Marin G., Akhmetshin A., Shubina A. Improving the Energy Performance of a Conversion Aircraft Engine Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021: 3, Lipetsk, 10-12 November 2021. Vol. 3rd International Conference. Lipetsk, 2021. P. 1041-1045.

АКТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ ПО СНИЖЕНИЮ РЕСУРСОЕМКОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Лаврин В.Е. – главный специалист, ГУП «Мосгортранс»

Аннотация

В статье рассматриваются применяемые автопроизводителями методы и принципы, позволяющие снизить требуемые для проектирования, производства и эксплуатации автотранспортных средств трудовых, природных и финансовых ресурсов. Снижение ресурсоемкости осуществляется на всех стадиях жизненного цикла транспортного средства, начиная от проектирования, закаячивая утилизацией.

Введение

В современном мире автомобиль является одним из наиболее значимых и широко используемых видов транспорта, а автомобильная промышленность представляет собой одну из наиболее ресурсозатратных отраслей отрицательно воздействующую на окружающую среду [6]. По итогам 2021 года в мире насчитывалось порядка 1,45 млрд легковых и коммерческих транспортных средств [5], каждое из которых представляет из себя богатый источник ценных вторичных

ресурсов. Автомобильный парк Российской Федерации требует существенного обновления, так как около половины всех находящихся в эксплуатации автомобилей в стране устарели [2], поэтому необходимо совершенствовать систему утилизации транспортных средств с учетом обеспечения снижения нагрузки на экологию.

Для сокращения ресурсоемкости и снижения воздействия автомобильной отрасли на окружающую среду необходимо придерживаться основных принципов (рис. 1):

- сокращать трудозатраты на проектирование, тестирование и производство текущих и новых моделей транспортных средств;
- снижать массу транспортных средств, увеличивая долю современных композитных и полимерных материалов в автомобильной промышленности;
- минимизировать использование в производстве первичного сырья;
- обеспечивать возможность максимально простой рециклируемости как самого транспортного средства, так и его отдельных компонентов после завершения срока службы;
- стимулировать автопроизводителей к разработке средств по снижению вредного воздействия от эксплуатации транспортных средств с помощью регламентов и законов.

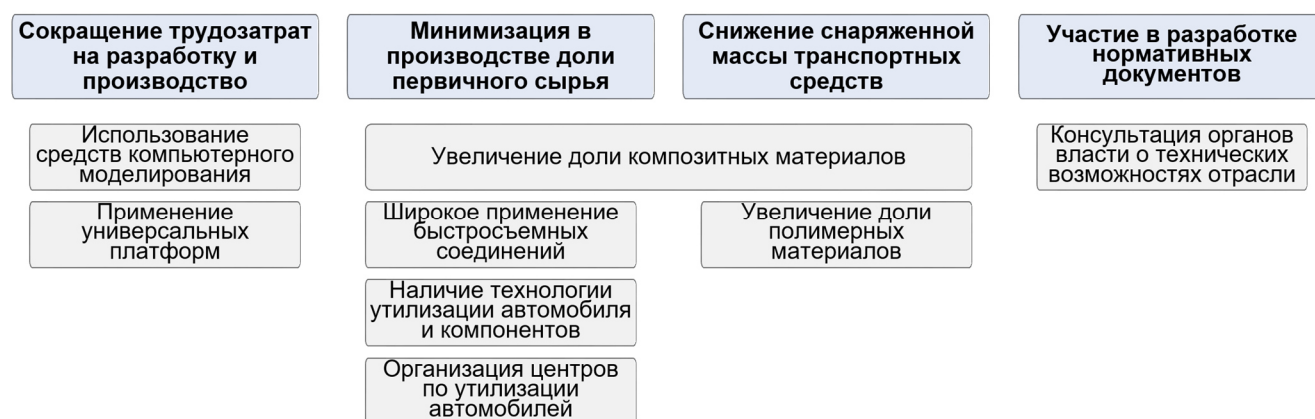


Рис. 1. Основные принципы сокращения ресурсоемкости и снижения воздействия автомобильной отрасли на окружающую среду на стадии разработки автомобилей

Источник: составлено автором

Способы снижения степени воздействия автомобильной промышленности на окружающую среду

Серьезное сокращение трудозатрат на всех этапах проектирования, тестирования и доводочных испытаниях обеспечивается за счет широкого применения систем компьютерного моделирования. На сегодняшний день продолжительность виртуальных испытаний новых решений значительно превышает время, затраченное на проведение реальных дорожных тестов на полигонах или в условиях реальной эксплуатации [8]. Моделирование позволяет оптимизировать конструкцию транспортного средства без необходимости изготовления дорогостоящих физических прототипов, также значительно сокращает время и средства на проведение ресурсных тестов и тестов безопасности для выявления слабых мест в конструкции и сокращает необходимый штат инженеров-проектировщиков. Другим способом сокращения временных, материальных и трудовых ресурсов является применение в разработке автомобиля универсальных платформ. Платформы представляют собой модульные конструкции с типовыми решениями подвесок, расположения силовых установок и других крупных элементов шасси автомобиля. Гибкость платформ позволяет сократить время разработки и тестирования новой модели автомобиля, а также снизить материальные расходы на производство запасных частей и компонентов за счет больших объемов их производства и снижения логистических расходов [3]. Одной из наиболее распространенных является платформа MQB (Modularer Querbaukasten) концерна Volkswagen Group. На сегодняшний день на ней базируется более 40 моделей автомобилей марок Audi, Seat, Skoda, Volkswagen и других менее известных марок, выпускаемых с 2012 года по настоящее время.

Снижение массы транспортных средств является одним из самых действенных способов снижения ресурсоемкости на этапах производства и эксплуатации автомобиля. Особенно актуальным вопрос стал с ростом популярности автомобилей с электрической и гибридной силовой установкой, чья масса за счет тяговых аккумуляторных батарей превышает массу аналогичных автомобилей с ДВС на несколько сотен килограммов или более. Уменьшенная масса транспортного средства, в свою очередь, снизит удельный расход материалов и энергии, требуемых при эксплуатации транспортного средства, таких как горюче-смазочные материалы, шины, тормозные колодки и другие, что снизит количество выбросов отработавших газов, вредных частиц резины и пыли от работы тормозных механизмов. Эффективным методом снижения массы автомобилей

является широкое применение композитных и полимерных материалов в конструкции транспортного средства взамен стальных. Зачастую это позволяет снизить массу без потерь в прочности конструкции при одновременном увеличении ее долговечности.

Другой важной задачей в минимизации ресурсоемкости является снижение в производстве доли первичного сырья путем увеличения доли вторичного. Это закладывается на начальном этапе проектирования автомобиля и реализуется на финальной стадии его жизненного цикла [4]. На стадии проектирования конструктивно обеспечивается возможность простой переработки (рециклинга) как самого транспортного средства, так и его отдельных компонентов после завершения срока службы. Это достигается за счет применения материалов, годных для повторного использования и увеличения количества быстросъемных соединений в конструкции автомобиля, облегчающих демонтаж компонентов на этапе подготовки к утилизации. К таким типам соединения относят клипсовые соединения, защелки, зажимы и прочие, позволяющие кратно сократить трудоемкость извлечения элементов салона, кузовных панелей, элементов проводки, системы питания и прочего. За счет этого увеличивается качество работ по подготовке к утилизации, от которого сильно зависит стоимость и рециклируемость материалов и компонентов автомобиля. При правильно проведенных демонтажных работах до 80% узлов и агрегатов автомобиля, с учетом восстановительных работ, способны вернуться в эксплуатацию в качестве запасных частей [1]. Также долю рециклируемых материалов повышает наличие подробной документации, описывающей технологию утилизации. Например, в странах Евросоюза наличие подобной документации является одним из обязательных условий для вывода новой модели на рынок. Производитель подготавливает технологические карты демонтажа узлов и агрегатов, рекомендации по сливу эксплуатационных жидкостей, деактивации подушек безопасности и прочих задач. Данные работы целесообразно проводить на специализированных предприятиях, занимающихся снятием, ремонтом и реализацией запасных частей, не выработавших свой ресурс, а также сортировкой непригодных к восстановлению компонентов. Примером такого предприятия является центр по утилизации и демонтажу компонентов, реализованный BMW Group в пригороде Мюнхена [7]. На протяжении 30 лет предприятие снабжает рынок бывшими в употреблении сертифицированными запасными частями с большой скидкой.

Крупные автопроизводители играют ключевую роль в процессе разработки и внедрения новых стандартов. Они активно участвуют в обсуждениях и консультациях с государственными органами и международными организациями, такими как Европейская комиссия и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Это сотрудничество помогает учесть технические возможности и экономические реалии производства автомобилей, а также найти баланс между требованиями экологии и стоимостью технологий. Ярким примером результата совместной работы является внедрение стандартов Евро. Стандарты Евро были впервые введены Европейским Союзом в 1992 году с целью ограничения выбросов углекислого газа, оксидов азота, углеводородов и твердых частиц. С тех пор эти нормы неоднократно пересматривались и ужесточались, что привело к созданию серии стандартов, начиная с Евро-1 и заканчивая текущими стандартами Евро-6, введенными в 2014 году и его последующими вариациями. Каждый новый стандарт предъявляет все более строгие требования к составу выбросов, что вынуждает автопроизводителей применять новые способы уменьшения удельного расхода топлива, разрабатывать новые двигатели и улучшать системы очистки выхлопных газов. Например, переход от Евро-4 к Евро-5 потребовал значительного сокращения выбросов NOx и твердых частиц, что было достигнуто благодаря внедрению селективного каталитического восстановления (SCR) и сажевых фильтров для дизельных двигателей.

Заключение

В статье рассмотрен комплекс методов и принципов, направленных на снижение ресурсоемкости автомобильного транспорта и его воздействия на окружающую среду на всех этапах его жизненного цикла – от проектирования до утилизации. На стадии проектирования серьезный вклад вносит применение компьютерного моделирования и использование универсальных платформ, оптимизирующих процессы разработки, тестирования и производства, что способствует сокращению затрат труда, времени и материальных средств. Важным аспектом является уменьшение массы транспортных средств посредством внедрения композитных и полимерных материалов, что снижает потребление энергоресурсов и уменьшает выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в процессе преследующей эксплуатации. Также, описана необходимость повышения доли вторичного сырья в производстве автомобилей. Это достигается через оптимизацию конструкции автомобиля, направленной на обеспечение простоты рециклирования. Для достижения этих целей важную роль играет государственное

регулирование и международные стандарты, разрабатываемые при тесном сотрудничестве с крупными автоконцернами. Ярким примером являются стандарты Евро, которые стимулируют автопроизводителей к внедрению технологий, снижающих воздействие автомобильного транспорта на экологическую обстановку.

Список используемых источников

1. Бобович Б.Б. Утилизация автомобилей и автокомпонентов: учебное пособие. М.: Форум, 2010. 167 с.
2. Зиманов Л.Л., Сорокин С.Н., Поживилов Н.В. Управление возрастной структурой парка городских автобусов на предприятии с целью обеспечения высокого качества перевозки пассажиров // Грузовик. 2016. № 7. С. 32-34.
3. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ: учебное пособие. СПб: CSR North-West, 2013. 80 с.
4. Лаврин В.Е., Поживилов Н.В., Евarestов В.М. Критерии принятия решения о направлении выбытия транспортных средств в автотранспортном предприятии // Грузовик. 2024. № 2. С. 34-38.
5. Прогноз развития мирового автомобильного рынка / Газпромбанк Инвестиции, 08.01.2024 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://gazprombank.investments/blog/economics/prognoz-avtomobilnogo-rynka> (дата обращения 23.12.2024).
6. Ставцева А.А., Милина М.Ю., Тарусова М.С., Васильева В.В. Влияние автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодежь и наука: шаг к успеху: Сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых / Отв. Ред. Горохов А.А. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 191-194.
7. Центр утилизации и демонтажа: где умирают BMW / rubmw.ru, 13.07.2023 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rubmw.ru/news/tsentr-utilizatsii-i-demontazha-gde-umirayut-bmw> (дата обращения 24.12.2024).
8. Черанёв С.В. Использование программного обеспечения для математического моделирования при проектировании автомобилей с гибридными силовыми установками // Известия МГТУ. 2011. №1. С. 116-120.

СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА НАВИГАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОКОМОТИВНОЙ АППАРАТУРЫ GNSS

Логинов Д.Д. – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Демьянов В.В. – д.т.н., профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Аннотация

В статье рассматривается разработка специализированного программно-алгоритмического обеспечения (СПО) для анализа навигационных характеристик локомотивной аппаратуры GNSS. СПО позволяет оценивать погрешности позиционирования, строить эллипсы рассеивания и визуализировать их изменения в процессе движения.

Введение

Современные системы автоматизированного управления движением и контроля дислокации подвижного состава железных дорог во многом базируются на использовании технологий глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [3]. Эксплуатация бортовой аппаратуры ГНСС часто показывает, что прием сигналов навигационных спутников затруднен или невозможен из-за влияния окружающей инфраструктуры железных дорог. Эта проблема всегда имеет принципиально разную специфику проявления на различных участках железных дорог. Поэтому, любое новое внедрение или модернизация систем автоматики и телемеханики, использующих аппаратуру ГНСС, на каждом конкретном участке железной дороги должно предваряться испытаниями реальных характеристик работоспособности различных образцов антенн и приемников навигационных сигналов [2].

Для получения статистически достоверных оценок параметров навигационных характеристик и уточнения особенностей их пространственно-временной изменчивости всегда возникает задача обработки больших массивов измерений и вычислений, которые получены в процессе испытаний локомотивной аппаратуры ГНСС. Эффективное решение указанной задачи возможно только на

основе автоматизации процесса обработки с возможностью визуализации основных навигационных характеристик в заданном режиме позиционирования.

С целью решения данной задачи нами разработано специализированное программно-алгоритмическое обеспечение (СПО), которое позволяет оценить мгновенную и среднюю погрешность позиционирования локомотива на плоскости, а также получить параметры эллипса рассеивания погрешностей относительно линии пути с заданной доверительной вероятностью. Дополнительно обеспечивается возможность визуального контроля взаимного углового положения главной оси эллипса рассеивания и текущего направления линии пути с фиксацией углов и записью эволюции положения и формы эллипса рассеивания в процессе движения локомотива.

На примере обработки результатов выездных испытаний локомотивной аппаратуры ГНСС продемонстрирована работоспособность и возможности разработанного нами специализированного СПО. Важно отметить, что использование таких методов анализа и визуализации данных помогает более точно оценивать погрешности определения координат в системах GNSS [1], что, в свою очередь, способствует улучшению безопасности и надежности железнодорожного транспорта.

1. Алгоритм расчета параметров эллипса рассеивания погрешностей.

Построение эллипсов рассеивания погрешностей определения координат на плоскости «Широта-Долгота» можно осуществить с помощью параметрического представления эллипса рассеивания. Этот метод позволяет наглядно оценить разброс и взаимосвязь между двумя случайными величинами, такими как широта и долгота [5].

Параметрическое представление эллипса рассеивания

Эллипс рассеивания погрешностей может быть представлен в параметрической форме следующим образом:

$$x(t) = m_x + \sigma_x \cdot k \cdot \cos(t) \quad (1)$$

$$y(t) = m_y + r \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x(t) - m_x) + \sigma_y \cdot k \cdot \sqrt{1 - r^2} \cdot \sin(t) \quad (2)$$

Где $k = -2 \cdot \ln(1 - P)$ – параметр, описывающий границы эллипса рассеивания погрешности определения координат на плоскости в пределах заданной доверительной вероятности P ; t – параметрическая переменная.

Построить большую полуось эллипса рассеивания погрешности определения координат на плоскости «Широта-Долгота» и определить угол наклона этой оси можно следующим образом. Большая полуось эллипса рассеивания в параметрической форме на плоскости:

$$F(z) = m_Y + r \cdot \frac{\sigma_Y}{\sigma_X} (z - m_X) \quad (3)$$

Где z – переменная, определяющая правую и левую границы оси эллипса рассеивания погрешностей; r – коэффициент корреляции погрешностей [4].

Угол наклона большой полуоси (в радианах) на этой же плоскости можно определить с помощью выражения

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \arctg \left(\frac{2 \cdot r \cdot \sigma_Y \cdot \sigma_X}{\sigma_Y^2 - \sigma_X^2} \right) \quad (4)$$

Пример построения эллипса рассеивания погрешностей определения координат на плоскости «Широта-долгота» для доверительной вероятности $P=0.95$, с определением угла его наклона, выполненный в разработанном СПО, представлен на рис. 1. Результат такого построения позволяет визуально оценить степень взаимосвязи и разброса между широтой и долготой, что важно для анализа погрешностей и оценки достоверности результатов измерений.

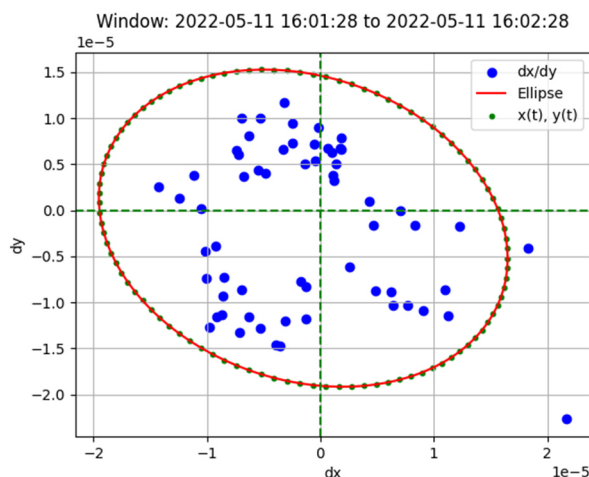


Рис. 1. Пример построения эллипса рассеивания погрешности местоопределения на плоскости

Источник: составлено автором

2. Блок-схема алгоритма обработки измерений ГНСС.

Программа разработана на основе стандартной методики статистического анализа погрешностей измерений. В результате работы программы формируется

совокупность данных и статистические оценки погрешности местоопределения объекта на плоскости в локальной декартовой системе координат в составе:

1) Временные ряды СКО погрешностей оценивания широты, долготы и высоты, полученные с методом скользящего среднего с шагом в 1 сек и длительностью окна усреднения 60 сек;

2) Временные ряды записей мгновенных геометрических факторов (PDOP, HDOP) и количественного состава наблюдаемого созвездия спутников;

3) Математическое ожидание и СКО погрешностей определения координат и круговой погрешности на плоскости за выбранный период обработки;

4) Коэффициент корреляция между погрешностями определения координатами на плоскости и угловая ориентация главной оси эллипса рассеивания погрешностей для каждого заданного временного интервала усреднения (60 секунд) и с учётом заданной доверительной вероятности;

5) Программа позволяет фиксировать временную последовательность эллипсов рассеивания ошибок позиционирования с заданным шагом оценивания параметров эллипса. Этот шаг совпадает с интервалом усреднения, используемым для расчёта среднеквадратичных отклонений (СКО) погрешностей методом скользящего среднего (см. п. 1 выше). Таким образом, если задан шаг оценивания в 60 секунд, параметры эллипса (средние значения ошибок, СКО, коэффициент корреляции и ориентация главной оси) вычисляются на основе данных, собранных в скользящем окне длиной 60 секунд.

Блок схема алгоритма обработки и анализа измерений ГНСС представлена на рис. 2.

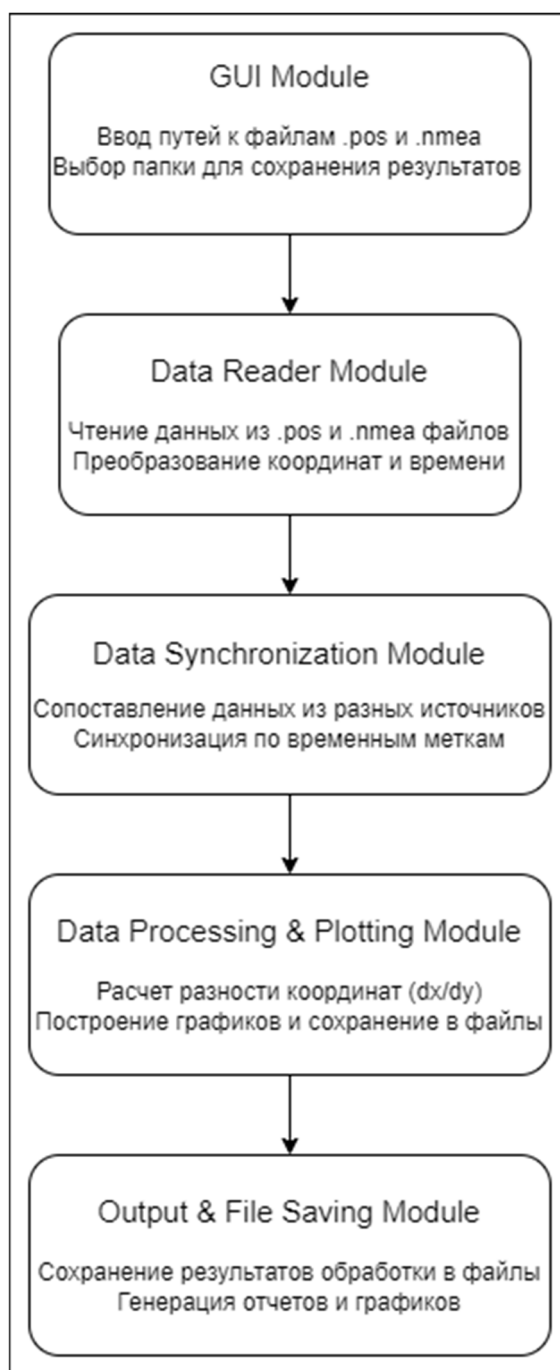


Рис. 2. Структурная схема СПО

Источник: составлено автором

Назначение модулей:

1. GUI Module (Модуль графического интерфейса): предоставляет интерфейс для пользователя для ввода путей к исходным файлам и выбора выходных папок. Также позволяет начать обработку данных и отслеживать ее прогресс.

2. Data Reader Module (Модуль чтения данных): Читает исходные данные из файлов «.pos» и «.nmea», а также преобразует координаты из формата NMEA в десятичные градусы.

3. Data Synchronization Module (Модуль синхронизации данных): синхронизирует данные, сопоставляя их по временным меткам, чтобы обеспечить правильное соответствие между данными из разных источников.

4. Data Processing & Plotting Module (Модуль обработки данных и построения графиков): рассчитывает разности координат и строит графики для анализа.

5. Output & File Saving Module (Модуль сохранения файлов): сохраняет результаты обработки (разности координат, графики) в указанные пользователем папки.

В качестве исходного источника данных для программы используются файлы форматов «.pos» - координаты снятые во время движения, и «.nmea» - опорный трек пути.

Файлы форматов «.pos» и «.nmea» должны быть сформированы из исходных данных, полученных в результате выездных измерений.

Если исходные данные представлены в виде бинарных файлов во внутреннем формате навигационного приёмника, их необходимо предварительно преобразовать в формат RINEX версии 3.X [7]. Это преобразование выполняется с использованием специализированного ПО, предоставляемого производителем оборудования или сторонними инструментами. Далее, для обработки файлов в формате RINEX и получения файла «.pos», необходимо использовать программное обеспечение RTKLIB. RTKLIB позволяет выполнить постобработку измерений, включая режимы точного позиционирования (PPP, RTK), для генерации координат с высокой точностью. Также из файла RINEX можно получить данные в формате NMEA, используя RTKLIB, что расширяет возможности обработки исходных данных [6, 4].

Данные в формате NMEA 0183 используются непосредственно для обработки в программе. Файл формата NMEA 0183 используются в качестве опорного трека.

В результате предварительной обработки формируются файлы с расширением «.pos», в формате:

Табл. 1

Формат данных файла «pos»

Параметр	Описание
Временная метка	Время записи, в формате: ГГГГ/ММ/ДД ЧЧ:ММ:СС.000 (GPST)

Широта	Географическая широта (в градусах, WGS84/эллипсоидальная система)
Долгота	Географическая долгота (в градусах, WGS84/эллипсоидальная система)
Высота	Высота (в метрах, относительно эллипсоида WGS84)
Качество решения	Уровень точности (1: фиксированное, 2: плавающее, 3: SBAS, 4: DGPS, 5: одиночное, 6: PPP)
Количество спутников	Число спутников, используемых для вычислений
Погрешности по координатам	Погрешности по широте (sdn), долготе (sde), высоте (sdu), также компоненты ошибок (sdne, sdeu, sdun)
Возраст	Время с последнего обновления данных, в секундах
Отношение	Отношение сигнала к шуму (необходимо для оценки качества сигнала)

Источник: составлено автором

3. Демонстрация функциональных возможностей СПО

Разработанное специализированное СПО обеспечивает исполнение следующих задач.

Чтение и преобразование исходных данных

Программа выполняет преобразование координат, представленных в формате NMEA (градусы, минуты, секунды), в десятичный формат (десятичные градусы), что необходимо для корректного анализа данных. Этот процесс включает переход из системы координат, основанной на градусах, минутах и секундах (DMS), в десятичную систему координат (DD), которая является стандартом для геодезических вычислений и используется в большинстве навигационных и аналитических систем.

Программа также читает данные из файлов форматов .pos и .nmea, извлекая ключевые параметры, такие как временные метки, широту, долготу и высоту. Эти данные затем используются для анализа и дальнейшей обработки, например, для вычисления погрешностей и построения графиков.

Чтение данных из исходных файлов с расширениями .pos и .nmea. Из этих файлов извлекаются временные метки, широта, долгота и высота, которые затем приводятся к единому формату, сохраняя исходное временное разрешение для дальнейшего анализа.

Синхронизация данных

Синхронизация данных необходима, поскольку файлы .pos и .nmea могут содержать координаты, полученные с разной частотой записи или в разное время. Например, файл .pos может содержать данные с более высокой частотой (например,

каждые 1-5 секунд), а файл .nmea – с меньшей (например, каждое второе измерение). Это может привести к расхождению по времени между записями в этих файлах. Процесс синхронизации позволяет привести данные к общему временному интервалу, сопоставив записи с учетом временных меток, чтобы обеспечить корректное совпадение данных из разных источников для дальнейшего анализа.

При использовании этой функции исходными данными являются временные метки, широта, долгота и высота из файлов .pos и .nmea. Программа сравнивает данные из обоих файлов, учитывая, что они могут быть записаны с разным интервалом времени и в разных форматах времени.

После синхронизации данные из обоих файлов объединяются в единый формат, так что каждая запись содержит информацию из обоих источников, которая соответствует одной и той же временной метке. Это позволяет сравнивать координаты из разных источников (например, из файла .pos и из файла .nmea) и анализировать разницу между ними. Полученные данные выводятся в файл в формате: «время широта(nmea) долгота(nmea) высота(nmea) широта(pos) долгота(pos) высота(pos)».

Анализ и визуализация

Вычисление разностей координат: Разности координат рассчитываются между данными из файлов .pos и .nmea. Эти файлы предполагают использование одного и того же маршрута: файл NMEA содержит эталонные данные (опорный трек), а файл .pos – данные, записанные в процессе эксперимента. Это позволяет оценить расхождения между эталонным треком и фактически измеренными координатами, полученными в реальном времени.

Построение эллипсов рассеивания: Эллипсы рассеивания строятся на основе рассчитанных разностей координат по временным интервалам – скользящим окнам, каждое из которых длится 60 секунд. В каждом окне рассчитываются разности координат, которые затем используются для построения соответствующего эллипса рассеивания. Набор эллипсов создаётся для отдельных временных интервалов с шагом в 1 секунде.

Программа сохраняет графики и текстовые файлы. Графики (в формате PNG) показывают распределение ошибок за каждое скользящее окно: погрешности оценки координат, эллипс рассеивания. Текстовые файлы включают детальную информацию о разностях координат, рассчитанных для каждого скользящего окна.

Графики, полученные с использованием программы, представлены на рис. 3, который демонстрирует, что в процессе движения вдоль железнодорожного пути

наблюдается существенная эволюция формы эллипса и угла наклона главной оси эллипса рассеивания погрешностей. Этот факт может оказаться существенным, например, для формирования предупреждений о нарушении требуемых навигационных характеристик в процессе реализации автоведения поезда с прицельным торможением.

Так, мы имеем близкие выборочные характеристики для случаев на рис. 3 а и 3 б. На рис. 3 а: СКО = 22,41 м, МО = 1,76 м, доверительная вероятность = 0,95; на рис. 2 б: СКО = 16,32 м, МО = 0,89 м, доверительная вероятность = 0,95. Однако на рис. 2, а эллипс ориентирован поперек пути и минимальное допустимое контрольное расстояние между поездами может быть сокращено до размеров поперечной оси эллипса. На рис. 2 б ситуация существенно отличается: эллипс ориентирован вдоль линии пути, в результате чего допустимое контрольное расстояние между поездами должно быть существенно увеличено и быть не меньше длины большой полуоси эллипса рассеивания погрешностей.

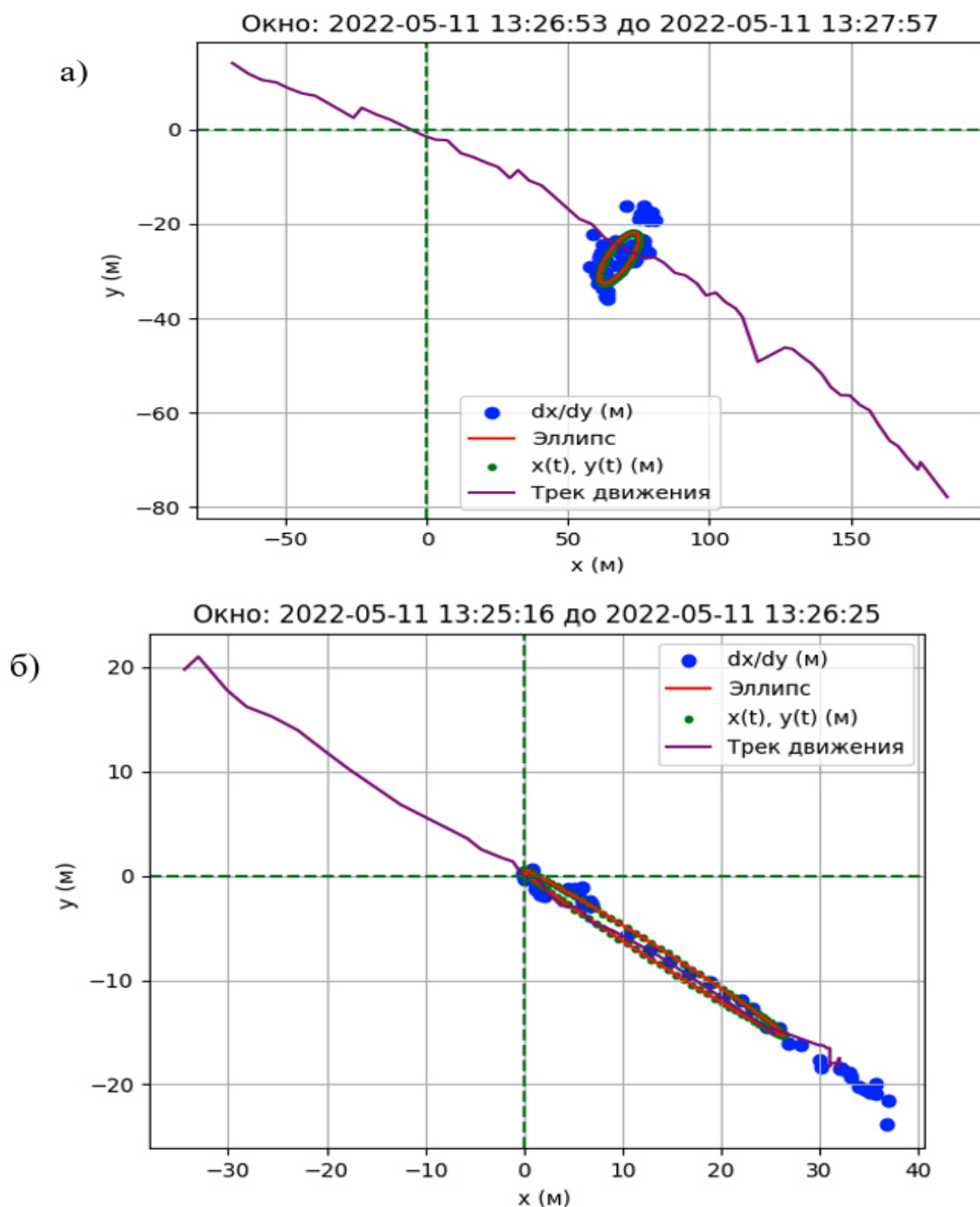


Рис. 3. Эволюция эллипса рассеивания погрешностей позиционирования относительно оси пути в процессе движения (составлено автором)

Источник: составлено автором

Заключение

Разработанное специализированное программно-алгоритмическое обеспечение (СПО) успешно решает задачу автоматизированного анализа погрешностей позиционирования локомотивной аппаратуры GNSS. Программа может быть использована для предварительных испытаний и оценки характеристик

работы систем GNSS на различных участках железных дорог с целью выявления проблем с приемом сигналов и их влияния на точность позиционирования [2, 3].

Список используемых источников

1. Анализ погрешностей определения координат в системах GNSS // Научный журнал «Геодезия и картография». 2021. № 3. С. 1-15.

2. Белов Е.В., Зайцев А.М., Ковалев И.В. Системы автоматизированного управления движением на железных дорогах: теория и практика. М.: Транспорт, 2019. 450 с.

3. Петров А.И., Смирнов В.Н., Кузнецов О.А. Технологии глобальных навигационных спутниковых систем в железнодорожном транспорте: монография. СПб.: Издательство СПбГУПС, 2021. 300 с.

4. Постобработка измерений с использованием программного обеспечения RTKLIB // Журнал геодезии и картографии. 2022. № 5. С. 1-12.

5. Rizos C (2003) Trends in GPS Technology & Applications. Satellite Navigation & Positioning Group, School of Surveying and Spatial Information Systems / The University of New South Wales, Sydney NSW 2052, AUSTRALIA. [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3LakSK> (date of treatment: 15.01.2025).

6. RTKLIB User Manual. Version 2.4.3. / RTKLIB. [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3LakcY> (date of treatment: 01.01.2025).

7. Thomas Nischan. RINEX GNSS Data Conversion and Manipulation Toolbox / GFZ Data Services, 2016. [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3Lakfh> (date of treatment: 09.12.2024).

РАБОТА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ ВОДОРОДА К СИНТЕЗ-ГАЗУ

Марьин Г.Е. – доцент кафедры «Энергетическое машиностроение», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Новоселова М.Н. – магистр, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация

В статье рассматривается процесс добавления водорода в синтез-газ. Увеличение теплоты сгорания получаемой топливной смеси способствует повышению эффективности работы газотурбинной установки типа НК-16-18 СТ, что выражается в снижении расхода топлива и увеличении коэффициента полезного действия (КПД).

Ограниченность ископаемых ресурсов делает необходимым поиск возобновляемых источников энергии, которые смогли бы стать альтернативой традиционным видам топлива. В настоящий момент развивается несколько направлений развития в области альтернативных видов топлива: водородная энергетика и энергокомплексы, работающие на биотопливе [1,8]. Отдельным направлением необходимо рассматривать активное развитие технологий газификации угля [4,5,7].

Синтез-газ может быть произведен из различного исходного сырья, такого как биомасса, получаемая в свою очередь из бытовых, производственных или сельскохозяйственных отходов, так и уголь, и природный газ. Однако в основном генераторный газ состоит из следующих компонентов: монооксид углерода и водород. В некоторых случаях также может присутствовать углекислый газ в малой концентрации.

Несмотря на сложности, связанные с его использованием, уголь по-прежнему составляет значительную долю в мировом потреблении энергетических ресурсов, превышая 27% [9]. Однако многие развитые страны, стремясь к декарбонизации энергетического сектора, пытаются сократить потребление угля. К преимуществам этого топлива относятся его низкая стоимость, доступность, легкость транспортировки и удобство хранения. В то же время к недостаткам можно отнести большое количество не утилизируемых отходов в виде шлака, высокую концентрацию углекислого газа в выбросах и многоступенчатую подготовку топлива, необходимую для эффективного процесса сгорания. Газификация угля может рассматриваться как метод преобразования низкосортного и доступного

твердого топлива в топливо с высокой теплотворной способностью и высоким содержанием водорода [6]. Это помогает устранить некоторые недостатки использования твердого топлива, такого как уголь, в производстве энергии. Процесс газификации включает частичное окисление топлива, содержащего углерод, где в качестве газифицирующего агента могут выступать кислород или воздух.

Использование генераторного газа в энергетике, прежде всего, подразумевает его применение в качестве топлива для газотурбинных установок, как для отдельных генераторных агрегатов, так и в составе парогазовых установок. Подмешивание водорода к синтез-газу позволит увеличить теплотворную способность, что в свою очередь окажет влияние на экономичность работы газотурбинной установки.

Изучение эксплуатационных характеристик газотурбинных установок (ГТУ), работающих на синтез-газе с добавлением водорода, позволит расширить ассортимент топлива, используемого в этих установках, и тем самым увеличить сферы их применения [2]. При схожих значениях данных характеристик установки, использующей топливный газ различного состава, можно говорить о целесообразности использования газификации угля и добавления к получаемому синтез-газу водорода для энергообеспечения удаленного района, в котором отсутствует доступ к магистральному природному газу.

На рис. 1 показана схема подключения электролизера в схему ГТУ с газификатором угля.

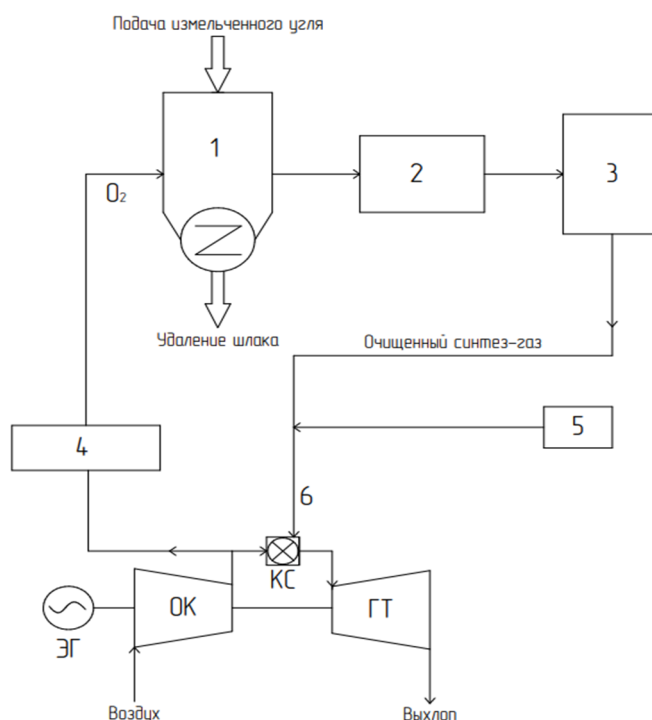


Рис. 1. Схема газотурбинной установки, работающей совместно с газификатором угля и электролизером: 1 – газогенератор; 2 – охладитель газогенератора; 3 – фильтр; 4 – установка расщепления воздуха; электролизер; 6 – топливная смесь, состоящая из синтез-газа и добавленного водорода; ЭГ – электрогенератор; ОК – осевой компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина.

Источник: составлено авторами

Численное исследование газотурбинной установки типа НК-16-18 СТ, имеющую технические характеристики, указанные в таблице 1, проводилось на математической модели, сформированной в программном пакете АС ГРЭТ [3].

Табл. 1.

Технические характеристики ГТУ типа НК-16-18 СТ.

Частота вращения вала установки	3950 об/мин
Расход воздуха на входе в установку	102 кг/с
Электрическая мощность установки при работе на номинальном режиме	18 МВт
Температура горения топлива в камере сгорания	874 °С (1147 К)
Степень сжатия воздуха в компрессорах низкого и высокого давления	10,3

Источник: составлено авторами

Формирование математических моделей энергетических турбомашин в данном программном обеспечении производится при помощи системы трансцендентных уравнений.

В результате численного исследования зависимости эксплуатационных характеристик от вырабатываемой газотурбинной установкой электроэнергии получены следующие результаты:

1. На рис. 2 показано изменение расхода природного газа при работе газотурбинной установки. Минимальный расход был получен при добавлении 50% водорода от исходного объема генераторного газа. Снижение расхода топлива наблюдается при изменении электрической нагрузки установки на 500 кВт в диапазоне от 15 до 19 МВт. При этом суммарный часовой расход на номинальном режиме работы ГТУ (18 МВт) следующий: для природного газа – 5092 кг/ч; для синтез-газа, полученного из Ирша-Бородинского угля – 19297 кг/ч; для топливной смеси из 50% синтез-газа и 50% водорода – 10737 кг/ч.

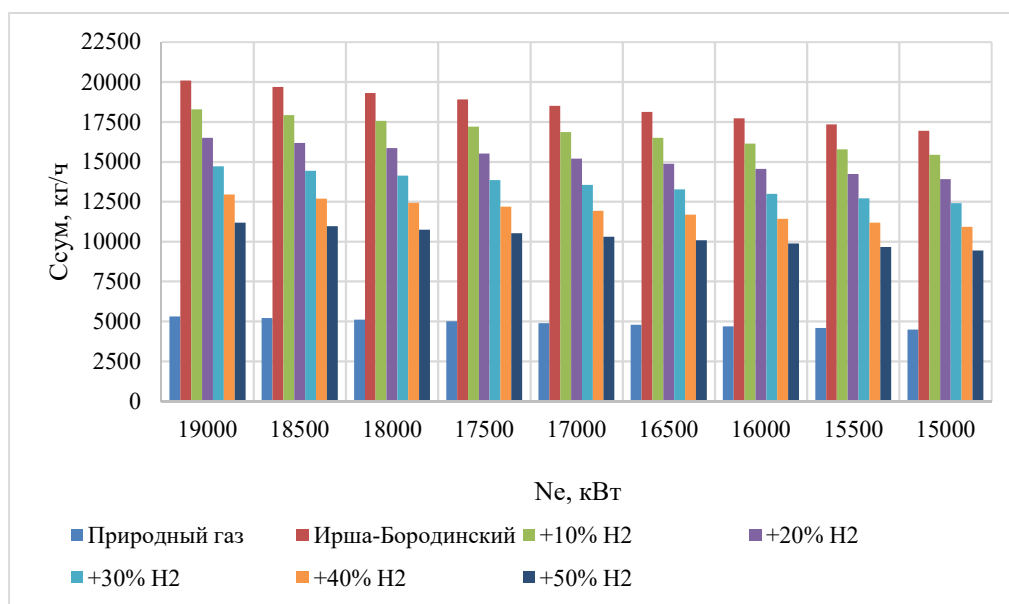


Рис. 2. Изменение суммарного часового расхода топливного газа в зависимости от электрической нагрузки установки.

Источник: составлено авторами

2. Подобная тенденция прослеживается и для удельного расхода топлива (показано на рис. 3): для природного газа наблюдается уменьшение удельного расхода топлива при снижении вырабатываемой электрической мощности ГТУ с 0,177 кг/(кВт·ч) при 19 МВт до 0,173кг/(кВт·ч) при 15 МВт; для синтез-газа –с 0,673 кг/(кВт·ч)при 19 МВт до 0,657кг/(кВт·ч) при 15 МВт; для топливной смеси – с 0,375 кг/(кВт·ч) при 19 МВт до 0,366кг/(кВт·ч) при 15 МВт.

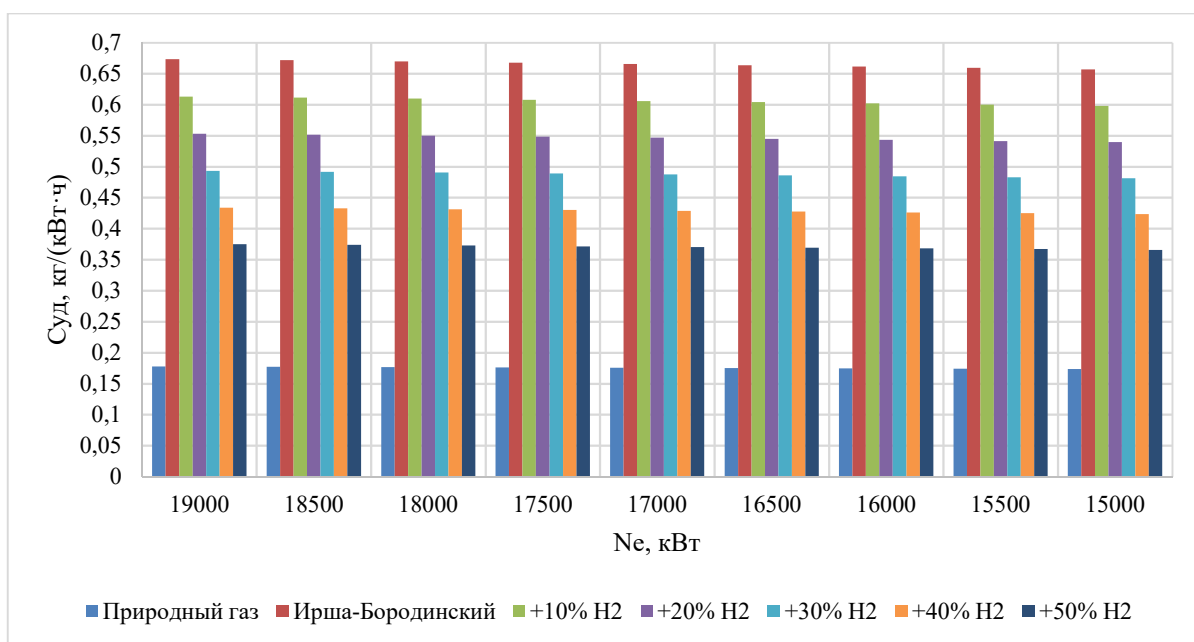


Рис. 3. Влияние электрической нагрузки установки на изменение удельного расхода топливного газа.

Источник: составлено авторами

3. На рис. 4 показано изменение температуры топливного газа.

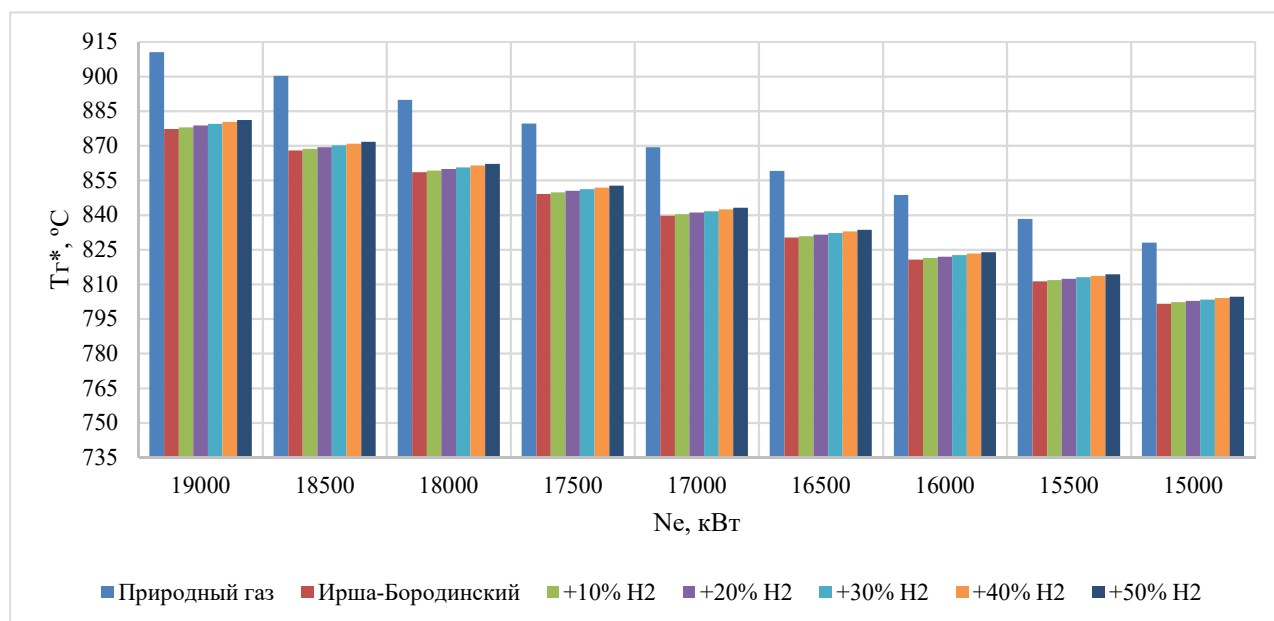


Рис. 4. Влияние электрической нагрузки установки на изменение температуры горения топливного газа в камере сгорания.

Источник: составлено авторами

Температура во всем диапазоне мощностей ГТУ остается для каждого вида топлива одинаковой с отклонением на 9-10 °С. Так, например, для номинального режима температура в камере сгорания для природного газа составляет 890°С, для синтез-газа – 859°С, для топливной смеси – 862 °С

Выводы

Газификация низкосортного угля с последующим добавлением водорода позволит расширить границы использования газотурбинных технологий. При добавлении к синтез-газу, полученному из углей марки Ирша-Бородинский, водорода в процентном соотношении от 10 до 50% в сравнении с природным газом получены следующие результаты:

1. При добавлении 10-40% водорода от первоначального объема синтез-газа снижается расход топлива, но при этом не происходит достаточной прибавки к теплотворной способности, что оказывает негативное влияние на эффективный КПД установки.

2. Значительное повышение теплоты сгорания фиксируется при добавлении 50% водорода от первоначального объема генераторного газа.

3. Расход топлива смеси находится в диапазоне от 9 до 11 т/ч, при этом происходит незначительное снижение наблюдается положительная тенденция к его уменьшению.

Список используемых источников

1. Куликов А.Л., Илюшин П.В. Статистические методы оценки параметров аварийного режима энергорайонов с объектами распределенной генерации // Электричество. 2019. № 5. С. 4-11.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 2(151). С. 356-365.

3. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11, № 3(43). С. 47-56.

4. Ольховский Г.Г., Сучков С.И., Епихин А.Н. [и др.] Исследование системы газификации углей с высокотемпературной очисткой генераторного газа // Теплоэнергетика. 2006. № 7. С. 67-73.

5. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Исследование режимных параметров поточного газогенератора при газификации твердого топлива // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 216-223.
6. Филиппов С.П., Кейко А.В. Газификация угля: на перепутье. Технологические факторы // Теплоэнергетика. 2021. № 3. С. 45-58
7. Martin Gräbner, Bernd Meyer. Performance and exergy analysis of the current developments in coal gasification technology // Fuel, Volume 116, 2014, P. 910-920
8. Mustapha W., Kirkerud J, FolslandBolkesj T., Trømborg E. Large-scale forest-based biofuels production: Impacts on the Nordic energy sector// Energy Conversion and Management, Volume 187, 2019, Pages 93-102
9. Peng Wang, Muyi Yang, Kristy Mamaril, Xunpeng Shi, Beibei Cheng, Daiqing Zhao. Explaining the slow progress of coal phase-out: The case of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Region // Energy Policy, Volume 155, 2021, 112331.

РОЛЬ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В ЛОГИСТИКЕ И ЦЕПОЧКЕ ПОСТАВОК

Мороз А.В. – студент, Белорусский государственный экономический университет

Кузнецова Т.В. – к.э.н., доцент, Белорусский государственный экономический университет

Аннотация

Статья анализирует растущую роль электромобилей в логистической отрасли как ответ на потребности устойчивого развития и сокращения углеродного следа. Крупные компании, такие как DHL и DFDS, внедряют электрические грузовики для улучшения экологической эффективности. Несмотря на преимущества, переход на электромобили сталкивается с вызовами, включая высокие первоначальные затраты и недостаток зарядной инфраструктуры.

Необходимость устойчивого развития экономики страны и уменьшения углеродного следа, вызывая тенденцию к переходу на электромобили (далее – ЭМ), становится важной частью логистической отрасли. В условиях глобальных изменений климата и усиливающегося давления на компании по сокращению углеродных выбросов, электромобили предлагают эффективные решения для достижения устойчивости и повышения конкурентоспособности.

По данным различных исследований, в 2023 году продажи электромобилей увеличились на 37% по сравнению с 2022 годом. Такой рост подчеркивает

растущую важность ЭМ в логистике. Компании, такие как Volvo Trucks, DHL и DFDS, активно внедряют электрические грузовики в свои парки, стремясь к сокращению углеродных выбросов и улучшению качества воздуха в городах. Согласно исследованию McKinsey, существует три основных фактора, способствующих внедрению ЭМ в грузовом транспорте до 2030 года:

1. Снижение общих затрат на владение по сравнению с дизельными грузовиками.
2. Увеличение доступности и конкурентоспособности технологий и инфраструктуры ЭМ.
3. Ужесточение регуляторных норм в области выбросов [2].

Эти факторы создают благоприятные условия для массового перехода на электромобили в логистике.

Одним из главных преимуществ использования электромобилей является значительное сокращение углеродных выбросов. ЭМ производят в среднем на 6 раз меньше CO₂ на километр, чем их бензиновые аналоги. Это особенно актуально для компаний, стремящихся соответствовать экологическим стандартам и улучшить свой имидж.

Электромобили обладают высокой энергетической эффективностью – около 80%, что почти в четыре раза больше, чем у бензиновых двигателей. Это ведет к снижению эксплуатационных расходов и улучшению общей рентабельности.

Кроме экологических преимуществ, ЭМ также обеспечивают финансовые выгоды. Существуют различные субсидии и налоговые льготы для компаний, внедряющих электрические решения. Например, DHL уже внедрила полностью электрические грузовики в Великобритании, что позволило компании сократить свои затраты на топливо и обслуживание. Стоит отметить, что помимо электромобилей, компания DHL Supply Chain UK & I также наращивает инвестиции в газовые грузовики и планирует к 2025 году иметь в своем автопарке 500 транспортных средств, работающих на газе (рисунок 1).



Рис. 1. Применение электромобилей компанией DHL [3]

Несмотря на очевидные преимущества, существует ряд вызовов, с которыми сталкиваются компании при переходе на электромобили.

Высокие первоначальные затраты на приобретение электромобилей и установку зарядной инфраструктуры могут стать серьезным препятствием, особенно для малых и средних предприятий.

Еще одной проблемой является недостаток зарядных станций, особенно в сельских районах. Это ограничивает диапазон использования электромобилей и может приводить к перебоям в логистических операциях. Тем не менее Франция насчитывает более чем 100 000 пунктов подзарядки, что облегчает внедрение экологически чистых транспортных средств.

Также стоит отметить, что для успешного внедрения ЭМ необходимо обучить сотрудников правильному использованию новой техники и технологии. Это включает обучение водителей методам эко-вождения и ознакомление с особенностями эксплуатации электрических грузовиков.

С учетом ожидаемого роста рынка электрических грузовиков, который может достичь 3,8 миллиарда долларов США к 2030 году, интеграция электромобилей в логистику становится неотъемлемой частью устойчивого развития. Новые технологии, такие как твердотельные батареи и улучшенные методы переработки, также играют значительную роль в будущем этой отрасли.

Компании, такие как La Poste и Carrefour, уже внедряют ЭМ в свои логистические операции, демонстрируя, что переход к устойчивой логистике возможен и приносит реальные выгоды. В будущем можно ожидать дальнейшего

расширения использования электрических транспортных средств, что приведет к значительным изменениям в логистических процессах и снижению воздействия на окружающую среду.

Отмечается, что в Европе логистика всё активнее принимает решения, основанные на использовании электромобилей. Примером является датская компания DFDS – крупнейшая судоходная и логистическая компания Северной Европы с 8000 сотрудников в 20 странах. В декабре 2021 года компания разместила заказ в Volvo Trucks на 25 тяжеловесных электрических грузовиков в дополнение к 100 электрическим грузовикам Volvo FM, произведенным в октябре того же года. Позднее в 2023 году 20 из этих грузовиков дебютировали в ее коммерческом парке. Руководитель отдела логистики DFDS, подчеркивает, что, «важно работать с поставщиками энергии и лидерами отрасли, такими как Volvo Trucks, чтобы сделать наши климатические амбиции реальностью. Переход требует правильной инфраструктуры и сотрудничества в различных сферах общества. Этого невозможно достичь, работая в одиночку». Также он отметил, что продажа электрогрузовиков сдерживается проблемами с доступностью и стоимостью, а также размером аккумулятора [1].

Таким образом, интеграция электромобилей в логистику и цепочку поставок представляет собой важный шаг к устойчивому будущему. Хотя переход на ЭМ сопряжен с определенными вызовами, их преимущества делают этот процесс необходимым для современного бизнеса. С развитием технологий и зарядной инфраструктуры электромобили будут все более активно интегрироваться в логистику, способствуя созданию более экологически чистой и эффективной цепочки поставок.

Список используемых источников

1. Logistics readying itself for EV revolution / EV.MAGAZINE. 2024. [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3LZXwL> (date of treatment: 16.11.2024).
2. The impact of electric vehicles on logistics and the supply chain / Beev. 2024. [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3LZXz2> (date of treatment: 16.11.2024).
3. Udane testy elektrycznego Volvo w DHL / fleetLOG. 2022. [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3LZY4n> (date of treatment: 16.11.2024).

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ИЛИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

Никитов В.И. – магистрант, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

Ходоркова В.М. – старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

Аннотация

В статье рассматривается значение остановочных выступов в системе общественного транспорта. Остановочные выступления обеспечивают безопасные и удобные условия для посадки и высадки пассажиров, способствуя улучшению дорожной безопасности и снижению риска аварий. Подчеркивается важность правильного проектирования и обустройства этих конструкций для создания эффективной транспортной системы, отвечающей потребностям всех участников дорожного движения. В условиях увеличения городского населения необходимость в остановочных выступлениях становится особенно актуальной, что делает их важным элементом городской инфраструктуры. Статья акцентирует внимание на том, что инвестиции в развитие остановочных выступов – это шаг к созданию доступного и комфортного общественного транспорта для всех граждан.

Введение

Управление дорожным движением – это одна из основных задач современного общества, оказывающая прямое влияние на безопасность, эффективность и комфорт передвижения. С увеличением числа транспортных средств и усложнением городской инфраструктуры необходимость в разработке новых и усовершенствовании существующих технических средств становится более актуальной [1]. В последние десятилетия наблюдается стремительный рост технологий, связанных с управлением движением, включая интеллектуальные транспортные системы, автоматизацию и внедрение инновационных решений.

С другой стороны, существует множество проблем, основные из которых – перегруженность дорог и слаборазвитая инфраструктура. Эти проблемы требуют комплексного подхода и внедрения инновационных решений для повышения эффективности и безопасности дорожного движения [2].

Целью исследования является вопрос повышения эффективности транспортной системы городского общественного транспорта.

Решение проблемы с организацией автомобильного движения и повышением пропускной способности улиц кроется в инфраструктуре общественного транспорта. Необходимо сменить ракурс поиска решения и перейти с личных автомобилей на пешеходов, тротуары, общественный транспорт и парковки вдоль

улиц. Остановочный пункт с выступом – решение по повышению пропускной способности. В Калининграде, так же как и во многих других городах России, часто устраивают остановки общественного транспорта с остановочными карманами. Их необходимость не вызывает сомнений на загородных трассах или двухполосных городских улицах. Однако остановка автобуса в крайней правой полосе на проезжей части становится проблемой, так как это полностью блокирует движение.

Часто в мегаполисах или просто в крупных городах с большим количеством населения и процентом владения личного автотранспорта на центральных улицах появляется проблема. Основная причина, снижающая пропускную способность улиц, заключается не в остановившемся общественном транспорте, а в недостатке парковочных мест. В итоге остановки для общественного транспорта становятся местами для стоянки автомобилей, а не для автобусов и троллейбусов. Кроме того, у остановочных карманов есть еще один недостаток. Несмотря на распространенное мнение, они не приносят пользы пассажирам и общественному транспорту, а наоборот, создают дополнительные неудобства [3]. Скорость движения по маршруту снижается, так как на заезд и выезд из кармана уходит дополнительное время. Заезд в карман представляет собой сложный маневр для больших автобусов и троллейбусов, таких как «гармошки». На практике выровнять задние колеса этих транспортных средств на остановочной площадке почти невозможно. Если низкопольный автобус остановился на расстоянии от бордюра около 20-30 сантиметров, пассажирам нужно спуститься на дорогу и затем зайти в автобус. Таким образом, все преимущества низкопольного транспорта, такие как отсутствие ступеней, теряются.

Выезд автобуса или троллейбуса из кармана представляет собой значительный недостаток. Согласно ПДД, водители должны уступать дорожное пространство общественному транспорту, который покидает остановку, однако на деле это происходит нечасто [4]. Если к этому добавить проблему с парковочными местами для личного автотранспорта в зоне остановочного пункта и его кармана, появляется понимание, почему общественный транспорт часто не заходит в карманы и продолжает создавать помехи на дороге. Кроме того, использование остановочных пунктов за заездом типа «карман» в городах с уже сложившейся застройкой почти всегда приводит к снижению ширины территории для пешеходов – тротуаров. Это подчеркивает необходимость тщательного подхода к использованию остановочных карманов, так как, с другой стороны, они могут

создать множество неудобств для общественного транспорта, его пассажиров, пешеходов и даже водителей.

Для пассажиров общественного транспорта, пешеходов и водителей существует важная проблема. Решение состоит в создании специального выступа для остановки, известного как «антикарман». Это улучшение не требует и не будет требовать сужения тротуаров, так как его можно полностью реализовать за счёт расширения пешеходной зоны в области остановки.

Главная задача «антикармана» – обеспечить лёгкий и оперативный доступ общественного транспорта к месту, где пассажиры садятся и выходят из автобуса. Автобусы крупных размеров редко могут корректно подъехать к обычному карману, тогда как с «антикарманом» они могут двигаться прямо, без изменения направления, оставаясь на своей полосе и плавно приближаясь к зоне посадки.

Таким образом, пассажиры смогут быстрее и комфортнее садиться в общественный транспорт. Автомобилистам не стоит переживать из-за потери одной полосы для движения. Крайняя правая полоса обычно достаточно широкая, и выделение ее части под остановочный выступ и парковку не снизит пропускную способность дороги. Более того, отпадает необходимость в запрете парковки на больших участках до и после остановки, так как для «антикармана» необходимо использовать меньше занимаемого места, ведь длина такого остановочного пункта должна быть установлена с максимальной длиной сочленённого класса [5].

Использование остановочных выступов позволяет увеличить количество парковочных мест на улице благодаря отсутствию пространства для заезда и выезда. Это также отличная возможность организовать законную диагональную парковку для личного автотранспорта по типу «ёлочка», но при этом потребуются увеличить глубину выступа посадочной площадки [6]. А пешеходы получают тротуары, которые будут принадлежать только им.

Остановочный пункт типа «антикарман» представляет собой выступ от остановки на проезжую часть. Он может быть как временным, так и с капитальным обустройством.

Анализ такой системы показывает, что данные остановочные пункты наиболее полезны в городской среде и достаточно быстро интегрируются [7]. Они сильно повышают комфорт и скорость работы общественного транспорта, так как позволяют останавливаться автобусам большого класса вплотную к бордюру. Очень эффективны на городских дорогах с большим количеством полос для движения. В Калининграде данная технология могла бы найти применение на

Ленинском проспекте или на улице Черняховского, где проходят основные маршруты общественного транспорта.

«Антикарман» как система действительно способна организовать или улучшить организацию более безопасного, удобного и быстрого дорожного движения, с минимальными рисками аварий и заторов на дорогах [8].

Использование подобных остановок регулярно используется в столице во время закрытий станций метро. Для ускорения работы общественного транспорта, на ближайших автобусных остановках к станции метро, возводятся временные «антикарманы», так как в несколько раз повышается количество пассажиров за очень короткий период времени и, следовательно, появляется резкая необходимость в повышенном количестве перевезённых пассажиров [9].

«Антикарман» как быстрое устройство сужает проезжую часть, а при определённых условиях создаёт поочерёдное движение [10]. Благодаря этому создается более благоприятный трафик, и самое главное, – более безопасная среда и обстановка для людей и потенциальных пассажиров, которые находятся в данной области. Схематическое представление возможного варианта обустройства антикармана не только на узких улицах, но и на пересечении двухполосных улиц представлен на рисунке 1.

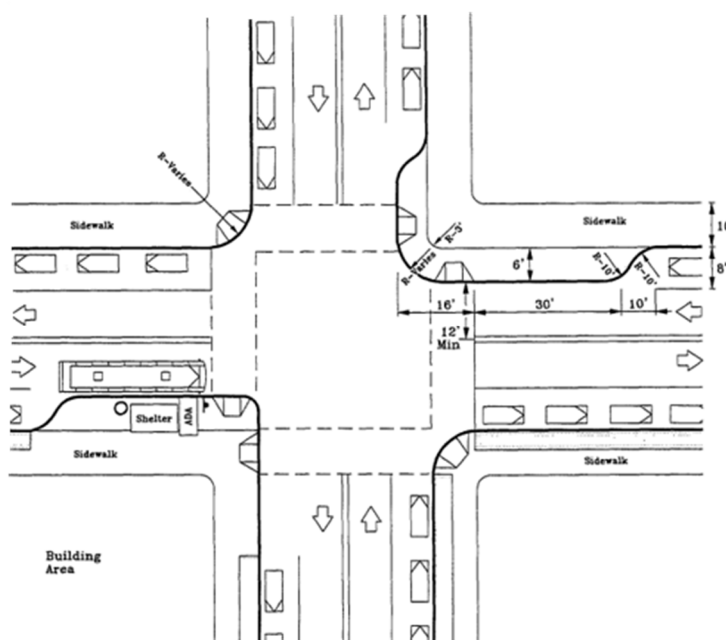


Рис. 1. Схема обустройства антикармана при пересечении улиц [8]

Если учитывать рост городского населения и абсолютное увеличение числа личного автотранспорта, появляется точное понимание в актуальности данной

темы [11]. Остановочные пункты типа «Антикарман» позволят организовать более безопасную городскую среду, где каждый пассажир может уверенно пользоваться общественным транспортом.

Список используемых источников

1. Безродных А.А. Современные технические средства организации дорожного движения / А. А. Безродных, И. А. Новиков, А. Г. Шевцова // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: в 2 томах, Тюмень, 14–15 декабря 2015 года / Ответственный редактор В. И. Бауэр. Том 1. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. С. 87-90.

2. Гуськов А.А., Молодцов В.А., Пеньшин Н.В. Информационные технологии на транспорте: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2021. 88 с.

3. Малкина Е.Г., Буйлова М.В., Корягин С.И. Анализ траекторий движения сочлененных автобусов по улично-дорожной сети города // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 2-2(85). С. 52-60.

4. Распоряжение Федерального дорожного агентства от 03.03.2021 №771-р «Об утверждении стратегии развития инновационной деятельности в области дорожного хозяйства в период 2021-2025 годов» / КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LZYHQ> (дата обращения: 20.01.2024)

5. СП 42.13330.2016. «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»/11.24-11.26 – Расположение остановок / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 20.01.2024)

6. СП 396.1325800.2018. «Улицы и дороги населённых пунктов. Правила градостроительного проектирования»/6.9-6.26 – Остановочные пункты / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/552304870> (дата обращения: 20.01.2024)

7. Тестешев А.А., Андронов Р.В., Гензе Д.А., Легостаева Е.Н. Технические средства организации дорожного движения: В 2-х томах. Том 2. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. 84 с.

8. Федеральный закон РФ от 29.12.2017 № 443-ФЗ: «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» / КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LZYMV> (дата обращения: 20.01.2024)

9. Чикишев Е.М., Чикишева А.А., Иванов А.С. Диагональные пешеходные переходы // Наука и техника в дорожной отрасли. 2015. № 2(72). С. 6-8.

10. Шевцова А.Г., Безродных А.А. Новый способ повышения безопасности движения на регулируемых пешеходных переходах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 6-1. С. 113-117.

11. Yablonovskaya M., Shevtsova A., Borovskoy A. Origin-destination matrix as a way to create a basic algorithm for simulation a load of transport network // Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015) pp 1218-1223.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОВОЗА

*Ольховатов Д.В. – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»*

*Шевкунова А.В. – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»*

Аннотация

Статья посвящена исследованию устойчивости системы мотор-вентилятора пассажирского электровоза. За объект исследования принят электродвигатель асинхронного типа. В результате расчетов получены механические характеристики электродвигателя при различных частотах питающей сети и вентилятора. Посредством программы Simintech составлена компьютерная модель рассматриваемого асинхронного двигателя. Определены частоты устойчивой работы системы мотор-вентилятора и сделаны соответствующие выводы.

Вспомогательные машины играют критически важную роль в функционировании электровозов, обеспечивая не только их производительность, но и безопасность. К таким машинам относятся мотор-вентиляторы, мотор-насосы, мотор-компрессоры и генераторы управления, которые совместно способствуют эффективной работе тяговых электродвигателей и систем управления. В настоящее время в качестве вспомогательного привода широкое распространение получил асинхронный тип. Асинхронные электродвигатели (АД) обладают множеством

преимуществ по сравнению с другими типами электродвигателей, включая простоту конструкции, высокий КПД, устойчивость к перегрузкам и низкие эксплуатационные расходы. Эти характеристики делают их предпочтительным выбором для широкого спектра как промышленных и бытовых применений, так и для привода вспомогательных механизмов локомотивов.

Однако, многочисленные статистические данные отказов асинхронных вспомогательных машин (АВМ) [1, 5] говорят о низкой эксплуатационной надежности данных устройств. Работа АВМ различных типов электропоездов зависит от ряда эксплуатационных особенностей, таких как род тока, условия эксплуатации, вид приводимого механизма и др. Повышение надёжности АВМ представляет собой важную и актуальную задачу.

В рамках данного исследования рассмотрим трехфазный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель для привода вентилятора охлаждения тяговых двигателей двухсистемного электропоезда ЭП20 типа АЭВ132М2У2.

Так как особенностью мотор-вентилятора электропоезда ЭП20 является изменение режимов работы путем изменения частоты питающей сети [3, 4], то для эффективного решения задачи повышения надежности необходимо оценить устойчивость системы. Для этого построим механические характеристики АД (по типу АЭВ132М2У2) и исполнительного механизма – вентилятора ВВРП 96-48-5.2. Данные вычисления произведем посредством программного средства «Mathcad».

Произведем построение механической характеристики рассматриваемого АД для частоты питающего напряжения – 50, 40 и 25 Гц, используя уравнения Клосса [2]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}},$$

где $M_{\max}$ – максимальный момент, Н·м; s – скольжение (0,001, 0,002...0,999); s_k – критическое скольжение.

Данные для расчетов представим в виде таблицы 1.

Табл. 1

Исходные данные для расчета механической характеристики АД

Параметр	Значение
Номинальная мощность, P_n	7,5 кВт
Номинальная частота вращения, n_n - при $f = 50$ Гц	2950 об/мин

- при $f = 40$ Гц	2400 об/мин
- при $f = 25$ Гц	1475 об/мин
Кратность максимального момента, μ_k	2, 6
Кратность пускового момента, μ_n	1, 6
Число полюсов, p	1

Источник: составлено авторами

Механическая характеристика вентилятора представляет нелинейно-возрастающую кривую. Полученные механические характеристики АД и вентилятора представлены на рисунке 1.

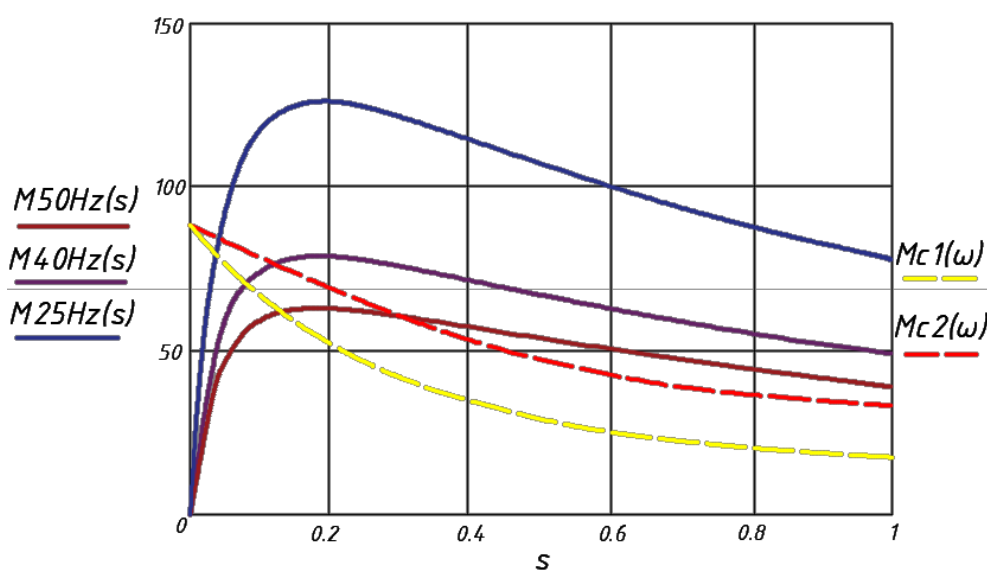


Рис. 1. Механические характеристики АД и вентилятора

Источник: составлено авторами

На данном рисунке изображены две механические характеристики вентилятора для разных частот вращения. Вентилятор, работающий на частоте линии $M_{c1}(\omega)$, находится в устойчивом состоянии во всех режимах работы электродвигателя. Но если бы вентилятор вращался с частотой линии $M_{c2}(\omega)$, то в одном из трех режимов работы электродвигателя наблюдалась бы неустойчивое состояние системы. А ведь устойчивость системы во многом определяет надежность привода. Неустойчивое состояние может привести к нагреву двигателя, возможным заклиниваниям и преждевременным разрушениям подшипников и другого рода неисправностям. Во избежание подобных последствий необходимо своевременно изменять частоту вращения

вентилятора в зависимости от режима работы двигателя на значения соответственной величины.

Для проверки описанных ранее положений была построена компьютерная модель асинхронного вспомогательного двигателя (рис. 2) в среде динамического моделирования технических систем Simintech [3, 4].

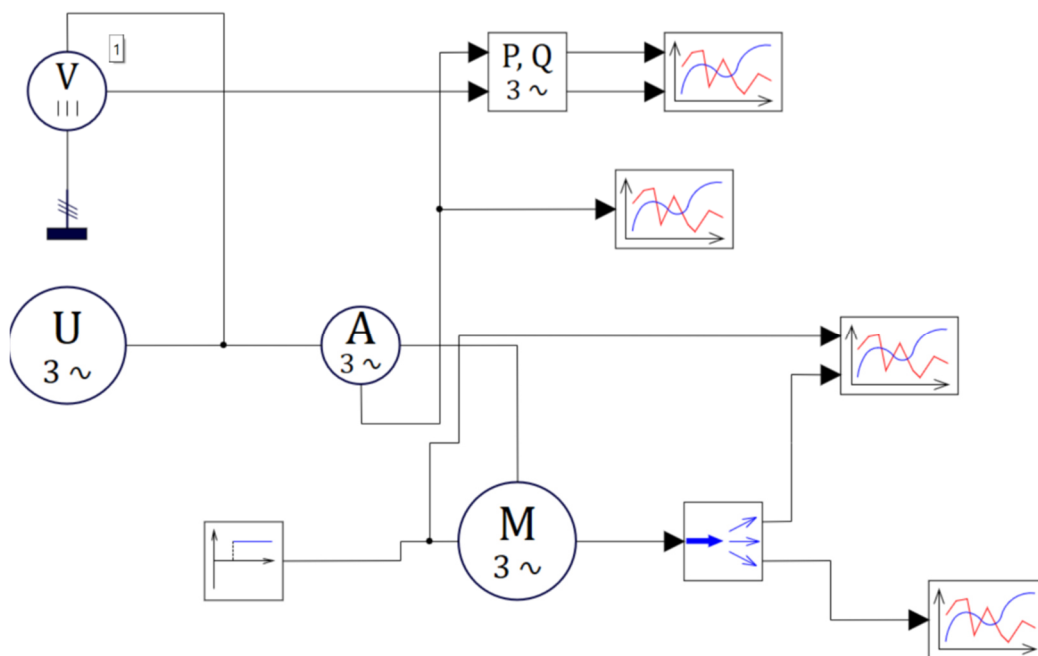


Рис. 2. Компьютерная модель рассматриваемого АД [3, 4]

Моделирование проводилось при трех вариантах частоты питающего напряжения 50 Гц, 40 Гц, 25 Гц. Как известно, при вентиляторном характере нагрузки величина момента статического увеличивается с ростом частоты вращения электродвигателя, но для наглядности протекающих в электромеханической системе процессов в компьютерной модели подача момента нагрузки производится ступенчато в момент времени 1 с.

Величина момента нагрузки соответствует величине момента критического. Как видно из графиков, изображенных на рисунке 3, с ростом частоты питающего напряжения происходит снижение перегрузочной способности асинхронного двигателя.

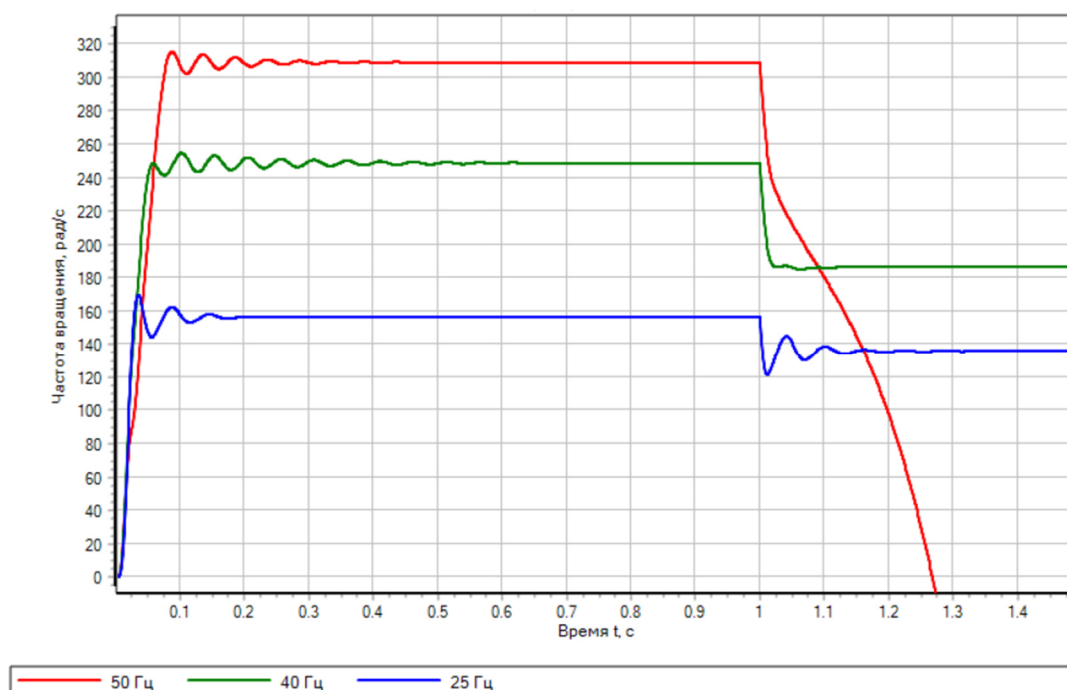


Рис. 3. Перегрузочная способность АД при различных частотах питающего напряжения

Источник: составлено автором

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод, чтобы повысить надежность работы АВМ, в частности, мотор-вентилятора, необходимо своевременно изменять частоту вращения вентилятора в зависимости от режима работы АД на соответствующее значение.

Вспомогательные машины являются неотъемлемой частью электровозов, обеспечивая их функциональность и безопасность. Их правильная эксплуатация и техническое обслуживание критически важны для обеспечения надежной работы всего подвижного состава.

Список используемых источников

1. Иванов П.Ю. Повышение эксплуатационной надежности асинхронных вспомогательных машин магистральных электровозов переменного тока: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск, 2015. 198 с.
2. Макаров В.В., Худоногов И.А., Смирнов В.П., Лыткина Е.М. Проектирование асинхронного электропривода вспомогательных механизмов ЭПС. Примеры выполнения проектов по модернизации асинхронного

электропривода вспомогательных механизмов ЭПС. Иркутск: ИрГУПС, 2010. 180 с.

3. Ольховатов Д.В., Шевкунова А.В. Разработка энергоэффективного асинхронного электропривода мотор-вентилятора электровоза // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 3 (59). С. 46-55.

4. Ольховатов Д.В., Шевкунова А.В., Донченко А.В. Синтез электропривода вентилятора для охлаждения тяговых электродвигателей // Приводы и компоненты машин. 2023. № 1-3(40). С. 6-10.

5. Худоногов А.М., Оленцевич Д.А., Лыткина Е.М., Иванов В.Н. Надежность асинхронных вспомогательных машин электровозов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 4 (36). С. 117-119.

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ЭЛЕКТРОВОЗА

Пустоветов М.Ю. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Аннотация

В статье представлены варианты синтеза регуляторов для системы автоматического управления скоростью электровоза, полученные из предположения построения системы по принципу подчиненного регулирования координат. Получены выражения для передаточных функций регуляторов силы тяги, ускорения и скорости.

Пусть необходимо определить типы регуляторов для системы автоматического управления скоростью электровоза, а именно: требуется синтезировать регуляторы в контурах силы тяги, ускорения и скорости.

Метод решения задачи

Будем исходить из организации контуров регулирования по подчинённому принципу (вложенные контуры) [1-3]. Требуется три контура регулирования. В каждом контуре регулирования используется отрицательная обратная связь по регулируемой координате, обеспечивающая сравнение заданного и фактического значений координаты. Возмущающим воздействием является R –

равнодействующая сил основного и дополнительного сопротивления движению, противодействующая силе тяги F_t . Самым внутренним (первым) контуром регулирования является контур регулирования F_t . Он подчинён второму контуру – контуру регулирования ускорения a . Внешним будет контур регулирования скорости v . Объектом регулирования в контуре регулирования силы тяги является апериодическое звено второго порядка (упрощенное представление тягового электропривода) с передаточной функцией (ПФ)

$$W_{o.p.F_t}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}. \quad (1)$$

Вариант I

Определим тип (ПФ) регулятора в контуре регулирования силы тяги $W_{p.F_t}(p)$. Желаемая ПФ разомкнутого контура регулирования силы тяги имеет вид выражения (2) или выражения (3):

$$W_{раз.жел.F_t}(p) = \frac{1}{a_{F_t} T_\mu p (T_\mu p + 1)}, \quad (2)$$

где T_μ – малая некомпенсируемая постоянная времени контура силы тяги;

$a_{F_t} = \frac{T_{0F_t}}{T_\mu}$ – соотношение постоянных времени;

T_{0F_t} – постоянная времени оптимизированного контура регулирования силы тяги.

$$W_{раз.жел.F_t}(p) = k_{sF_t} \cdot W_{o.p.F_t}(p) \cdot W_{p.F_t}(p) = k_{sF_t} \cdot \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \cdot W_{p.F_t}(p), \quad (3)$$

где k_{sF_t} – передаточная функция датчика силы тяги F_t .

$$k_{sF_t} = \frac{U_{y.max}}{F_{t.max}}, \quad (4)$$

где $F_{t.max}$ – наибольшее значение силы тяги.

Из (3) с учётом (2) выразим ПФ регулятора силы тяги:

$$W_{p.Ft}(p) = \frac{W_{\text{раз.жел.}Ft}(p)}{k_{sFt} \cdot W_{o.p.Ft}(p)} = \frac{\frac{1}{a_{Ft} T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)}}{k_{sFt} \cdot \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}} = \frac{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{k_{sFt} a_{Ft} T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} =$$

$$= \left| \begin{array}{l} \text{Пусть } T_2 < T_1, \\ \text{тогда примем } T_{\mu} = T_2 \end{array} \right| = \frac{1}{k_{sFt} a_{Ft} T_2} \left(T_1 + \frac{1}{p} \right) = \frac{1}{k_{sFt} a_{Ft} T_2} \left(1 + \frac{1}{T_1 p} \right) = k_{p.Ft} \left(1 + \frac{1}{T_{p.Ft} p} \right)$$

где $k_{p.Ft} = \frac{1}{k_{sFt} a_{Ft} T_2}$ – коэффициент усиления регулятора силы тяги;

$T_{p.Ft} = T_1$ – постоянная времени регулятора силы тяги.

По виду результирующего выражения (5) можно сделать вывод, что получена ПФ пропорционально-интегрального регулятора,

Определим тип регулятора в контуре регулирования ускорения $W_{p.a}(p)$. Желаемая ПФ разомкнутого контура регулирования ускорения имеет вид выражения (6) или (7):

$$W_{\text{раз.жел.}a}(p) = \frac{1}{a_a a_{Ft} T_{\mu} p (a_{Ft} T_{\mu} p + 1)} = \frac{1}{a_a a_{Ft} T_2 p (a_{Ft} T_2 p + 1)}, \quad (6)$$

где $a_a = \frac{T_{0a}}{T_{0Ft}}$ – соотношение постоянных времени;

T_{0a} – постоянная времени оптимизированного контура регулирования ускорения.

С другой стороны,

$$W_{\text{раз.жел.}a}(p) = k_{sa} \cdot W_{\text{зам.}Ft}(p) \cdot \frac{1}{M} \cdot W_{p.a}(p), \quad (7)$$

где k_{sa} – передаточная функция датчика ускорения a ;

M – масса поезда.

ПФ замкнутого контура регулирования силы тяги (обозначим как $W_{\text{зам.}Ft}(p)$):

$$W_{\text{зам.}Ft}(p) = \frac{1}{a_{Ft} T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1) + 1} \cdot \frac{1}{k_{sFt}} \approx \frac{1/k_{sFt}}{a_{Ft} T_{\mu} p + 1} = \frac{1/k_{sFt}}{a_{Ft} T_2 p + 1}; \quad (8)$$

В выражении (8) упрощение производится отбрасыванием слагаемых, содержащих p^2 на основании их малости.

$$k_{sa} = \frac{U_{y.\max}}{a_{\max}}. \quad (9)$$

где $a_{\max}$ – максимальное значение ускорения.

Перепишем (7) с учётом (6) и (8):

$$W_{\text{раз.жел.}a}(p) = k_{sa} \cdot \frac{1/k_{sFt}}{a_{Ft}T_2p + 1} \cdot \frac{1}{M} \cdot W_{p.a}(p); \quad (10)$$

Из (10) выразим ПФ регулятора ускорения:

$$\begin{aligned} W_{p.a}(p) &= \frac{W_{\text{раз.жел.}a}(p)}{k_{sa} \cdot W_{\text{зам.}Ft}(p) \cdot \frac{1}{M}} = \frac{M}{k_{sa}} \cdot \frac{1}{\frac{a_a a_{Ft} T_2 p (a_{Ft} T_2 p + 1)}{1/k_{sFt}}} = \\ &= M \frac{k_{sFt}}{k_{sa}} \cdot \frac{1}{a_a a_{Ft} T_2 p} = \frac{1}{T_{p.a} p}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $T_{p.a} = \frac{a_a a_{Ft} T_2 k_{sa}}{M k_{sFt}}$ – постоянная времени регулятора ускорения.

Из выражения (11) следует, что получена ПФ интегрального регулятора.

Определим тип регулятора в контуре регулирования скорости $W_{p.v}(p)$. Желаемая ПФ разомкнутого контура регулирования скорости имеет вид выражения (12) или (13):

$$W_{\text{раз.жел.}v}(p) = \frac{1}{a_v a_a a_{Ft} T_2 p (a_a a_{Ft} T_{\mu} p + 1)}, \quad (12)$$

где $a_v = \frac{T_{0v}}{T_{0a}}$ – соотношение постоянных времени;

T_{0v} – постоянная времени оптимизированного контура регулирования скорости.

С другой стороны,

$$W_{\text{раз.жел.}v}(p) = k_{sv} \cdot W_{\text{зам.}a}(p) \cdot \frac{1}{p} \cdot W_{p.v}(p), \quad (13)$$

где k_{sv} – передаточная функция датчика скорости v ;

ПФ замкнутого контура регулирования ускорения (обозначим как $W_{\text{зам.}a}(p)$):

$$W_{\text{зам.}a}(p) = \frac{1}{a_a a_{Ft} T_2 p (a_{Ft} T_2 p + 1) + 1} \cdot \frac{1}{k_{sa}} \approx \frac{1/k_{sa}}{a_a a_{Ft} T_2 p + 1}; \quad (14)$$

В выражении (14) упрощение производится отбрасыванием слагаемых, содержащих p^2 на основании их малости.

$$k_{sv} = \frac{U_{y.\max}}{v_{\max}}. \quad (15)$$

где $v_{\max}$ – максимальное значение скорости.

Перепишем (13) с учётом (12) и (14):

$$W_{\text{раз.жел.}v}(p) = k_{sv} \cdot \frac{1/k_{sa}}{a_a a_{Ft} T_2 p + 1} \cdot \frac{1}{p} \cdot W_{p.v}(p); \quad (16)$$

Из (16) выразим ПФ регулятора скорости:

$$\begin{aligned} W_{p.v}(p) &= \frac{W_{\text{раз.жел.}v}(p)}{k_{sv} \cdot W_{\text{зам.}a}(p) \cdot \frac{1}{p}} = \frac{1}{\frac{a_v a_a a_{Ft} T_2 p (a_a a_{Ft} T_2 p + 1)}{k_{sv} \cdot \frac{1/k_{sa}}{a_a a_{Ft} T_2 p + 1} \cdot \frac{1}{p}}} = \\ &= \frac{k_{sa}}{k_{sv} a_v a_a a_{Ft} T_2} = k_{p.v}, \end{aligned} \quad (17)$$

где $k_{p.v} = \frac{k_{sa}}{k_{sv} a_v a_a a_{Ft} T_2}$ – коэффициент усиления регулятора скорости.

Из выражения (17) следует, что получена ПФ пропорционального регулятора.

Вариант II

Определим тип (ПФ) регулятора в контуре регулирования силы тяги $W_{p.Ft}(p)$. Желаемая ПФ разомкнутого контура регулирования силы тяги имеет вид выражения (18) или выражения (19):

$$W_{\text{раз.жел.}Ft}(p) = \frac{1}{a_{Ft} T_{\mu} p}, \quad (18)$$

$$W_{\text{раз.жел.}Ft}(p) = k_{sFt} \cdot W_{o.p.Ft}(p) \cdot W_{p.Ft}(p) = k_{sFt} \cdot \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \cdot W_{p.Ft}(p). \quad (19)$$

Из (19) с учётом (18) выразим ПФ регулятора тока:

$$W_{p.Ft}(p) = \frac{W_{\text{раз.жел.}Ft}(p)}{k_{sFt} \cdot W_{o.p.Ft}(p)} = \frac{\frac{1}{a_{Ft} T_{\mu} p}}{k_{sFt} \cdot \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}} = \frac{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{k_{sFt} a_{Ft} T_{\mu} p} =$$

$$= \frac{T_1 T_2 p^2 + T_1 p + T_2 p + 1}{k_{sFt} a_{Ft} T_{\mu} p} = \frac{1}{k_{sFt} a_{Ft} T_{\mu}} \left(T_1 T_2 p + (T_1 + T_2) + \frac{1}{p} \right) = k_{p.FtD} p + k_{p.Ft\Pi} + \frac{1}{T_{p.FtI} p}$$

где $k_{p.FtD} = \frac{T_1 T_2}{k_{sFt} a_{Ft} T_{\mu}}$ – коэффициент усиления дифференциальной части

регулятора силы тяги;

$$k_{p.Ft\Pi} = \frac{T_1 + T_2}{k_{sFt} a_{Ft} T_{\mu}} \text{ – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора}$$

силы тяги;

$$T_{p.FtI} = k_{sFt} a_{Ft} T_{\mu} \text{ – постоянная времени интегрирующей части регулятора силы}$$

тяги.

По виду результирующего выражения (20) можно сделать вывод, что получена ПФ пропорционально-интегро-дифференциального регулятора,

Определим тип регулятора в контуре регулирования ускорения $W_{p.a}(p)$. Желаемая ПФ разомкнутого контура регулирования ускорения имеет вид выражения (21) или (22):

$$W_{\text{раз.жел.}a}(p) = \frac{1}{a_a a_{Ft} T_{\mu} p}, \quad (21)$$

$$W_{\text{раз.жел.}a}(p) = k_{sa} \cdot W_{\text{зам.}Ft}(p) \cdot \frac{1}{M} \cdot W_{p.a}(p). \quad (22)$$

ПФ замкнутого контура регулирования силы тяги (обозначим как):

$$W_{\text{зам.}Ft}(p) = \frac{1}{a_{Ft} T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{1}{k_{sFt}} = \frac{1/k_{sFt}}{a_{Ft} T_{\mu} p + 1}; \quad (23)$$

Перепишем (22) с учётом (21) и (23):

$$W_{\text{раз.жел.}a}(p) = k_{sa} \cdot \frac{1/k_{sFt}}{a_{Ft} T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{1}{M} \cdot W_{p.a}(p); \quad (24)$$

Из (24) выразим ПФ регулятора ускорения:

$$W_{p.a}(p) = \frac{W_{\text{раз.жел.}a}(p)}{k_{sa} \cdot W_{\text{зам.}Ft}(p) \cdot \frac{1}{M}} = \frac{M}{k_{sa}} \cdot \frac{\frac{1}{a_a a_{Ft} T_\mu p}}{\frac{1/k_{sFt}}{a_{Ft} T_\mu p + 1}} =$$

$$= M \frac{k_{sFt}}{k_{sa}} \cdot \frac{a_{Ft} T_\mu p + 1}{a_a a_{Ft} T_\mu p} = \frac{M k_{sFt}}{a_a k_{sa}} \left(1 + \frac{1}{a_{Ft} T_\mu p} \right) = k_{p.a} \left(1 + \frac{1}{T_{p.a} p} \right), \quad (25)$$

где $k_{p.a} = \frac{M k_{sFt}}{a_a k_{sa}}$ – коэффициент усиления регулятора ускорения;

$T_{p.a} = \frac{a_a a_{Ft} T_\mu k_{sa}}{M k_{sFt}}$ – постоянная времени регулятора ускорения.

Из выражения (25) следует, что получена ПФ пропорционально-интегрального регулятора.

Определим тип регулятора в контуре регулирования скорости $W_{p.v}(p)$. Желаемая ПФ разомкнутого контура регулирования скорости имеет вид выражения (26) или (27):

$$W_{\text{раз.жел.}v}(p) = \frac{1}{a_v a_a a_{Ft} T_\mu p}, \quad (26)$$

$$W_{\text{раз.жел.}v}(p) = k_{sv} \cdot W_{\text{зам.}a}(p) \cdot \frac{1}{p} \cdot W_{p.v}(p). \quad (27)$$

ПФ замкнутого контура регулирования ускорения:

$$W_{\text{зам.}a}(p) = \frac{1}{a_a a_{Ft} T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{k_{sa}} = \frac{1/k_{sa}}{a_a a_{Ft} T_\mu p + 1}; \quad (28)$$

Перепишем (27) с учётом (26) и (28):

$$W_{\text{раз.жел.}v}(p) = k_{sv} \cdot \frac{1/k_{sa}}{a_a a_{Ft} T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{p} \cdot W_{p.v}(p); \quad (29)$$

Из (29) выразим ПФ регулятора скорости:

$$W_{p.v}(p) = \frac{W_{\text{раз.жел.}v}(p)}{k_{sv} \cdot W_{\text{зам.}a}(p) \cdot \frac{1}{p}} = \frac{\frac{p}{a_v a_a a_{Ft} T_\mu p}}{k_{sv} \cdot \frac{1/k_{sa}}{a_a a_{Ft} T_\mu p + 1}} =$$

$$= \frac{k_{sa}}{k_{sv}} \cdot \frac{a_a a_{Ft} T_\mu p + 1}{a_v a_a a_{Ft} T_\mu} = \frac{k_{sa}}{k_{sv} a_v a_a a_{Ft} T_\mu} (a_a a_{Ft} T_\mu p + 1) = k_{p.v} (1 + T_{p.v} p), \quad (30)$$

где $k_{p.v} = \frac{k_{sa}}{k_{sv} a_v a_a a_{Ft} T_\mu}$ – коэффициент усиления регулятора скорости;

$T_{p.v} = a_a a_{Fi} T_{\mu}$ – постоянная времени регулятора скорости.

Из выражения (30) следует, что получена ПФ пропорционально-дифференциального регулятора.

Список используемых источников

1. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода: учебник для вузов. СПб.: Энергоатомиздат, СПб. отделение, 2000. 496 с.
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для вузов. М.: РАСХН, 2003. 320 с.
3. Пустоветов М.Ю. Моделирование двухконтурной системы подчиненного регулирования координат активного корректора коэффициента мощности вспомогательного электропривода электровоза // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2022. Т. 81. № 2. С. 125-133.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Рогожникова Д.Л. – магистрант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Аннотация

В этой статье рассматриваются как теоретические, так и реальные аспекты организации распределительной логистики компании. Описываются основные задачи распределительной логистики, включая этапы планирования и реализации. Приведены примеры эффективного использования распределительной логистики в организациях, а также выделены основные проблемы и решения. Креативность и возможности долгосрочного развития логистики в современных рыночных условиях требуют реализации согласно выводам, сделанным в статье.

Чтобы обеспечить передачу товаров от производителя к конечному потребителю, распределительная логистика является важнейшей функцией современного бизнеса. Эффективное управление распределительной логистикой становится стратегически важным видом деятельности в условиях глобализации рынков, усиления конкуренции и усложнения цепочек поставок. Это влияет на конкурентоспособность компании, удовлетворенность клиентов и эффективность затрат.

Исследование сосредоточено на процессе распределительной логистики предприятия, который включает в себя правила управления хранением, транспортировкой и распределением товаров, а также информационными потоками, связанным с этими процессами. Цель работы состоит в том, чтобы изучить теоретические основы и практические методы организации логистики распределения, определить факторы, влияющие на ее эффективность, и предложить идеи для оптимизации процесса.

Растущее значение логистики в современных рыночных условиях, где эффективное управление запасами, своевременная доставка товаров и снижение расходов имеют решающее значение для долгосрочного успеха компании. Это объясняет важность этого исследования. Работы, относящиеся к инновационности, рассматривают внедрение современных технологий, таких как цифровизация и автоматизация логистических операций, и обсуждают, как они могут повысить общую эффективность распределения продукции [2].

Теоретические основы распределительной логистики

Одной из наиболее важных частей логистической системы предприятия является распределительная логистика, которая обеспечивает эффективный процесс доставки товаров от производителя до конечного потребителя. Управление материальными потоками, планирование схемы доставки, выбор вида транспорта и оптимизация складских операций – это некоторые из взаимосвязанных задач, которые входят в его состав. Основная цель распределительной логистики состоит в том, чтобы обеспечить своевременную доставку товаров высокого качества по низкой цене.

Распределительная логистика отвечает за координацию логических потоков товаров, снижение расходов на транспортировку и хранение и удовлетворение потребностей клиентов. Планирование объемов поставок, распределение ресурсов, оптимизация маршрутов и управление запасами – все это элементы этой области. Ее теоретическое обоснование основывается на взаимосвязи, существующей между распределительной логистикой и другими функциональными подразделениями организации, такими как производство, продажи и маркетинг. Благодаря этой связи можно объединить внутренние операции и координировать действия всех участников цепи поставок.

Теория распределительной логистики основана на системном подходе, который предполагает, что логистическую систему можно рассматривать как целое, с каждым компонентом, влияющим на эффективность всей цепи. Для этого

необходимо, чтобы все участники работали вместе и их действия были синхронизированы. Интеграция, адаптивность и оптимизация составляют основу теоретических моделей распределительной логистики. Все этапы логистического процесса объединяются интеграцией в единое целое. Гибкость обеспечивает способность системы адаптироваться к изменяющимся условиям, а оптимизация обеспечивает максимальную эффективность при минимальных затратах.

Оцифровка и автоматизация процессов привели к быстрому развитию логистической теории распределения в современном мире. В теоретическом плане это означает использование информационных технологий для оценки спроса, отслеживания перемещения товаров и управления логистическими операциями. Кроме того, большое внимание уделяется созданию устойчивых логистических систем, которые учитывают окружающую среду и направлены на сокращение углеродного следа [1].

Процесс организации распределительной логистики

Процесс управления распределительной логистикой компании состоит из совокупности действий, направленных на обеспечение эффективного управления потоком продукции от производителя до конечного потребителя. Каждый из этих многочисленных этапов имеет решающее значение для достижения целей логистики. Первым шагом является планирование логистических операций. Это включает в себя расчет количества товаров, необходимых для доставки, выбор наиболее эффективных маршрутов доставки и расчет необходимых ресурсов. Чтобы обеспечить предсказуемость и устойчивость логистической системы, планирование также включает оценку спроса и разработку графиков поставок.

Следующий шаг состоит в том, чтобы организовать и координировать логистические операции. На этом этапе создается логистическая цепочка, которая включает в себя управление запасами, складирование и транспортировку. Особое внимание уделяется выбору транспортных средств, соответствующих потребностям груза, а также разработке рациональных схем доставки, которые сэкономят время и деньги. Управление складскими процессами, включая учет, контроль качества и доставку товаров на склад, имеет решающее значение. В распределительной логистике управление запасами имеет решающее значение, поскольку помогает сбалансировать доступность товаров и затраты на их хранение.

Организация распределительной логистики включает в себя управление и наблюдение за каждым процессом. Это постоянное наблюдение за выполнением поставок, оценка качества предоставляемых услуг и быстрое решение проблем.

Благодаря использованию современных информационных технологий эти операции могут быть автоматизированы, что гарантирует их прозрачность и корректность. Системы управления складом, ERP-системы и GPS-трекеры являются примерами цифровых технологий, которые значительно улучшают контроль и управление логистической деятельностью.

Анализ и оптимизация логистических операций – заключительный этап процесса. После завершения поставок оценивается эффективность каждого действия с помощью таких факторов, как расходы, скорость доставки и удовлетворенность клиентов. Благодаря полученным данным можно определить проблемы с планированием [4].

Модели и технологии распределительной логистики

Для обеспечения наилучшего обслуживания клиентов и эффективного управления операциями по доставке товаров используются модели и технологии логистики распределения. В настоящее время существует множество различных моделей, каждая из которых направлена на выполнение конкретных целей. Они также учитывают потребности цепочки поставок, отрасли и компании. Модель централизованной дистрибуции, в которой все потоки проходят через один логистический центр, является наиболее распространенной. За счет концентрации ресурсов и улучшенного контроля над процессом эта стратегия позволяет снизить затраты. В то же время тщательное планирование и развитая инфраструктура необходимы. С другой стороны, децентрализованный подход включает в себя несколько распределительных узлов, что обеспечивает большую гибкость и более быструю реакцию на изменения спроса, но увеличивает расходы на управление.

Цифровизация и автоматизация являются наиболее перспективными направлениями развития распределительной логистики. От планирования маршрутов до мониторинга доставки продукции в режиме реального времени системы управления цепочками поставок позволяют управлять всеми этапами логистического процесса. ERP-системы объединяют логистические операции с финансами, маркетингом и производством, что делает управление более прозрачным и эффективным. Использование технологий автоматизации складов, таких как роботизированные комплексы для транспортировки грузов, автоматическая сортировка и системы учета, имеет решающее значение для снижения трудозатрат и риска ошибок.

Использование больших данных и аналитических инструментов является одной из важных технологий. Они дают возможность прогнозировать спрос,

оптимизировать маршруты и определять «узкие места» в логистике. Новый способ автоматизированного принятия решений, такой как определение идеального уровня запасов или наиболее экономичного маршрута, появился благодаря использованию искусственного интеллекта. Сегодня логистические системы широко используют устройства Интернета вещей для проверки состояния груза, отслеживания его перемещения и своевременного оповещения о любых отклонениях от графика доставки. Логистика уделяет особое внимание экологически безопасным технологиям. Это включает в себя снижение выбросов углекислого газа за счет внедрения электромобилей, использования возобновляемых источников энергии в логистической инфраструктуре и оптимизации маршрутов [7].

Анализ примеров организации распределительной логистики на предприятиях

Крупные розничные сети демонстрируют превосходное управление распределительной логистикой, где создание централизованных распределительных узлов имеет решающее значение. Такая технология ускоряет доставку товаров в розничные сети и снижает транспортные расходы. Автоматизированные складские системы в распределительных центрах позволяют управлять перемещением товаров и сортировать их очень точно. В результате торговые точки могут сэкономить на простоях и излишних запасах, а также своевременно заменить неисправные товары.

Распределение в производственных организациях играет важную роль в создании конкурентного преимущества. Принятие стратегии децентрализованного распределения, которая поставяет продукты через сеть региональных складов, является одним из примеров. Это позволяет сократить время доставки товара конечным потребителям, что особенно важно для клиентов на больших расстояниях. Тем не менее, такая стратегия требует значительных затрат на инфраструктуру, а также чрезвычайно эффективных систем транспорта и управления складами.

Распределительные сети активно используют цифровые технологии, основной тренд современной логистики. Например, использование систем управления цепочками поставок позволяет отслеживать положение грузов в режиме реального времени, управлять маршрутами и быстро реагировать на изменения спроса. На самом деле это означает меньше ошибок и больше времени на обработку заказов. Предприятия могут улучшить оценку спроса и распределение ресурсов с помощью больших данных и аналитики. Предприятия электронной

коммерции, которые используют интеллектуальные системы управления, чтобы быстро и точно выполнять заказы, являются примером.

Тем не менее, существует ряд проблем, с которыми сталкиваются предприятия, когда дело доходит до организации распределительной логистики. Транспортная инфраструктура не справляется с растущим объемом грузоперевозок, что является одной из наиболее распространенных проблем. Это приводит к задержкам в доставке, более высоким расходам на логистику и более низкому обслуживанию клиентов. Отсутствие координации между участниками логистической цепи является дополнительной проблемой, которая приводит к дублированию операций и увеличению расходов [6].

Логистика доставки имеет решающее значение для эффективности бизнеса, поскольку от ее грамотной организации зависят своевременность доставки товаров, оптимизация затрат и удовлетворенность клиентов. Согласно исследованию, успешное управление процессами распределительной логистики требует комплексной стратегии, которая включает в себя внедрение инновационных решений и проверенных моделей.

Учитывая ее важность как системообразующего компонента логистической инфраструктуры, которая включает в себя планирование, транспортировку, складирование и управление запасами, теоретическое изучение распределительной логистики подчеркнуло ее важность. Практика показала, что использование цифровых технологий, автоматизации складских процессов и централизованных и децентрализованных моделей распределения могут значительно повысить эффективность и точность логистических операций.

Исследование показало, что ключевые показатели эффективности, такие как оборачиваемость запасов, скорость и надежность доставки, уровень затрат и удовлетворенность клиентов, полезны для мониторинга и контроля логистических процессов. Их частое изучение позволяет организации обнаружить «узкие места» и изменить свою деятельность в ответ на изменение рыночных условий.

Продемонстрирована высокая эффективность оптимизации операций по дистрибуции с помощью информационных систем, аналитических инструментов и технологий автоматизации. Компания получает конкурентное преимущество за счет повышения точности операций, снижения временных и финансовых затрат и развития логистики в долгосрочной перспективе [8].

Список используемых источников

1. Бондаренко Е.М. Теоретические основы распределительной логистики предприятий обувной промышленности в условиях цифровизации // На пути к гражданскому обществу. 2022. № 2. С. 9-12.
2. Брынских И.Д., Синенков М.В. Основные этапы развития распределительной логистики // Вестник науки. 2024. № 4. С. 22-24.
3. Ермакова М.В. Сферы применения распределительной логистики // Территория науки. 2017. № 12. С. 45-48.
4. Ерунова Е.А. Формирование принципов определения стратегии распределительной логистики в организации // Научный журнал. 2017. № 5. С. 30-35.
5. Калмыкова Д.Ю. Распределение продукции с позиций логистического управления деятельностью предприятия // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 14. С. 123-127.
6. Малышева Т.В., Ганеева Г.А. Организационно-экономические особенности распределительной логистики нефтехимических производств // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 17. С. 338-340.
7. Новикова Т.В. Применение технологии единой цены при распределении готовой продукции в логистической системе // Логистика и управление цепями поставок. 2015. № 6. С. 45-50.
8. Степанова Р.С. Влияние логистики на транспорт // Транспортное дело России. 2020. № 1. С. 50-53.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В ЕКАТЕРИНБУРГЕ

Семеновых Г.А. – студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Семеновых А.Г. – к. ф.-м. н., доцент, Специализированный учебно-научный центр ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Аннотация

В данной работе проведен комплексный анализ качества общественного транспорта в Екатеринбурге, акцент сделан на оценку различий в восприятии качества обслуживания среди жителей разных микрорайонов города. Основной метод исследования — однофакторный дисперсионный анализ, позволяющий выявить статистически значимые различия в оценках параметров качества. В рамках исследования были проанализированы данные анкетирования, охватывающего 98 респондентов из различных районов города Екатеринбург.

Введение

Качество общественного транспорта является важным индикатором уровня развития городской инфраструктуры и благосостояния населения. В последние годы Екатеринбург, как и многие другие города России, сталкивается с проблемами в этой сфере. Несмотря на официальные отчеты, свидетельствующие о высоком уровне транспортной доступности и качества обслуживания, проведенный опрос и другие альтернативные исследования показывают, что жители и гости города оценивают общественный транспорт значительно хуже [1].

Согласно рейтингу городов России по качеству общественного транспорта (ОТ) [2], который уже четыре года составляет группа компаний SIMETRA, Екатеринбург неизменно входит в тройку городов с высоким качеством ОТ. Авторы исследования SIMETRA обращают внимание на то, что система ранжирования городов в данном рейтинге построена на основе принципа распределенного оценивания, где каждому показателю присваивается определенный вес, отражающий его значимость в оценке привлекательности общественного транспорта. Группы показателей структурированы по уровням их влияния на общее восприятие транспортной системы, что позволяет более точно учитывать ключевые аспекты, такие как доступность, удобство и надежность.

Из сказанного можно сделать вывод, что итоговое место города в рейтинге формируется не только на основе его общих характеристик, но и с учетом сбалансированной оценки отдельных факторов, значимых для пользователей.

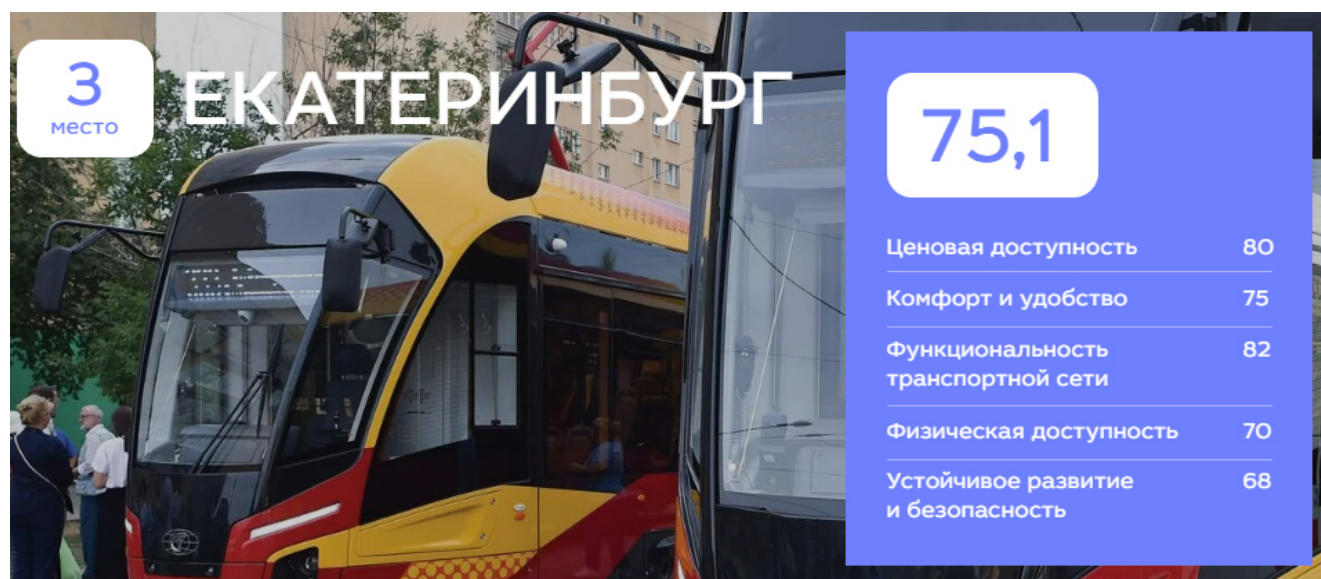


Рис.1. Оценки ОТ г. Екатеринбург на III квартал 2023 г. [2]

Авторы данной работы, регулярно пользующиеся ОТ города Екатеринбург, субъективно оценивают положение в сфере ОТ гораздо ниже. Это расхождение между официальными данными и общественным восприятием порождает вопросы о достоверности статистики, методах ее сбора и интерпретации.

Целью данной работы является анализ качества общественного транспорта в Екатеринбурге, с фокусом на оценку различий в восприятии качества обслуживания среди различных районов города. Работа выполнена методом однофакторного дисперсионного анализа.

Экспериментальная часть

На первом этапе исследования была сформирована форма опроса, включающего 11 вопросов. В опросе приняло участие 98 респондентов.

Результаты опроса

Ниже приведены результаты анкетирования.

1. В каком районе вы живете ? (Рис.2)



Рис.2. Распределение 98 респондентов по районам проживания, 2024г.

Источник: составлено автором

2. В каком учебном учреждении вы учитесь? (Рис.3)

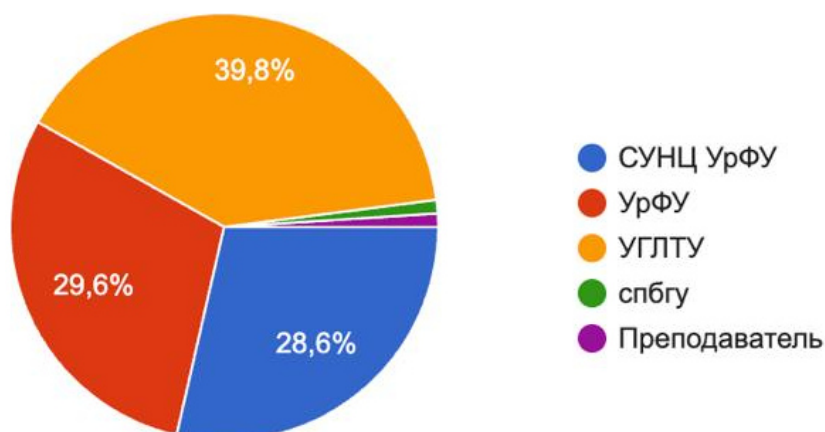


Рис.3. Распределение 98 респондентов по месту учебы, 2024г.

Источник: составлено автором

3. Как часто вы пользуетесь общественным транспортом ОТ? (Рис.4)

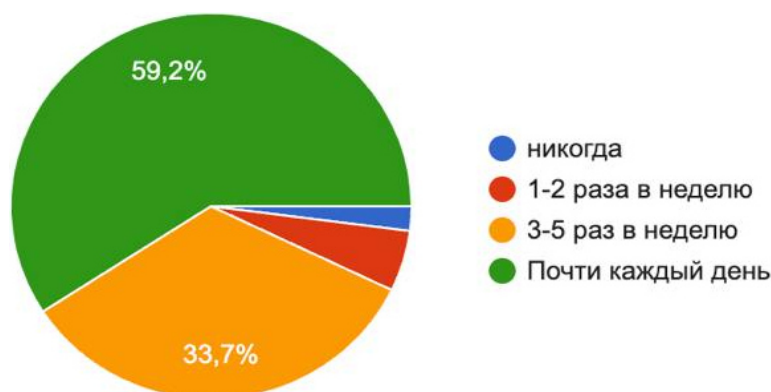


Рис.4. Распределение 98 респондентов по частоте использования ОТ, 2024г.

Источник: составлено автором

4. Каким ОТ вы пользуетесь? (Рис.5)

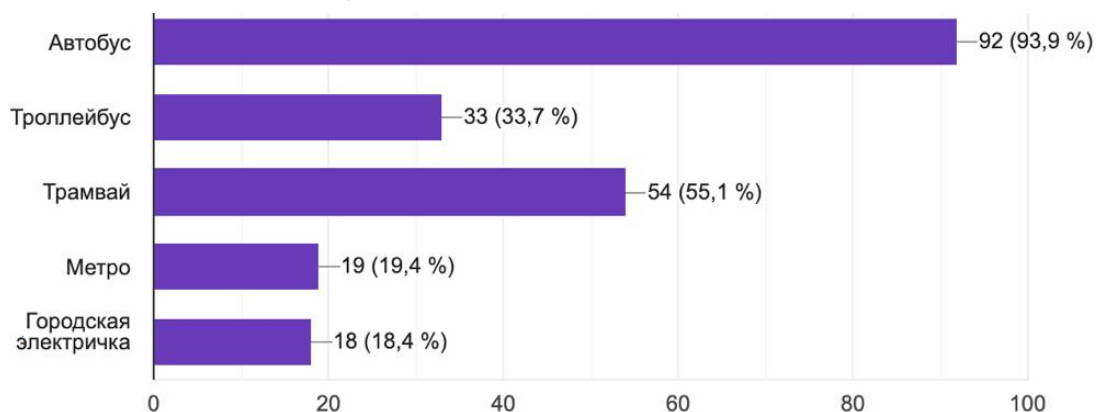


Рис.5. Распределение 98 респондентов по видам используемого ОТ (указано количество респондентов и процент от общего числа опрошенных), 2024г.

Источник: составлено автором

5. Сколько пересадок вы делаете на маршруте дом-учеба? (Рис.6)

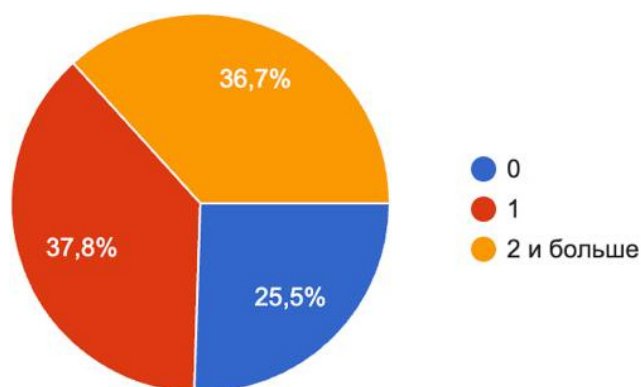


Рис.6. Распределение 98 респондентов по количеству пересадок, 2024г.

Источник: составлено автором

6. Какое время в среднем вы тратите на дорогу до учебы? (Рис.7)

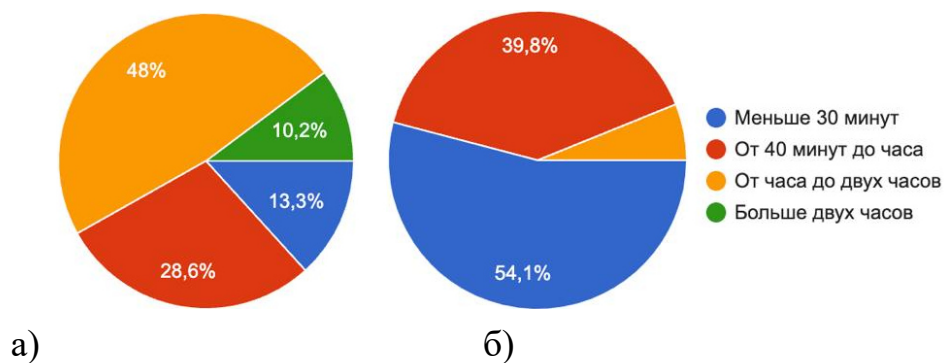


Рис.7. Распределение 98 респондентов по длительности маршрута дом-учеба, а) на ОТ, б) на личном автомобиле или такси, 2024г.

Источник: составлено автором

7. Какое время в среднем вы ожидаете ОТ? (Рис.8)

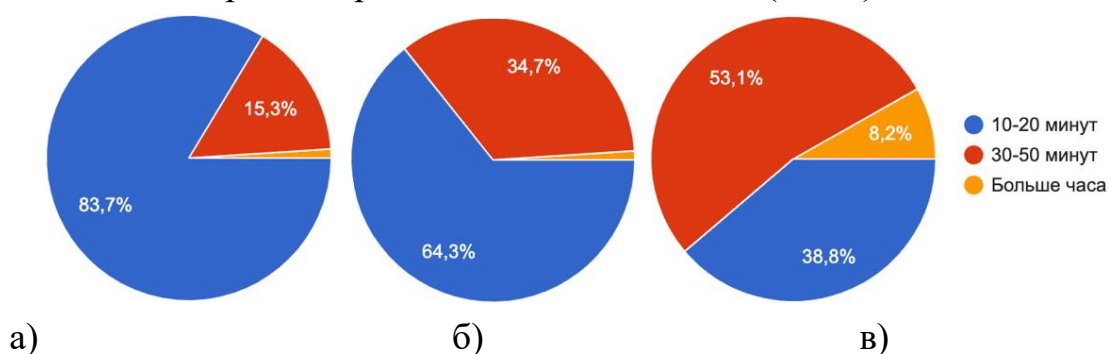


Рис.8. Распределение 98 респондентов по времени ожидания ОТ, а) утром, б) днем, в) вечером, 2024г.

Источник: составлено автором

8. Как часто ОТ проезжает, не останавливаясь нужную вам остановку? (Рис.9)

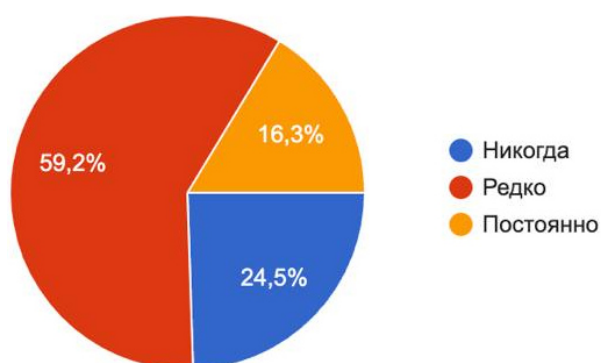


Рис.9. Распределение 98 респондентов по оценке удобства ОТ (пропуск остановки), 2024г.

Источник: составлено автором

9. Как часто вы пропускаете ОТ так как не можете в него физически попасть из-за перегруженности? (Рис.10)

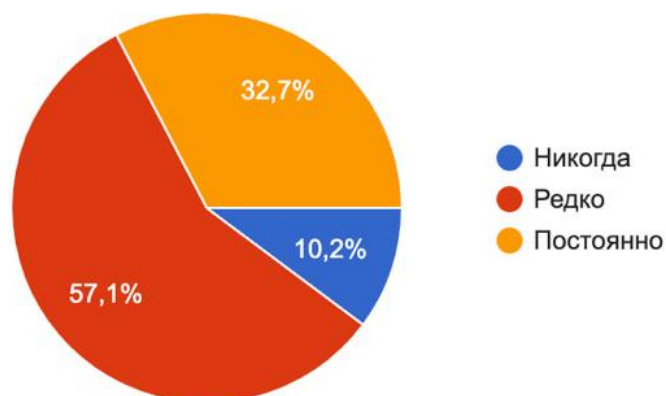


Рис.10. Распределение 98 респондентов по оценке удобства ОТ (перегруженность ОТ), 2024г.

Источник: составлено автором

10. Как часто вы ездите в старых, неудобных трамваях, автобусах или троллейбусах? (Рис.11)

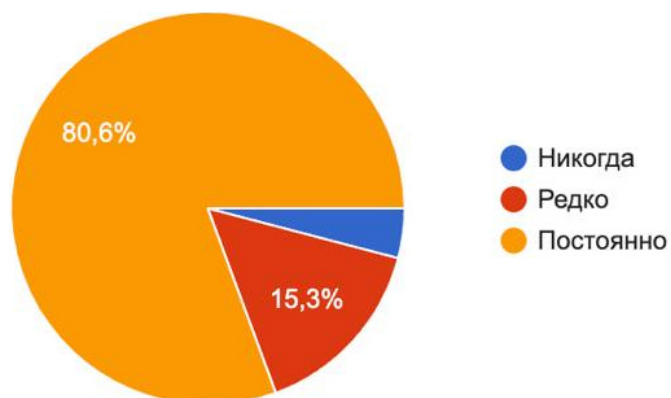


Рис.11. Распределение 98 респондентов по оценке удобства ОТ (возраст ОТ), 2024г.

Источник: составлено автором

11. Поставьте оценку удобству ОТ по пятибалльной шкале. (Рис.12)

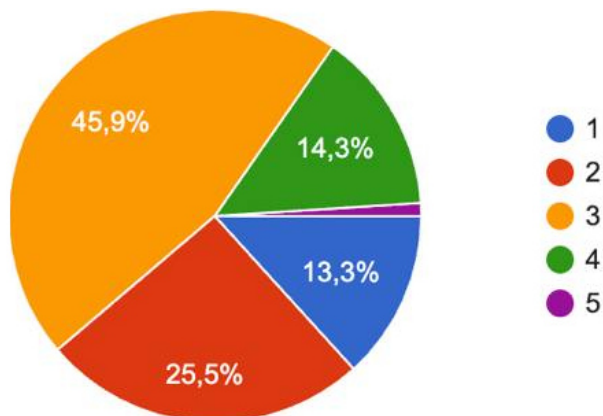


Рис.12. Распределение 98 респондентов по общей оценке ОТ по пятибалльной шкале, 2024г.

Источник: составлено автором

Анализ результатов опроса

На втором этапе исследования были проанализированы анкеты участников опроса и выявлена связь района проживания с уровнем оценки качества ОТ.

В качестве изучаемого признака (переменной) была выбрана оценка качества ОТ, то есть средняя оценка по шкале от 1 до 5 (где 1 — очень плохо, 5 — отлично), полученная по результатам анкетирования. Фактором в этом случае стал микрорайон города, так как различия в инфраструктуре и уровне ОТ могут сильно варьироваться в зависимости от местоположения.

Табл. 1

Характеристики уровней фактора

Уровень фактора	Вопрос в анкете	Уровни оценки в анкете	Уровни оценки в расчетах
A ₁	№3, частота использования	● никогда ● 1-2 раза в неделю ● 3-5 раз в неделю ● Почти каждый день	0 2 4 5
A ₂	№5, количество пересадок	● 0 ● 1 ● 2 и больше	5 3 1
A ₃	№7, время ожидания ОТ вечером	● 10-20 минут ● 30-50 минут ● Больше часа	5 3 1
A ₄	№10, удобство ОТ	● Никогда ● Редко ● Постоянно	5 3 1
A ₅	№11, оценка ОТ	оценка по шкале от 1 до 5	

Источник: составлено автором

Результаты анкетирования в сгруппированном виде представлены в таблице 2.

Табл. 2

Сгруппированные данные опроса

Микрорайон	Количество анкет	Средние оценки по уровням фактора				
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Центр	19	4,53	4,05	4,15	1,95	3,31
Академический, Широкая речка	10	4,50	1,60	2,80	1,00	1,60
Автовокзал, Ботанический	12	4,75	2,17	3,83	1,00	2,83
Вторчермет, Уктус	14	4,36	2,00	3,29	1,14	2,50
ЖБИ	9	4,33	2,11	3,44	1,89	2,67
Сортировка, Семь ключей	5	4,00	2,20	3,40	2,20	2,40

Уралмаш	5	4,80	2,20	3,80	1,00	2,40
---------	---	------	------	------	------	------

Источник: составлено автором

В качестве нулевой гипотезы H_0 было принято предположение, что среднее значение каждого признака A_i для разных микрорайонов одинаково. Альтернативная гипотеза H_1 – по крайней мере одно среднее значение признака между микрорайонами отличается.

Для проверки предположения было решено использовать однофакторный дисперсионный анализ, который используется в тех случаях, когда в распоряжении есть три и более независимые выборки, полученные из одной генеральной совокупности. Считают, что все выборки имеют одинаковые выборочные дисперсии [3]. Уровень значимости выбран 0,05. Число степеней свободы системы $n=4$, $k=30$. Критическое значение критерия Фишера $F_{кр}(0,05; 4; 30) = 2,29$.

Результаты расчетов статистических параметров системы приведены в таблице 3.

Табл. 3

Результаты расчетов статистических параметров

Статистические параметры		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Сумма квадратов отклонений	межгрупповая (Q_1)	3,11	25,96	8,14	11,97	11,32
	внутригрупповая (Q_2)	46,99	104,22	85,52	59,30	41,57
Дисперсия	межгрупповая (S_1^2)	0,78	6,49	2,03	2,99	2,83
	внутригрупповая (S_2^2)	1,57	3,47	2,85	1,98	1,39
Критерий Фишера ($F = S_1^2 / S_2^2$)		0,50	1,87	0,71	1,51	2,04
Коэффициент детерминации ($R^2 = Q_1 / (Q_1 + Q_2)$)		0,06	0,20	0,09	0,17	0,21

Источник: составлено автором

Все рассчитанные критерии Фишера оказались меньше критического показателя.

Выводы

Наибольшее значение критерия Фишера (2,04) наблюдается для уровня фактора A_5 . Это указывает на относительное влияние района проживания на общую

оценку качества общественного транспорта. Хотя значение не превышает критического уровня (2,29), оно максимально приближено к нему, что может указывать на тенденцию к статистически значимым различиям. Также этот уровень фактора имеет наибольший коэффициент детерминации (0,21). То есть, общая оценка ОТ наиболее чувствительна к фактору микрорайона проживания.

Уровни фактора A_2 (количество пересадок) и A_4 (удобство ОТ) имеют значения критерия Фишера 1,87 и 1,51 соответственно, что также демонстрирует умеренные различия в восприятии данных параметров между микрорайонами. Для этих уровней фактора коэффициенты детерминации равны 0,20 и 0,17 соответственно. Таким образом, количество пересадок и удобство транспортного средства значительно влияют на восприятие качества ОТ.

Для уровней фактора A_1 , A_3 значения критерия Фишера значительно ниже критического показателя, что свидетельствует об отсутствии значимых различий по этим характеристикам в зависимости от микрорайона.

Межгрупповая дисперсия наиболее высока для A_2 (6,49), что указывает на значительные различия в количестве пересадок между жителями разных районов города. Это явление связано с неоднородностью транспортной доступности. В одних районах имеется большее количество прямых маршрутов, что снижает потребность в пересадках, тогда как в других жители вынуждены использовать несколько видов транспорта для достижения точки назначения. Также маршруты общественного транспорта сконцентрированы вокруг центральных районов города, оставляя периферийные районы менее обеспеченными прямыми маршрутами. Это не только увеличивает количество пересадок, но и создает дополнительное неудобство для жителей. Данные различия подчеркивают необходимость перераспределения транспортных ресурсов и оптимизации маршрутов для снижения нагрузки на определенные районы и улучшения транспортной доступности для отдаленных территорий.

Внутригрупповая дисперсия показывает, что различия внутри районов также значительны, особенно для уровня фактора A_2 (3,47). Этот показатель демонстрирует высокую степень вариативности в восприятии транспортной системы даже среди жителей одного микрорайона. Причинами этого могут быть различия в индивидуальных маршрутах, времени поездок и частоте использования транспорта. Проведенный анализ не учитывал маршруты респондентов, однако очевидно, что количество пересадок зависит от выбранной точки прибытия.

Например, жители одного района могут добираться до различных частей города с разным количеством пересадок, что влияет на их общее восприятие качества ОТ.

Суммы квадратов отклонений демонстрируют значительные различия между районами по уровням A_2 (25,96) и A_4 (11,97), что подчеркивает выраженные несоответствия в восприятии этих аспектов среди жителей различных районов. Высокое значение для уровня A_2 указывает на значительную зависимость частоты пересадок от инфраструктурных особенностей районов: в более развитых районах доступность общественного транспорта позволяет минимизировать количество пересадок, тогда как в менее обеспеченных районах жители вынуждены использовать сложные маршруты с несколькими пересадками. Это накладывает дополнительное время и неудобства на их поездки. Уровень A_4 , связанный с удобством транспорта, также демонстрирует высокую степень неоднородности, что может быть обусловлено состоянием подвижного состава, качеством остановочных пунктов и плотностью маршрутов в отдельных микрорайонах. Эти данные подчеркивают необходимость детального анализа условий в каждом районе и учета этих факторов при планировании улучшений транспортной системы. Такая информация поможет разработать более эффективные и адресные меры для устранения выявленных проблем.

Заключение

Результаты проведенного исследования подчеркивают необходимость разработки целевых мер для улучшения качества общественного транспорта в Екатеринбурге. Основные проблемы, выявленные в ходе анализа, включают неудовлетворительное время ожидания и низкий уровень удобства в удаленных районах. Несмотря на высокие рейтинги города в общенациональных оценках, локальные различия в восприятии показывают, что официальные показатели не всегда отражают реальную ситуацию. Анализ несоответствия между официальной статистикой и мнением жителей о качестве общественного транспорта в Екатеринбурге показал, что основными причинами расхождений являются различные методы сбора и интерпретации данных, а также игнорирование реальных условий, с которыми сталкиваются горожане.

Важно отметить, что опросы, основанные на множественных субъективных оценках, зачастую не отражают истинную картину, создавая ложное впечатление о качестве обслуживания. Для решения данной проблемы необходимо улучшение механизмов сбора данных, учет мнения населения при принятии управленческих

решений, а также модернизация инфраструктуры общественного транспорта с учетом реальных потребностей пользователей.

А именно, 1. увеличить частоту рейсов в наиболее загруженных направлениях, 2. обновить парк транспортных средств, уделяя внимание районам с наиболее низкими оценками, 3. улучшить инфраструктуру остановок и маршрутов, особенно в районах с высоким временем ожидания.

Данное исследование может стать основой для дальнейших работ, направленных на развитие системы общественного транспорта в Екатеринбурге, учитывающих реальные потребности жителей.

Список используемых источников

1. «Вот она, столица Урала». Что думают об автобусах Екатеринбурга люди из других городов / E1.ru, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.e1.ru/text/transport/2023/10/14/72810068/> (дата обращения: 23.12.2024)

2. Рейтинг городов России по качеству общественного транспорта / simetragroup.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3Lbmxt> (дата обращения: 26.12.2024)

3. Цивилизационные перемены в России: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. С. 275-280.

ПУТЕВОЙ ПРИЁМНИК ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ НА ОСНОВЕ СЧЁТЧИКА ИМПУЛЬСОВ

Скоробогатов М.Э. – к.т.н, доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Пультяков А.В. – к.т.н, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Аннотация

В статье рассматривается путевой приёмник тональных рельсовых цепей нового типа. Достоинством предлагаемого приёмника является отсутствие в его структуре гетеродина в отличие от использующихся в настоящий момент устройств релейного конца тональных рельсовых цепей. Представлена имитационная модель предложенного приёмника нового типа и приведено описание принципа его работы. С помощью имитационного моделирования в среде SimInTech показано, что путевой приёмник нового типа обеспечивает восприятие полезного сигнала рельсовых цепей при действии стационарных гармонических помех, превышающих в несколько раз полезный сигнал.

Введение

Для обеспечения безопасности и бесперебойности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте используется ряд технических средств, задачей которых является недопущение опасных ситуаций и нарушение графика движения поездов. Одним из таких устройств является рельсовая цепь (РЦ), которая выполняет функции, связанные с контролем состояния рельсовой линии (РЛ), а также используются как телемеханический канал передачи информации [9, 11-12]. Так как РЦ вынуждены функционировать в условиях существенных электромагнитных помех, то для исключения опасных отказов в их работе необходимо обеспечивать шифрование сигнала [3, 5-7, 10]. В настоящий момент наиболее распространёнными на сети отечественных железных дорог являются тональные рельсовые цепи (ТРЦ), которые используют принцип амплитудного манипулирования сигнала и тем самым обеспечивают требуемый уровень помехозащищённости от различных электромагнитных помех и, кроме того, использование разных пар модулирующей и несущей частоты в смежных ТРЦ позволяет исключить её наиболее ненадёжный элемент – изолирующий стык. Структурно РЦ состоит из трёх основных блоков:

1. Оборудование питающего конца – предназначено для формирования и зашифрованного сигнала;
2. Канал передачи информации – в качестве которого выступает РЛ;

3. Оборудование релейного конца – служит для приёма и дешифрации полученного сигнала.

Существующие устройства релейного конца ТРЦ представляют собой путевой приёмник (ПП), который использует принцип гетеродина, что обеспечивает подавление мощных стационарных и импульсных помех. Однако, гетеродинные приёмники имеют ряд недостатков: возможное собственное излучение приёмника в результате проникновения частоты гетеродина в РЛ, снижение частотной точности за счёт нестабильности частоты гетеродина, появление дополнительных каналов приёма. Исключить негативное влияние указанных недостатков на устойчивое восприятие полезного сигнала РЦ возможно за счёт модернизации аппаратуры релейного конца.

Данная статья направлена на оценку работоспособности и помехоустойчивости нового путевого приёмника ТРЦ, основанного на счёте импульсов полезного сигнала.

Материалы и методы исследования

Так как проведение натурных измерений на реальном оборудовании ТРЦ затруднительно в виду их важности для безопасности перевозочного процесса, то для их практического исследования можно воспользоваться имитационным моделированием [1-2, 8].

Аналитическое описание модулирующего сигнала ТРЦ представляется выражением:

$$u_m(t) = \begin{cases} 1, & t \in [\frac{2k}{f_m}; \frac{1+2k}{f_m}) \\ 0, & t \in [\frac{1+2k}{f_m}; \frac{2+2k}{f_m}) \end{cases}$$

где: f_m – частота модулирующего колебания, для ТРЦ третьего поколения может принимать следующие значения: 8, 12 Гц;

k – порядковый номер импульса.

При этом, сигнал, вводимый на питающем конце ТРЦ в РЛ, описывается выражением:

$$u_{\text{трц}}(t) = u_{\text{н}} \cdot \cos(\omega_{\text{н}}t) \cdot [1 + u_m(t)]$$

где: u_n – амплитуда несущего сигнала, которая подбирается в зависимости от параметров РЛ;

ω_n – частота несущего колебания, для ТРЦ третьего поколения может принимать следующие значения: 420, 480, 580, 720, 780 Гц.

Исходя из представленных математических моделей сигнала ТРЦ в среде имитационного и математического моделирования SimInTech была составлена модель (рис. 1).

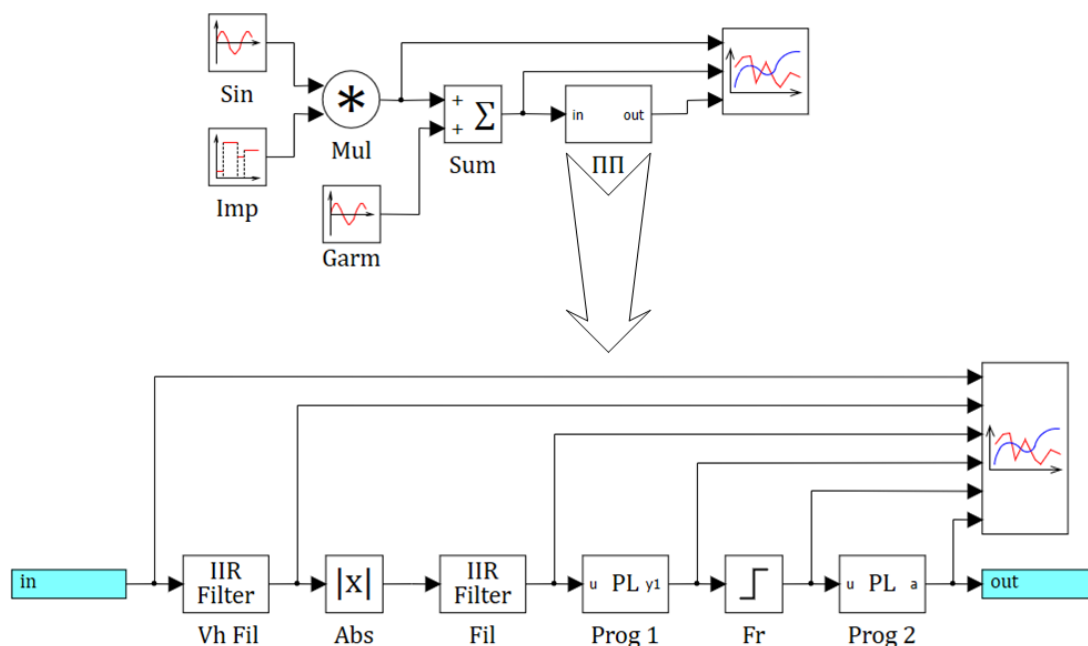


Рис. 1. Имитационная модель путевого приёмника тональной рельсовой цепи [4]

Имитационная модель включает в себя следующие блоки:

- Sin – источник несущего сигнала (настроен на частоту 420 Гц);
- Imp – источник модулирующего сигнала (настроен на частоту 8 Гц);
- Mul – блок, реализующий функцию умножения сигнала;
- Garm – источник стационарной гармонической помехи (настроен на частоту 50 Гц);
- Sum – сумматор;
- Vh Fil – входной цифровой полосовой фильтр ПП, настроенный на частоты от 410 до 430 Гц;
- Abs – блок, на выходе которого формируется модуль входного сигнала;
- Fil – ФНЧ, с частотой среза 10 Гц;
- Prog 1 – компаратор;
- Fr – блок, формирующий на выходе импульс по фронту;

— Prog 2 – блок формирователь напряжения 24 В в зависимости от частоты принимаемого сигнала.

Результаты исследования

На рис. 2 представлена последовательность обработки входного сигнала с помощью ПП нового типа. Полезный сигнал (рис. 2, а) поступает на вход модели ПП, после чего обрабатывается входным фильтром (рис. 2, б), далее вычисляется модуль полученного сигнала и выделение модулирующего колебания с помощью ФНЧ (рис. 2, в). Полученный сигнал обрабатывается компаратором (рис. 2, г) и, с помощью блока Fr, формируется импульс по фронту прямоугольных импульсов (рис. 2, д). В дальнейшем, блок Prog 2 высчитывает разницу во времени между импульсами и, в случае если она соответствует требуемой частоте ТРЦ, формирует на своём выходе сигнал 24 В (рис. 2, е).

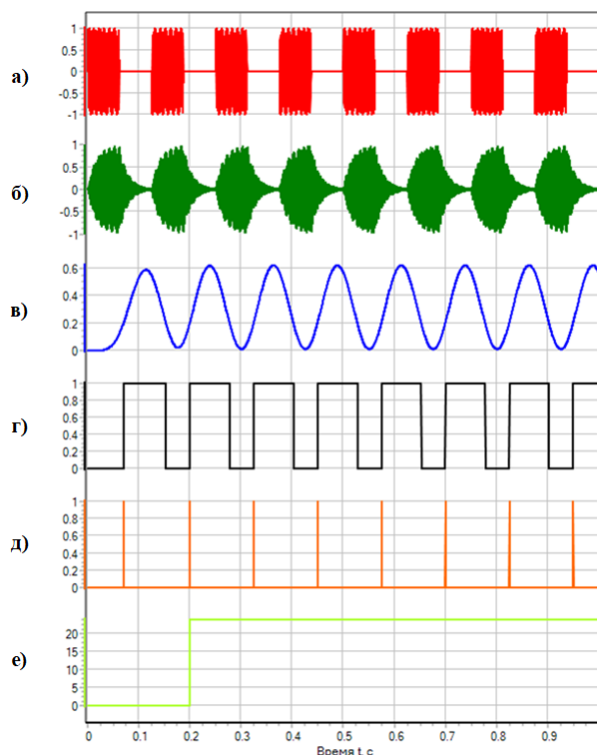


Рис. 2. Последовательность обработки входного сигнала с помощью ПП нового типа: а) полезный сигнал числового кода; б) сигнал на выходе входного фильтра; в) выделенное с помощью ФНЧ модулирующее колебание; г) сигнал после обработки компаратором; д) импульсный сигнал, построенный по фронтам прямоугольных импульсов; е) выходной сигнал ПП

Источник: составлено авторами

Кроме того, проводилось моделирование работы ПП нового типа с разным значением амплитуды стационарной гармонической помехи: рис. 3, а) – помеха

отсутствует, рис. 3, б) – амплитуда помехи равна 1, рис. 3, в) – амплитуда помехи равна 2, рис. 3, г) – амплитуда помехи равна 5.

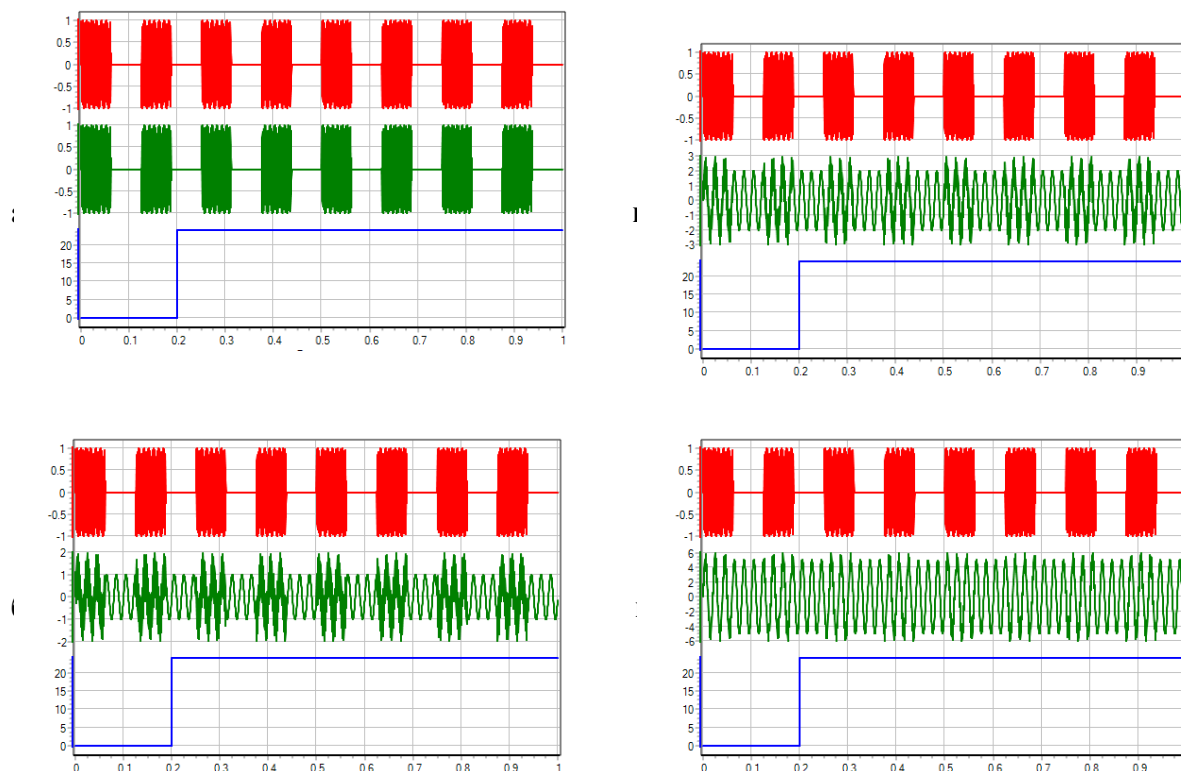


Рис. 3. Результаты моделирования при значении амплитуды помехи:
а) 0; б) 1; в) 2; г) 5

Источник: составлено авторами

Во всех случаях на выходе ПП нового типа формируется сигнал 24 В, что говорит о работоспособности предлагаемого устройства.

Выводы

В статье предложен ПП нового типа для тональных рельсовых цепей третьего поколения, его имитационная модель и принцип работы. С помощью имитационного моделирования в среде SimInTech проведена оценка его работоспособности и помехозащищённости. Таким образом, предложенный ПП нового типа может быть эффективно использован при на объектах железнодорожного транспорта.

Список используемых источников

1. Бондаренко И.В. Разработка программного обеспечения «Надежда», для расчёта рельсовых цепей // Современные вопросы естествознания и экономики:

Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 17 марта 2022 года. Прокопьевск: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» в г. Прокопьевске, 2022. С. 320-324.

2. Веремчук Н.С. Исследование процессов передачи данных с применением имитационного подхода // Цифровизация и кибербезопасность: современная теория и практика: сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Омск, 26–27 октября 2023 года. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2024. С. 13-18.

3. Демьянов В.В., Пультяков А. В., Скоробогатов М. Э., Алексеенко В. А. Методика определения порогового значения отношения сигнал/помеха для систем автоматической локомотивной сигнализации // Автоматика на транспорте. 2020. Т. 6, № 2. С. 149-164.

4. Карташов Б.А., Шабаетов Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования // – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ДМК пресс. Электронные книги», 2017. 424 с.

5. Крылов А.А., Ребров И.А., Рудашевская А.В., Рудашевский Р.А., Харьковская Е.Д. Влияние переходного сопротивления балласта верхнего строения пути на величину потенциала рельс – земля на участках железных дорог, электрифицированных на переменном токе // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2022. Т. 81, № 1. С. 16-22.

6. Кузьмин В.С., Стряпкин Л.И., Володькин Р.Е., Филиппочкина А.О. Об условиях возникновения опасных отказов в ограниченных рельсовых цепях с локомотивным приемником // Интеллектуальные транспортные системы: Материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. – Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. С. 617-625.

7. Пультяков А.В., Скоробогатов М.Э., Халиманов Д.С. Исследование влияния электромагнитных помех на работу устройств автоматической локомотивной сигнализации // Образование – наука – производство: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 07–08 декабря 2018 года. Том 1. Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего профессионального образования «Иркутский университет путей сообщения», 2018. С. 191-198.

8. Скоробогатов М.Э., Пультяков А.В. Имитационное моделирование тональной рельсовой цепи в среде SIMINTECH // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. Проблемы и решения: Сборник статей VII-ой международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф, 21 мая 2024 года. Санкт-Петербург, Петергоф: Военный институт (железнодорожных войск и военных сообщений), 2024. С. 157-164.

9. Скоробогатов М.Э., Пультяков А.В. Эффективность работы локомотивного фильтра АЛСН // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2017. Т. 1. С. 342-345.

10. Скоробогатов М.Э., Пультяков А.В., Демьянов В.В., Алексеенко В.А. Оценка эффективности локомотивного цифрового фильтра АЛСН при помощи полунатурных измерений // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2021. № 1(81). С. 62-69.

11. Скоробогатов М.Э., Целищев В.А. Автоматизация определения длин зон дополнительного шунтирования тональных рельсовых цепей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 12. С. 9-13.

12. Соколов М.М., Ходкевич А.Г. Классификации состояния рельсовой цепи на основании значения ее входного сопротивления // Известия Транссиба. 2023. № 1(53). С. 45-53.

ВЕРИФИКАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ДВУМЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССОВ СГОРАНИЯ И РАСШИРЕНИЯ В МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ

Стефановский А.Б. – к. т. н., доцент, Мелитопольский государственный университет

Аннотация

Ранее полученная математическая зависимость среднего показателя политропы расширения от коэффициента использования теплоты при сгорании скорректирована с помощью базы данных о результатах теплового расчёта дизелей. Для случаев уточнённого моделирования рабочего цикла и экспериментальных исследований ряда дизелей предложена статистическая линейная зависимость между указанными параметрами. Эти зависимости сопоставлены.

Постановка проблемы

В работе [4] предложено математическое выражение для взаимосвязи среднего показателя политропы (СПП) расширения n_2 и коэффициента использования теплоты при сгорании (КИТС) ξ_z , значения которых используются в «классическом» тепловом расчёте (ТР) дизеля:

$$n_2 = 1,2 + \begin{cases} 0,5(\xi_z - 0,6)^{1,5} & \text{при } \xi_z \geq 0,6 \\ -0,5(0,6 - \xi_z)^{1,5} & \text{при } \xi_z < 0,6. \end{cases} \quad (1)$$

При увеличении КИТС, согласно (1), должен возрастать и СПП расширения. Таким способом рекомендовано вычислять величину n_2 при выполнении расчётно-графической работы по расчёту параметров рабочего цикла, его показателей и номинальных показателей автотракторного дизеля [7]. «Слабым местом» этой зависимости является недостаточная подтверждённость, так как она получена на основе ограниченных опытных данных для тихоходного компрессорного дизеля [1].

В работе [8] начато и в работе [5] продолжено создание базы данных (БД) о результатах моделирования рабочего цикла и экспериментальных исследований транспортных дизелей (на номинальном режиме их работы). В настоящее время в БД представлены сведения о различных параметрах рабочего процесса (включая значения СПП и КИТС) более 50 дизелей, опубликованные в отечественной литературе в 1957-2024 годы, а также результаты вычислений ряда параметров на этой основе. Каждому дизелю (включая случаи повторных расчётов в разных

источниках) в БД присвоен условный номер, соответствующий сочетанию координат (n_2 , ξ_z) точек на представленных далее графиках.

Та информация в БД, которая относится к случаям выполненного ТР дизелей (более 30 случаев), позволяет верифицировать зависимость (1) и при необходимости скорректировать её параметры. Представляет интерес и характер взаимосвязи параметров n_2 и ξ_z для представленной в БД совокупности их значений, относящихся к уточнённому моделированию рабочего цикла и испытаниям ряда дизелей. Также материал БД позволил уточнить числовые коэффициенты линейной регрессии КИТС на номинальную среднюю скорость поршня дизеля [7].

Цели работы: верифицировать зависимость (1) между СПП расширения и КИТС на массиве соответствующих данных для случаев выполненного теплового расчёта дизелей; уточнить характер аналогичной зависимости на массиве данных для результатов уточнённого моделирования рабочего цикла и испытаний дизелей.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлено поле точек, характеризующее в целом зависимость СПП расширения n_2 от КИТС $\xi_{z(0)}$ для случаев выполненного ТР дизелей (светлые точки) и ряда иных случаев (тёмные точки).

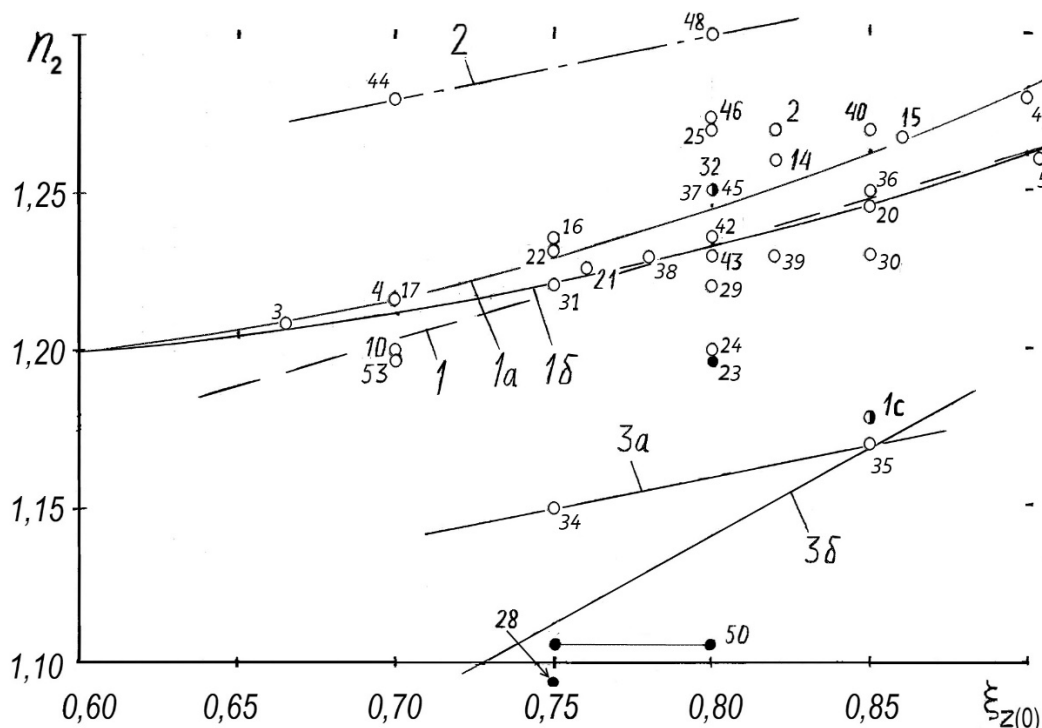


Рис. 1. Влияние КИТС на СПП расширения (○ случаи выполненного теплового расчёта дизелей; ● при уточнённом моделировании рабочего цикла или испытаниях дизелей, когда КИТС был задан) [5]

Тёмные точки (23, 28, 32, 50 и 1с), относящиеся к результатам уточнённого моделирования цикла или испытаний дизелей, находятся внутри поля светлых точек или несколько ниже него. Для светлых точек на рис. 1, а также тёмных точек 50 и 1с значения КИТС $\xi_{z(0)}$ были приняты (или вычислены – точки 3 и 4) перед выполнением расчёта параметров рабочего тела при сгорании и расширении; разброс $\xi_{z(0)}$ для двух точек 50 объясняется неопределённостью значения коэффициента избытка воздуха, использованного в ТР дизеля 6Ч 11/13 [6]. Для тёмных точек 23, 28 и 32 (тепловозные дизели ЧН 25/27 и 26/26) значения $\xi_{z(0)}$ были приняты по аналогии с выполненными ТР этих же дизелей. Значения СПП расширения n_2 для светлых точек, а также тёмной точки 32 также были приняты авторами первоисточников (кроме точек 3 и 4, когда использовалась зависимость (1)), а для других тёмных точек – вычислены по формуле

$$n_2 = \frac{\lg \frac{p_{begin}}{p_{end}}}{\lg \frac{V_{end}}{V_{begin}}}, \quad (2)$$

где p и V – давление и объём рабочего тела при расширении; индексы “begin” и “end” соответствуют началу и концу наиболее протяжённого участка зависимости $p(V)$, допускающего линеаризацию в логарифмических координатах, причём выполняются неравенства $p_{begin} > p_{end}$ и $V_{end} > V_{begin}$ (если при этом наблюдался излом прямой линии, то значение СПП подсчитывалось с помощью (2) для начала первого и конца последнего участка ломаной линии). Зависимость $p(V)$ публиковалась авторами первоисточников в табличной или графической форме. В последнем случае выполнялись оцифровка кривых линий и в ряде случаев – вычисление значений относительного объёма рабочего тела V/V_c на основе заданных значений угла поворота кривошипа φ с учётом конечной длины шатуна:

$$V/V_c = 1 + 0,5(\varepsilon - 1)(1 + \lambda_{ш}/4 - \cos \varphi - (\lambda_{ш}/4)\cos 2\varphi), \quad (3)$$

где ε – степень сжатия (геометрическая); $\lambda_{ш}$ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; их значения брались согласно техническим характеристикам дизелей. В формулу (2) вместо истинных значений V было удобнее подставлять значения V/V_c , изменявшиеся в более узких пределах.

Прямая линия 1 (штриховая) на рис. 1 была проведена после обработки координат основного количества точек методом наименьших квадратов (МНК), а прямые 2 и 3а соответствуют функциональным зависимостям и проведены через две пары светлых точек, расположенных на удалении от основного их количества.

Прямая 3б проведена, как и прямая 1, с помощью МНК и отличается от прямой 3а тем, что учитывает расположение тёмных точек 28, 50 и 1с. Кривая линия 1а соответствует исходной зависимости (1), полученной до создания БД, а кривая 1б – аналогичной зависимости, в которой вместо коэффициента $0,5 = 1/2$ использован коэффициент $1/2,7 = 0,37037...$ Числовые параметры и показатели точности всех этих зависимостей приведены в таблице 1.

Табл. 1

Числовые параметры и показатели точности зависимостей для линий на рис. 1

Номер линии на рис. 1	Формула для линии (зависимая переменная n_2 , независимая $X = \xi_{z(0)}$)	$10^2 \cdot \text{КК}$	СКО	Пределы ОП, %		САОП, %	Средние	
				от	до		КИТС	СПП
1	1,00 + 0,29X	69	0,0195	-3,2	+3,0	1,24	0,793	1,237
2	1,14 + 0,20X	не вычисл.		0	0	0	0,75	1,29
3а	1,00 + 0,20X	то же		0	0	0	0,80	1,16
3б	0,70 + 0,55X	74	0,025	-3,3	+3,1	1,64	0,792	1,134
1а	формула (1)	69	0,0193	-2,2	+4,1	1,16	0,793	1,237
1б	то же, но вместо 0,5 подставить 1/2,7		0,0189	-3,1	+3,1	1,15		
-	в (1) вместо 1,2 использовать 1,19		0,0184	-3,0	+3,2	1,18		

Обозначения: КК – коэффициент корреляции; ОП – относительная погрешность (вычисленного СПП относительно фактического); САОП – средняя по абсолютной величине ОП; СКО – среднее квадратичное отклонение

Источник: составлено автором

Как видно на рис. 1, если кривая 1а, соответствующая исходной зависимости (1), несколько завышает n_2 при $\xi_{z(0)} > 0,82$, то прямая 1 немного занижает n_2 при $\xi_{z(0)} < 0,75$. Компромиссным решением является кривая 1б, полученная с помощью скорректированной зависимости (1), где вместо числового коэффициента 0,5 использован $1/2,7$, что выравнивает пределы ОП, которые становятся близкими к $\pm 3\%$ (при наиболее часто принимавшемся значении $\xi_{z(0)} = 0,80$). Близкий результат получается, если вместо описанной замены числового коэффициента уменьшить на 0,01 первое слагаемое в (1). В дальнейшем, если нет необходимости провести ТР при $n_2 < 1,2$, принимается первый вариант корректировки (1).

Использовать при ТР дизеля слишком высокие или низкие значения СПП расширения обычно нет оснований. Поэтому прямые линии 2 и 3а (рис. 1) можно считать справочными, показывающими, что предельный разброс возможных

значений n_2 равен 0,14 – около $\pm 0,07$ относительно результата, даваемого скорректированной формулой (1). Прямая 3б показывает, что вне рамок ТР может наблюдаться повышенная чувствительность СПП расширения к изменению КИТС, а значения n_2 по (2), обусловленные реальной формой зависимостей $p(V)$, вероятно, будут меньше принимаемых при ТР дизелей.

На рис. 2 представлено поле точек, характеризующее зависимость СПП расширения, вычисленного с помощью (2), от КИТС $\xi_{z(1)}$, соответствующего реальной максимальной температуре рабочего тела $T_{\max}$ для случаев уточнённого моделирования рабочего цикла (точки 1с, 1, 5, 27, 28, 32, 41, 51 и 52) или экспериментальных исследований (точки 6 – 9, 11, 18, 19, 23, 26, 49, 50 и 56) дизелей [5]. Для светлых точек 2, 3 и 4, а также тёмных 11 величина $T_{\max}$ была найдена посредством анализа изменения произведения pV . Во всех случаях КИТС $\xi_{z(1)}$ определялся способом, описанным в работе [8] и, как правило, получался меньше $\xi_{z(0)}$ (когда последний был известен).

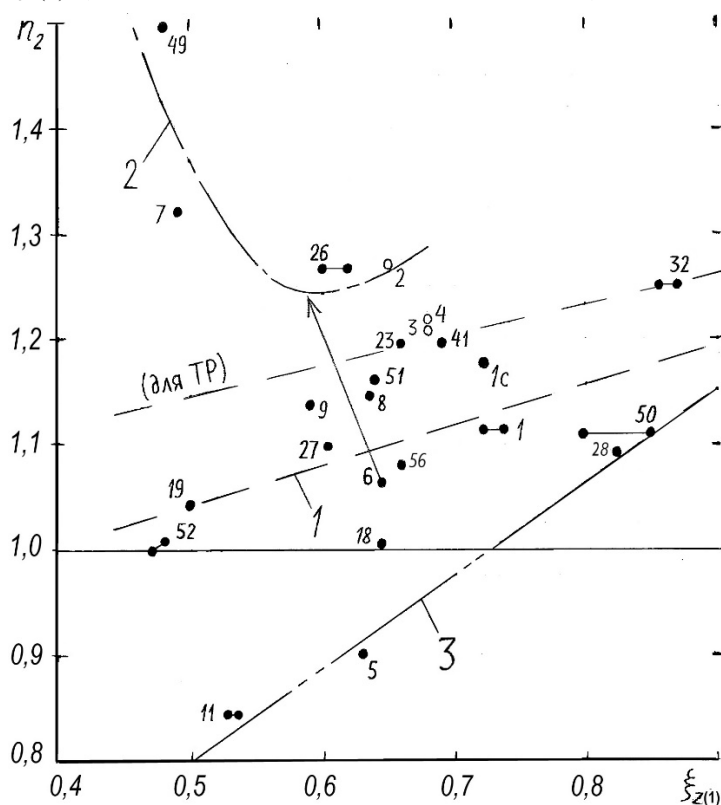


Рис. 2. Влияние КИТС, соответствующего максимальной температуре $T_{\max}$ рабочего тела, на СПП расширения (при уточнённом моделировании рабочего цикла или испытаниях дизелей; стрелкой показано смещение точки 6 при использовании теплоизолирующего покрытия поршня дизеля Ч 24/36) [5]

На рис. 2 общее поле точек также разделено на три подгруппы, математически описанные линиями 1 (основная зависимость), 2 и 3. При этом выбор параболы 2 для описания верхней подгруппы точек сделан ради простоты подбора её параметров с помощью МНК. Числовые параметры и показатели точности этих зависимостей приведены в таблице 2. В целом, на рис. 2 вертикальное рассеивание точек оказалось больше, чем на рис. 1, особенно при $\xi_{z(1)} < 0,7$. Поэтому для основных зависимостей на рис. 1 и 2 во втором случае коэффициент корреляции переменных оказался меньше, а величины ОП – больше.

Табл. 2

Числовые параметры и показатели точности зависимостей для линий на рис. 2

Номер линии на рис. 2	Формула для линии (зависимая переменная n_2 , независимая $X =$ $\xi_{z(1)}$)	$10^2 \cdot KK$	СКО	Пределы ОП, %		САОП, %	Средние	
				от	до		КИТС	СПП
1	0,84 + 0,40X	61	0,061	-8,5	+8,6	4,4	0,670	1,1185
2	5,67 - 14,7X + 12,2X ² (для $X \leq 0,65$)	85	0,054	-5,0	+5,3	2,8	0,568	1,325
3	0,36 + 0,88X	99,6	0,0113	-1,3	+1,6	1,04	0,667	0,947

Источник: составлено автором

Формулы, приведенные в таблице 2 для прямых линий 1 и 3, могут применяться во всей исследованной области КИТС $\xi_{z(1)} \approx 0,48 \dots 0,87$; при этом в зоне, где $\xi_{z(1)}$ больше 0,78, линия 3 характеризует точки 28 и 50, относящиеся к основной зависимости. Около $\xi_{z(1)} = 0,50$ по неясной причине линии на рис. 2 сильно расходятся – расхождение по вертикали достигает 0,7: аномально низкий СПП $n_2 \approx 0,84$ получен для точек 11 (дизель Ч 13/14), а аномально высокий $n_2 \approx 1,5$ – для точки 49 (дизель ЧН 15,9/15,9). При $\xi_{z(1)} = 0,59 \dots 0,65$ расхождение линий намного меньше, составляя около 0,35; в этой области аномально низкий СПП $n_2 \approx 0,90$ получен для точки 5 (дизель ЧН 18/20), а повышенный до 1,27 – для точек 26 и 2 (дизели ЧН 24/27 и 13/13,8). В области $\xi_{z(1)} > 0,65$ вертикальный разброс точек на рис. 2 уменьшается и становится меньше 0,15. Наличие теплоизолирующего покрытия на поршне дизеля Ч 24/36 [3] приводит к смещению точки 6 из основной подгруппы в верхнюю (по стрелке на рис. 2): значение n_2 становится повышенным, а КИТС $\xi_{z(1)}$ немного уменьшается.

Если, пренебрегая различием двух вариантов КИТС, сопоставить прямолинейные зависимости, обозначенные цифрой 1 на рис. 1 и рис. 2, то первая из них проходит выше второй на 0,1...0,06: это и показано на рис. 2, где штриховая

линия с пометкой «(для ТР)» – это линия 1 рис. 1. Чувствительность СПП расширения к изменению КИТС (характеризуемая угловым коэффициентом прямой линии) выше на рис. 2. Общим для графиков на рис. 1 и 2 является то, что почти все варианты зависимостей СПП расширения от КИТС – это возрастающие функции. Хотя это соответствует теоретическим построениям [2], в теории двигателей внутреннего сгорания не конкретизирована математическая форма зависимости n_2 от ξ_z , и потому представленные выше статистические зависимости восполняют этот пробел.

Выводы

При выполнении теплового расчёта (ТР) дизеля целесообразно использовать скорректированную формулу (1), удовлетворительно характеризующую зависимость среднего показателя политропы (СПП) расширения от КИТС $\xi_{z(0)}$ для большинства исследованных случаев выполненного ТР:

$$n_2 = 1,2 + (\xi_{z(0)} - 0,6)^{1,5} / 2,7, \quad (4a)$$

где используемый в ТР КИТС $\xi_{z(0)} \geq 0,6$ и потому $n_2 \geq 1,2$. При необходимости провести ТР с меньшим значением СПП расширения, его можно вычислить по сходной формуле, имеющей такую же точность (см. в таблице 1):

$$n_2 = 1,19 + 0,5(\xi_{z(0)} - 0,6)^{1,5}. \quad (4b)$$

Большинство изученных результатов уточнённого моделирования рабочего цикла и экспериментальных исследований дизелей удовлетворительно характеризуется линейной зависимостью

$$n_2 = 0,84 + 0,40 \xi_{z(1)}, \quad (5)$$

где СПП расширения вычисляется на основании реальной зависимости $p(V)$ с помощью формулы (2), а КИТС $\xi_{z(1)}$ соответствует максимальной температуре рабочего тела, не обусловленной допущением $n_2 = \text{const}$, принятым в ТР.

Средние значения СПП расширения и КИТС для исследованной совокупности случаев выполненного ТР дизеля заметно больше, чем их значения при уточнённом моделировании цикла и испытаниях дизелей (см. в правых колонках таблиц 1 и 2), а чувствительность СПП расширения к изменению КИТС в первом случае меньше, чем во втором.

Список используемых источников

1. Брилинг Н.Р. Двигатели внутреннего сгорания. 3-е изд., перераб. и доп. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. 412 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Учеб. для вузов / А. С. Хачиян [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1985. 312 с.
3. Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания. Справочное пособие / Под общ. ред. А. К. Костина. Л.: Машиностроение, 1979. 222 с.
4. Стефановский А.Б. Зависимость между двумя параметрами процессов сгорания и расширения, влияющими на результат теплового расчёта дизеля // Современные транспортные технологии: задачи, проблемы, решения: Сб. трудов Всеросс. (с междунар. участием) научно-практ. конф. научных, научно-педагогич. работников, асп. и студентов / ОУ ВО «Южно-Уральский ин-т управления и экономики». Челябинск: Полиграф-Мастер, 2017. С. 45-50.
5. Стефановский А.Б. Максимальная температура рабочего тела в результатах моделирования и экспериментальных исследований рабочего процесса транспортных дизелей. Справочное пособие. Мелитополь, 2024. 30 с.
6. Стефановский А.Б. Определение величины коэффициента избытка воздуха для заданной максимальной температуры рабочего тела в модели рабочего цикла дизеля // Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам LXXX междунар. науч.-практ. конф. № 12 (80). М.: МЦНО, 2024. С. 26-32.
7. Стефановский А.Б. Расчёт параметров рабочего цикла, его показателей и номинальных показателей автотракторного дизеля. Расчётно-графическая работа: Учебное пособие по дисциплине «Тракторы и автомобили», раздел „Основы теории, конструирования и анализ работы тракторных и автомобильных двигателей”. 3-е изд., испр. Мелитополь, 2024. 98 с.
8. Стефановский А.Б. Согласование альтернативных значений максимальной температуры рабочего тела при тепловом расчёте дизеля // Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения: сб. трудов VIII Всеросс. (нац.) научно-практ. конф... Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский технологич. ун-т», 2024. С. 195-211.

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ КАК СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЮ ГОРОДА

*Стрыгина В.О. – магистрант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный
технический университет»*

Аннотация

В статье рассматривается влияние автомобильного транспорта на экологию, описываются актуальные проблемы и пути снижения вредного воздействия на окружающую среду. Один из способов борьбы с вредными веществами, производимыми автотранспортом, переход населения на средства индивидуальной мобильности. Описаны мероприятия для массового перехода человечества на средства индивидуальной мобильности.

Автомобилизация берет свое начало в XX веке и продолжается по настоящее время. Рост автотранспортных средств с каждым годом продолжает расти, это также связано с процессом урбанизации городов нашей большой страны. Автомобилизация оказывает большое влияние на транспортные системы, общий облик городов и других населенных пунктов, на культуру и общество в целом. Автономность, удобство и свобода передвижения, свойственные автотранспортному средству, сделали его основным способом передвижения, которое использует население, на большие, средние и малые расстояния.

В современном мире транспорт является неотъемлемой частью жизни человека, пользование обусловлено некоторыми социальными и экономическими факторами. Ежедневно автомобильный транспорт используется для комфортного перемещения населения до мест работы, учебы, дома, магазинов и других общественных мест, в зависимости от возрастной группы, цели поездок различны. Автомобильный транспорт внес определенный вклад для социальной и экономической жизни общества, но нанес и продолжает наносить огромный вред окружающей среде.

В настоящее время остро стоит проблема, связанная с экологической составляющей, на которую напрямую влияет автотранспорт. Негативные аспекты связаны с загрязнением атмосферы; шумом, который производит автомобильный транспорт в процессе своей работы; транспортными задержками, особенно в часы пик.

Для решения проблем, которые возникают в процессе использования автомобильного транспорта, используются различные мероприятия, направленные

на снижение уровня выбросов в окружающую среду, разработка новых экологических источников топлива, модернизация двигателей внутреннего сгорания, переход на другие виды транспорта, которые наносят минимальный вред окружающей среде.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) за 2020 год – около 91% населения мира проживает в местах, превышающий допустимые нормы загрязнения воздуха [6].

Автомобильный транспорт – один из основных источников выбросов вредных веществ. Двигатель внутреннего сгорания преобразуют энергию, путем сгорания топливной смеси, за счет чего полученная энергия преобразуется в механическую работу, тем самым приводит автомобиль в движение. В процессе горения образуются вещества, попадающие в окружающую среду и атмосферу. К таким веществам относятся: CO_2 – оксид углерода, углеводороды, SO_2 – диоксид серы, NO – оксид азота, C – сажа (аморфный углерод), свинцовые соединения, PbS – галенит (свинцовый блеск), PbSO_4 – англезит (свинцовый купорос), PbSO_3 – церуссит (белая свинцовая руда) и т.д., H_2SO_4 – серная кислота [3]. Ухудшение качества воздуха оказывает неблагоприятное влияние на многие сферы жизнедеятельности человека. Канцерогены и токсины, содержащиеся в выхлопных газах, негативно влияют на здоровье человека, способствуют развитию серьезных заболеваний дыхательной системы, сердечно-сосудистой системы, а также развитию онкологических заболеваний [1].

Помимо воздействия вредных веществ на организм человека, выбросы в атмосферу вызывают вредоносные последствия также для окружающей среды. Такие последствия приводят к парниковому эффекту, кислотным дождям и изменениям в экосистемах [2].

Парниковый эффект – это повышение температуры на поверхности планеты Земля из-за нагревания и скопления парниковых газов в нижних слоях атмосферы. Парниковые газы свободно пропускают солнечные лучи, нагревающие Землю, но удерживают значительную часть теплового излучения, не позволяя ему вернуться обратно в космическое пространство. Усиление парникового эффекта из-за человеческой деятельности ведёт к глобальному потеплению. Основными причинами усиления являются производство энергии, транспорт, которые увеличивают концентрацию парниковых газов в атмосфере.

Кислотные дожди – это осадки с высокими уровнями азотной и серной кислот, с показателем кислотности pH от 4,2 до 4,4. Нейтральным считается pH 7. Этот показатель у обычного дождя составляет примерно 5,6. Кислотные осадки могут выпадать в виде снега, мокрого снега, града, тумана в составе которых присутствуют кислоты. Последствия кислотных дождей: вред водоемам, (кислые частицы вредят икринкам, новые особи не появляются, пищевая цепочка нарушается), страдает и флора (капли повреждают листву, кору и корни, из-за чего растения ослабевают, их способность к фотосинтезу ослабевает, и они становятся особенно восприимчивыми к болезням, вредителям и другим неблагоприятным факторам), изменяется химический состав почвы (происходит загрязнение грунтовых вод).

Не стоит также забывать о том, что для поддержания работы автомобильного транспорта используется значительный объем природных ресурсов, которые являются невозобновляемыми. Истощение природных запасов ведет к ухудшению экологической обстановки.

При пандемии COVID-19 стали популярны электросамокаты, электровелосипеды и другие мобильные средства для передвижения, так как на них можно передвигаться одному и не нарушать дистанцию, которая была установлена в целях борьбы с заболеванием. Со временем данный вид транспорта получил название средства индивидуальной мобильности (СИМ). СИМ стали использовать курьеры для доставки продовольственных продуктов в черте города, так как в сравнении с автомобильным транспортом затраты на время в пути имеют достаточно низкие временные рамки, СИМ стали сдавать в аренду, затем СИМ приобретались для личных целей. Наиболее популярен данный вид транспорта в крупных городах, это связано с тем, что загрузка дорог высока, наиболее это заметно в часы пик, поэтому СИМ имеет преимущество перед автомобилями.

Средства индивидуальной мобильности – экологичны, так как не выделяют углекислый газ и другие вредные вещества в атмосферу, при этом потребляют минимальное количество электроэнергии. Так же стоит учитывать, что средства индивидуальной мобильности имеют достаточно низкий износ, требуют минимального технического обслуживания, так как требуют замены только аккумуляторных батарей и движущихся колес, при их износе [4].

СИМ позволяют достаточно быстро добираться от одного пункта до другого, минуя транспортные пробки. При массовом переходе на такой вид транспорта снизится количество транспортных средств в городе, снизится количество

автомобилей в транспортном потоке, что повысит общую пропускную способность автомобильных дорог, снизит транспортные задержки, а также снизит концентрацию вредных веществ от автотранспорта, который выделяет свои продукты в окружающую среду [5].

Основные аспекты экологической составляющей применения СИМ:

1. Минимальное количество выбросов вредных веществ. СИМ не используют топливо внутреннего сгорания, следовательно, отсутствуют выбросы канцерогенов и токсинов в атмосферу и окружающую среду.

2. Небольшое потребление энергии на километр пройденного пути в сравнении с автомобильным транспортом. При использовании возобновляемых источников топлива (аккумуляторы на солнечной энергии) появляется возможность сохранения производимых энергоресурсов.

3. Снижение выбросов вредных веществ от автотранспорта в пробках. Частичный переход на СИМ снижает транспортные задержки, так как при передвижении на короткие расстояния в черте города проще и удобнее использовать СИМ, что ведет к сокращению числа поездок на автомобилях или полный отказ от них.

4. СИМ не оснащены двигателем внутреннего сгорания, поэтому имеют минимальный уровень шума.

Для массового перехода населения на средства индивидуальной мобильности требуется государственная поддержка, которая позволит донести до масс тренд экологичности, а также поспособствует развитию транспортной инфраструктуры для безопасного и комфортного передвижения на данном виде транспорта. Для этого необходима долгосрочная перспектива развития, разработка и осуществление мероприятий:

1. Пропаганда экологической составляющей. Оповещения населения о существующих проблемах охраны природы, важности заботы об окружающей среде, ее влияния на здоровье населения и о перспективах экологической обстановки в будущем. Преимущество движения при использовании СИМ, их влияние на снижение выбросов и улучшение экологической безопасности.

2. Развитие транспортной инфраструктуры для средств индивидуальной мобильности. Создание велодорожек и вело-пешеходных дорожек с качественным покрытием для комфорта, а также безопасности передвижения на СИМ, которые могли бы соединять периферийные районы города с центром.

3. Создавать зарядные станции для тех средств передвижения, которые в качестве источника топлива используют электроэнергию. При этом необходимо учитывать, что для средств малой мобильности (электросамокаты, электровелосипеды и др.) размещение пунктов должно осуществляться в условиях городской застройки. Модернизация уже существующих автозаправочных станций путем применения на них такого вида топлива, как электроэнергия.

4. Создание дорожного полотна, которое смогло бы обеспечить процесс зарядки СИМ в процессе движения по нему.

5. Создание парковочных мест для временного хранения средств индивидуальной мобильности. Так же для удобства стоит задуматься о создании отапливаемой парковки для СИМ в густонаселенных районах города, такая парковка позволит хранить данный вид транспорта в суровых зимних условиях.

6. Привлечение инвестиций для производства средств индивидуальной мобильности с улучшенной технологией.

7. Государственная поддержка населения, направленная на стимуляцию использования средств индивидуальной мобильности.

8. Внесение изменений в нормативно-правовую базу, регулирующая безопасность использования средств индивидуальной мобильности.

Подводя итог вышесказанному, главная цель – улучшение экологической составляющей, забота о будущем. Производимые транспортом вредные вещества оказывают влияние не только на живые организмы, а также на микроклимат планеты. Средства индивидуальной мобильности – один из способов повлиять в лучшую сторону на экологию окружающей среды, так как данный вид транспорта недорог, прост в обслуживании и использовании. Для массового перехода на данный вид транспорта необходима государственная поддержка страны и создание комфорта для пользователей средств индивидуальной мобильности.

Список используемых источников

1. Гуськов А.А., Залукаева Н.Ю., Горюшинский В.С. Экологическая безопасность на транспорте: учебное пособие. Тамбов: ТГТУ, 2018. 100 с.

2. Гуськов А.А., Кошелев С.П. Оценка воздействия автомобильного транспорта на экологию г. Тамбова // Техника и технология транспорта. 2022. №3(26). С. 11.

3. Котлов И.А., Федоров А.Н. Проблемы автотранспорта в атмосферной среде и мероприятия по решению проблемы // Молодежь и наука. 2021. № 9. С. 43.

4. Крюкова А.С., Полянская А.В., Сущева В.А. Электросамокат как средство передвижения. Перспективы развития данного вида транспорта // В сборнике: Лучший студенческий проект – 2024. сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. 2024. С. 29-36.

5. Кулакова А. Г., Гуськов А.А., Круценко Е.М. Экологические проблемы автотранспорта // В сборнике: Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития: Уфа, 2017. С. 24-27.

6. Пантелеева А.А. Внедрение СМИ как метод улучшения экологии в городе // В сборнике: Сборник трудов II Вузовской научно-технической конференции молодых исследователей. Волгоград, 2024. С. 142-144.

ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТА ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Татаринцев В.А. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Аннотация

Целью данной статьи является разработка подхода к обоснованию уровня надежности элементов транспортных систем по критериям прочности с учетом различных по физической природе отказов. При этом выполнялся учет влияния на надежность особенностей эксплуатационного режима нагружения окружающей среды и системы технического обслуживания и ремонтов объекта. Предложены варианты достижения и обеспечения, обоснованного по выбранному критерию уровня надежности.

Уровень надежности элемента транспортного средства определяет ожидаемое количество отказов в эксплуатации, а также связанные с этим потери и соответствующие затраты на его обеспечение в процессе производства и поддержание в работоспособном состоянии в период эксплуатации. Надежность конструкций поддерживается в эксплуатации с помощью системы технического обслуживания и ремонтов. Периодичность технического обслуживания и ремонтов, их объем устанавливается из условия обеспечения требуемой работоспособности транспорта в целом и заданной безотказности его наиболее ответственных элементов в межремонтный период. В этом случае задача обоснования требований к уровню прочностной надежности может быть сформулирована следующим образом.

Найти такой уровень надежности детали за срок службы, который бы обеспечивал экстремальное значение определенному критерию оптимальности при заданной периодичности технического обслуживания и ремонтов. Решение этой задачи неразрывно связано с выбором способов обеспечения рационального (или оптимального по выбранному критерию оптимальности) уровня надежности. Задача оптимизации надежности является обратной задачей теории надежности, и в этом заключается ее сложность.

Рассмотрим решение данной задачи на примере ответственной несущей детали грузового вагона железнодорожного подвижного состава – корпуса автосцепки. В зависимости от степени обобщения при абстрагировании объекта исследования литая деталь будет рассматриваться как система, состоящая из элементов, отражающих внешнее воздействие, связи с более общей системой и прочее, или как элемент более общей системы, например, вагона, поезда.

Предварительно сформулируем требования, предъявляемые к математической модели оптимизации объекта. Во-первых, математическая модель должна позволять приводить характеристики различных по физической природе отказов к выбранному критерию оптимальности, т.е. элементы математической модели должны связывать оптимизируемые параметры надежности со стоимостными характеристиками и, благодаря их аддитивности, осуществлять приведение к единому критерию. Во-вторых, поскольку экономичность детали наиболее полно характеризуется суммарными экономическими затратами, то модель должна состоять из элементов, отражающих затраты на разработку, производство, эксплуатацию и устранение ущерба, связанного с отказом детали. В-третьих, в модели должен быть учтен временной фактор, отражающий разделение во времени между единовременными и отдаленными затратами, в соответствии с хронологическим разрезом системы. В-четвертых, математическая модель должна учитывать влияние на характеристики надежности всех внутренних и внешних факторов. В-пятых, математическая модель должна быть гибкой, т.е. позволять в зависимости от точности исходных данных и объема располагаемой информации проводить оценку оптимального в смысле выбранного критерия варианта обеспечения надежности на различных этапах проектирования и эксплуатации детали или сравнивать предлагаемые варианты. Процесс функционирования литой детали грузового вагона очень сложен и не может быть описан математически точно. Поэтому при построении математической модели всегда делаются допущения и обобщения.

В литературе приведено множество математических моделей, носящих как довольно общий [1, 2], так и специфический характер, отражающий особенности исследуемого объекта [3, 6]. Анализ этих моделей с учетом сформулированных выше требований и особенностей производства и эксплуатации литых деталей грузового вагона позволяет разработать математическую модель, отражающую этапы создания и эксплуатации детали с технико-экономических позиций и учитывающую связь с более общей иерархической системой. В общем случае математическая модель объекта исследования для определения его оптимальной функции надежности может быть представлена в виде стоимостного функционала затрат

$$Z[P(t, \vec{X})] = C_u[P(t, \vec{X})] + \int_0^L C_p[P(t, \vec{X})] \alpha_t^{-1} dt + \int_0^L U[P(t, \vec{X})] \alpha_t^{-1}, \quad (1)$$

где $C_u[P(t, \vec{X})]$ – единовременные затраты конструкторской, исследовательской, изготавливающей и эксплуатирующей организаций, необходимые для создания и эксплуатации детали с надежностью (вероятностью безотказной работы) $P(t)$ и вектором конструктивных параметров $\vec{X}$; C_p – текущие затраты на ремонт детали; $U[P(t, X)]$ – ущерб, связанный с разрушением детали; $\alpha_t = (1 + E_n)^t$ – коэффициент приведения разновременных затрат; E_n – норматив приведения, обычно $E_n = 0,1$; L – срок службы.

Математическая модель (1) может быть упрощена применительно к выбранным критериям оптимизации и принятой системе технического обслуживания и ремонтов грузового вагона. С учетом межремонтного интервала t_p и связи между вероятностью безотказной работы $P(t)$ и коэффициентом запаса по средним значениям n при известных параметрах рассеяния нагруженности и несущей способности выражение (1) примет вид

$$Z(n) = C_u(n) + \sum_{t_p=1}^{L/t_p} C_p(n, t) \alpha^{-1} + \sum_{t_p=1}^{L/t_p} U(n, t) \alpha^{-1} \quad (2)$$

Рассмотрим типичные для литых деталей случаи построения математических моделей.

Учет различных по физической природе отказов детали. Анализ результатов обследования технического состояния литых деталей показал, что им присущи прочностные отказы, в основном, двух видов: наличие трещины и разрушение. Если разрушение детали всегда связано с полным отказом с определенными

экономическими или неэкономическими последствиями, то наличие в ней трещины является либо полным, либо частичным отказом в зависимости от того, где обнаружена трещина – в поезде на ПТО или при очередном плановом ремонте вагона. При этом каждый случай будет характеризоваться различными экономическими потерями. Остановимся подробнее на схеме образования этих потерь.

В среднем количество ремонтов по заварке трещин характеризуется вероятностью ее образования за время $t - Q_T(t)$. При этом часть возникших трещин ρ_1 , обнаруживается при осмотрах поезда, другая часть ρ_2 – в плановых ремонтах, а третья часть ρ_3 остается не обнаруженной ($\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1$). Под действием нагрузок эти трещины развиваются до критических размеров и приводят к разрушению детали.

Появление трещины в детали под действием случайной эксплуатационной нагрузки возможно в следующих случаях. Во-первых, при местных напряжениях, превышающих предел прочности $\sigma_{\max} > \sigma_b$ при сложном напряженном состоянии и выполнении условия $\sigma > \sigma_b$ в вязком состоянии детали в исследуемой зоне образуется трещина (надрыв). Во-вторых, при напряжениях, переменных во времени, в зоне концентратора напряжений образуются усталостные трещины.

Вероятность образования трещины $Q_T(t)$ может быть представлена суммой вероятностей образования трещины вследствие перегрузки $Q_{\text{тп}}(t)$ и усталостной трещины $Q_{\text{ту}}(t)$ при условии несовместности этих событий

$$Q_T(t) = Q_{\text{тп}}(t) + Q_{\text{ту}}(t) \quad (3)$$

При этом первое слагаемое $Q_{\text{тп}}(t)$ зависит от случайных величин текущих σ и предельных σ_b напряжений и их рассеяния. Второе слагаемое $Q_{\text{ту}}(t)$ определяется случайными значениями амплитуд напряжений, параметрами сопротивления усталости и характеристиками их рассеяния. В общем виде

$$Q_{\text{тп}}(t) = f(\sigma_i; S_{\sigma_i}; \sigma_b; S_{\sigma_b}; t); \quad Q_{\text{ту}}(t) = f(\sigma_{ai}; S_{\sigma_a}; \sigma_{-1}; S_{\sigma_{-1}}; m, t).$$

Образовавшиеся трещины (как правило, поверхностные) развиваются под действием переменной нагруженности до критических (в данных условиях) размеров. При этом на кинетику разрушения значительное влияние оказывает состояние внешней среды – ее температура и влажность [4]. Развитие разрушения завершается доломом.

Количество разрушений деталей с трещинами определяется условной вероятностью разрушения $Q_P^{ysl}(t)$, т.е. вероятностью, рассчитываемой при условии, что трещина в детали появилась. Вероятность разрушения по двухстадийному механизму неповрежденной трещиной детали может быть представлена произведением вероятности образования трещины $Q_T(t)$ на условную вероятность разрушения детали, имеющей трещину $Q_P^{ysl}(t)$, т.е.

$$Q_{PT}(t) = Q_T(t) \cdot Q_P^{ysl}(t) = [Q_{TP}(t) + Q_{TY}(t)] \cdot Q_P^{ysl}(t). \quad (4)$$

Условная вероятность разрушения зависит от характеристик механики разрушения: текущих значений коэффициента интенсивности напряжений (КИН) K_i и его размаха ΔK , параметров скорости роста усталостной трещины (РУТ) dl/dn , критических значений КИН K_C и параметров их рассеяния. Причем сами эти характеристики зависят от условий окружающей среды – температуры и влажности. Таким образом,

$$Q_P^{ysl} = f(K_i; \Delta K; dl / dN; K_{IC}; T; B; S_{K_i}; S_{\Delta K}; S_{dl/dN}; S_{K_{IC}}; S_B; t).$$

Исследования [6] показывают, что для разрушения целой детали в условиях сложного напряженного состояния недостаточно, чтобы напряжения в некоторой точке достигли предела прочности. Необходимы еще условия для развития разрушения, приводящего к разделению детали на части. Вероятность внезапного разрушения неповрежденной детали при однократном нагружении оценивается вероятностью совместного проявления событий, связанных с превышением местными напряжениями σ_{max} разрушающих напряжений σ_B

$$q_{P_1} = \text{Вер}(\sigma_{max} \geq \sigma_B) \quad (5)$$

и достижением работой внешних сил E величины энергии разрушения Γ , являющейся функцией состояния материала детали

$$q_{P_2} = \text{Вер}(E \geq \Gamma). \quad (6)$$

В этом случае вероятность разрушения целой детали при однократном нагружении оценивается произведением

$$q_{P_n} = q_{P_1} \cdot q_{P_2}. \quad (7)$$

Вероятность разрушения целой детали за время t можно рассчитать по зависимости

$$Q_{PT} = 1 - (q_{PT})^{tN_{год}}. \quad (8)$$

Подстановка зависимостей с (3) по (8) в выражение (2) позволяет учесть типичный для литых деталей автосцепного устройства факт наличия различных по физической природе отказов.

С учетом этого математическая модель оптимизации примет вид

$$Z = C_u(n_i) + (C_{\text{пр}} \cdot \rho_1 + C_{\text{н.р.}} \cdot \rho_2) \sum_{t=1}^L [Q_{\text{тр}}(t) + Q_{\text{ту}}(t)] \alpha_t^{-1} + U \sum_{t=1}^L \{ [Q_{\text{тр}}(t) + Q_{\text{ту}}(t)] Q_{\text{р}}^{\text{всл}}(t) + Q_{\text{рп}}(t) \} \alpha_t^{-1}, \quad (9)$$

где $C_u(n_i)$ – стоимость изготовления детали с коэффициентами запасов прочности n_i ; $C_{\text{пр}}$ – стоимость устранения отказа в плановом ремонте; $C_{\text{н.р.}}$ – стоимость устранения отказа при неплановом ремонте; U – величина ущерба, связанного с разрушением детали,

$$U = C_u + C_{\text{м}} + U_{\text{п}} - \Lambda;$$

$C_{\text{м}}$ – стоимость монтажных работ; $U_{\text{п}}$ – прочий ущерб; Λ – ликвидационная стоимость; ρ_1 – относительное количество деталей с трещинами, обнаруженными при плановом ремонте вагона; ρ_2 – относительное количество деталей с трещинами, обнаруженными при осмотрах на ПТО и ППВ; $Q_{\text{тр}}(t)$, $Q_{\text{ту}}(t)$ – вероятности образования трещин соответственно при перегрузках и от усталости; $Q_{\text{рп}}(t)$, $Q_{\text{р}}^{\text{всл}}(t)$ – вероятность разрушения соответственно целой детали от перегрузки и детали с трещиной (при условии образования трещины); L – срок службы.

Решение задачи обоснования уровня прочностной надежности состоит из двух этапов. На первом этапе анализируются возможные отказы конструкции и на базе располагаемых статистических данных о напряженно-деформируемом состоянии ее опасных зон и характеристиках прочности методами теории надежности рассчитывается их вероятность. На втором этапе оцениваются последствия отказов, определяются зависимости между стоимостными характеристиками производства и эксплуатации конструкции и параметрами надежности. Затем устанавливается связь между критерием оптимальности – суммой затрат и экономическими характеристиками объекта, накладываются ограничения, т.е. разрабатывается математическая модель. И, наконец, определяется уровень надежности детали, обеспечивающий минимум критерию оптимальности.

Если на первом этапе задача может решаться на базе достижений теории надежности сравнительно точно, то на втором этапе решение задачи при проектировании производится приближенно. Эти приближенные экономические оценки уточняются на последующих стадиях проектирования по мере конструктивной проработки и освоения производства детали с привлечением более точных методов расчетов и использованием достоверных технологических, производственных и эксплуатационных данных.

Стоимость изготовления на этапе проектирования удобно определять в виде функции показателя, характеризующего надежность. Стоимость изготовления представлена степенной функцией запаса прочности конструкции, например, в виде

$$C_u = C_0 n^\gamma,$$

где C_0 и γ – коэффициенты, характеризующие зависимость стоимости от коэффициента запаса прочности. Здесь C_0 можно рассматривать как стоимость базовой детали, или как стоимость детали при коэффициенте запаса $n = 1$.

Известно представление стоимости в форме степенной зависимости от параметров объекта исследования, а также в виде степенной функции вероятности безотказной работы. Стоимость ремонтов за срок службы детали определяется суммой расходов на ремонты детали (плановые и неплановые) за этот период. Величина расходов зависит от трудоемкости ремонтных работ. При неплановых ремонтах к ним добавляются затраты на сборочно-разборочные работы по замене отказавшей детали и затраты, связанные с задержкой вагона. Оценкой количества отказов за определенный период времени является вероятность их наступления за это время. Тогда при известном среднем значении затрат на один ремонт C_{p1} ремонтные расходы за период времени t , связанные с обнаружением трещин при плановых ремонтах, составят

$$C_{pp} = C_{p1} Q_T(t) R_p,$$

где R_p – вероятность обнаружения трещины в плановом ремонте.

Если отказ обнаружен при осмотре поезда и деталь нуждается в неплановом ремонте, то ремонтные расходы за тот же период времени t составят

$$C_{pn} = (C_p + Z_n) Q_T(t) R_o,$$

где Z_n – затраты на неплановые операции; R_o – вероятность обнаружения трещины при осмотре.

Вероятность отказа $Q_T(t)$ рассчитывается по известным статистическим распределениям параметров нагруженности и характеристик прочности, контролирующих появление трещины в детали.

Для отказов, не устраняемых ремонтом, можно представить три случая. Во-первых, при деповском ремонте может быть обнаружена трещина недопустимых для ремонта размеров. При этом деталь подлежит отбраковке. Затраты оцениваются произведением стоимости детали C_u за вычетом ликвидационной стоимости Λ на вероятность этого события

$$Z_{БР.} = (C_u - \Lambda)Q_T(t)Q_{Т.бр.}^{усл.}(t)R_{Р.бр.}.$$

Во-вторых, если аналогичная трещина обнаруживается в период осмотров. В этом случае расходы запишутся в виде

$$Z_{Б.О.} = (C_u - \Lambda + Z_n)Q_T(t) \cdot Q_{Т.бр.}^{усл.}(t)R_{0.бр.}.$$

Здесь $Q_{Т.бр.}^{усл.}(t)$ – вероятность развития трещины до браковочных размеров, $R_{Р.бр.}$ и $R_{0.бр.}$ – вероятности обнаружения браковочных трещин в плановом ремонте и при осмотре. Причем, очевидно, что $R_{Р.бр.} > R_P$ и $R_{0.бр.} > R_0$, т.к. при браковочных размерах раскрытие берегов трещины на поверхности детали превышает 0,1 мм, а такие трещины доступны для визуального обнаружения. В-третьих, возможно разрушение детали. Затраты при этом равны сумме стоимости детали C_u и ущерба (прямого и косвенного), связанного с ее разрушением $U_{п}$ (закрытие перегона, вызов ремонтной бригады, ремонтные работы и др.) за вычетом ликвидационной стоимости Λ , умноженной на вероятность разрушения $Q_P(t)$

$$U = (C_u + U_{п} - \Lambda)Q_P(t).$$

Разрушение детали является событием, объединяющим два статистически несовместимых события. Одно из них заключается во внезапном разрушении целой детали при перегрузке. Другое событие заключается в разрушении целой детали по двухстадийному механизму, т.е. с образованием трещины, ее развитием и последующим доломом. В этом случае вероятность разрушения детали

$$Q_P(t) = Q_{РП}(t) + Q_{РТ}(t) = Q_{РП}(t) + [Q_{ТП}(t) + Q_{ТВ}(t)]Q_P^{усл.}(t).$$

При использовании модели (9) на стадии проектирования удобно перейти к безразмерным экономическим характеристикам, разделив их на стоимость базовой детали, или стоимость детали C_0 , имеющей коэффициент запаса прочности $n = 1$. Получение относительных стоимостных параметров оправдано тем, что

сравнительные экономические оценки на этапе проектирования являются более точными, т.к. снижают величину ошибки в условиях, когда прямое калькулирование неприменимо. Математическое выражение для удельных приведенных затрат $\tilde{З}$ записывается аналогично зависимости (9), причем в этом случае стоимостные параметры представляются в безразмерном виде:

$$\begin{aligned}\tilde{З} &= C_u(n_i) + (\tilde{C}_{np}R_p + \tilde{C}_{np}R_0) \sum_{t=1}^L [Q_{тп}(n;t) + Q_{ты}(n;t)] \alpha_t^{-1} + \tilde{U} \sum_{t=1}^L \{ [Q_{тп}(n;t) + Q_{ты}(n;t)] Q_p^{ysl}(n;t) + \\ &+ Q_{рп}(n;t) \} \alpha_t^{-1}; \\ \tilde{З} &= З / C_0; \tilde{C}_u = C_u / C_0; \tilde{C}_{np} = C_{np} / C_0; \tilde{C}_{np} = C_{np} / C_0; \tilde{U} = U / C_0 \\ \tilde{З} &= \tilde{C}(n_n; n_y; n_T) + [\tilde{C}_{п1}R_p + (\tilde{C}_{п1} + \tilde{З}_n)R_0] \sum_{t=1}^L [Q_{тп}(n_n;t) + Q_{ты}(n_y;t)] (1 + E_n)^{-t} + \\ &+ [(\tilde{C}_u - \tilde{\Lambda})R_{п.бп.} + (\tilde{C}_u - \tilde{\Lambda} + \tilde{З}_n)R_{о.бп.}] \cdot \sum_{t=1}^L [Q_{тп}(n_n;t) + Q_{ты}(n_y;t)] Q_{т.бп.}^{ysl}(t) (1 + E_n)^{-t} + \\ &+ (\tilde{C}_u + \tilde{U}_п - \tilde{\Lambda}) \sum_{t=1}^L \{ Q_{рп}(n_n;t) + [Q_{тп}(n_n;t) + Q_{ты}(n_y;t)] Q_p^{ysl}(t) \} (1 + E_n)^{-t}\end{aligned}$$

При использовании коэффициентов запасов прочности в качестве оптимизируемых переменных необходимо установить связь между вероятностью наступления рассматриваемого предельного состояния детали и соответствующим коэффициентом запаса при известных характеристиках рассеивания нагруженности и прочности. Коэффициент запаса по появлению трещины (надрыва) при перегрузке $n_{п}$ должен контролировать вероятность наступления этого предельного состояния $Q_{тп}$, коэффициент запаса по появлению усталостной трещины – вероятность $Q_{ты}$, коэффициент запаса по трещиностойкости n_T – вероятность Q_p^{ysl} . Вероятности рассчитываются по зависимостям (3) – (8) при известных параметрах рассеивания характеристик нагрузки и предельного состояния с учетом исследований [5].

Поскольку задача выбора уровня надежности, соответствующего минимуму суммарных приведенных затрат, решается в предположении о неизменности формы, размеров и внешних нагрузок для конкретной литой детали, т.е. при постоянных характеристиках нагруженности, то представляется возможным по найденным коэффициентам запаса определить статистические распределения механических характеристик, контролирующих каждый вид отказа. Например, по известному коэффициенту запаса по усталости n_y вероятность образования трещин

определяется при известных характеристиках рассеяния – коэффициенты вариации $g_{\sigma_{-1D}}$, $g_{\bar{\sigma}_a}$ по формуле

$$Q_{\text{ту}} = \Phi\left(\frac{1 - n_y}{\sqrt{g_{\sigma_{-1D}}^2 n_y^2 + g_{\bar{\sigma}_a}^2}}\right).$$

Величина среднего предела выносливости находится по зависимости

$$\bar{\sigma}_{-1D} = n\bar{\sigma}_y.$$

При распределении значений предела выносливости по нормальному закону параметры $\bar{\sigma}_{-1D}$ и $g_{\sigma_{-1D}}$ однозначно характеризуют это статистическое распределение.

Экономические компоненты математических моделей являются условно-постоянными величинами, сохраняющими свои значения в период пяти-семи лет, т.к. примерно за это время происходит корректировка нормативной базы. Поэтому выводы, сделанные на основе экономико-математической модели, справедливы при определенных экономических показателях и их соотношениях. Корректировка технико-экономических показателей приводит к необходимости корректировки выводов, сделанных на их базе.

Оценкой количества отказов литых деталей по рассматриваемому предельному состоянию является вероятность его наступления. Для расчета вероятности наступления отказа необходимо иметь статистические данные о характеристиках прочности, контролирующих переход к рассматриваемому предельному состоянию.

Таким образом, разработана методика обоснования уровня прочностной надежности литых деталей грузовых вагонов, заключающаяся в следующем.

1. Задача обоснования уровня прочностной надежности деталей грузовых вагонов железнодорожного подвижного состава рассматривается как обратная задача теории надежности, заключающаяся в определении таких параметров надежности, которые обеспечивают минимум выбранному критерию оптимальности.

2. В качестве критерия оптимальности выбрана сумма приведенных затрат на изготовление, ремонты и устранение последствий отказов литых вагонных деталей. С учетом принятых допущений о постоянстве характеристик нагруженности детали в качестве оптимизируемых переменных выбирались коэффициенты запаса прочности, контролирующие соответствующие вероятности наступления отказов.

3. Разработана математическая модель оптимизации объекта, в которой в отличие от известных моделей нашли отражение особенности эксплуатации литых деталей на грузовом вагоне, связанные с системой технического обслуживания и ремонтов, присутствие различных по физической природе отказов и двухстадийный процесс разрушения. Проанализированы вероятностные и стоимостные параметры модели и влияющие на них характеристики.

4. На следующем этапе одним из методов оптимизации определяются значения коэффициентов запаса, обеспечивающие минимум суммарных затрат. По известным зависимостям при подстановке найденных коэффициентов запаса определяются вероятности, отражающие оптимальный уровень надежности. Для данных параметров нагруженности по коэффициентам запаса находятся статистические распределения механических характеристик, обеспечивающих оптимальный с экономических позиций уровень надежности.

Список используемых источников

1. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 448 с.
2. Тимашев С.А. Надежность больших механических систем. М.: Наука, 1982. 182 с.
3. Труханов В.М., Матвеев А.М. Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла / под ред. В.М. Труханова. М.: Изд. дом «Спектр», 2012. 663 с.
4. Kostenko N.A., Tatarintsev V.A. Influence of overloads, cycle asymmetry, and moisture on the cyclic crack resistance of cast steels // Materials Science. 1987. Т. 23. № 2. С. 186-191.
5. Shlyushenkov A. P., Tatarintsev V. A., Val'kov Yu.Z. Modeling the fatigue failure processes in evaluating the reliability of machines and components / Strength of Materials. 1990. Т. 22. № 3. Р. 344-352.
6. Tatarintsev V.A., Tolstosheev A.K. Risk assessment and reliability of railwayrolling stock elements // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Proceedings international conference "Problems of applied mechanics". 2021. Р. 020005.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Токарев В.А. – аспирант, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова»

Токарева А.Е. – магистрант, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Кузнецов М.Д. – ученик, ОГАОУ «Шуховский лицей»

Научный руководитель: Высоцкая М.А. – к.т.н., доцент кафедры автомобильных и железных дорог имени А.М. Гридчина, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова»

Аннотация

В статье рассматривает применение методов машинного обучения, основанных на искусственных нейронных сетях, для решения актуальных задач в дорожном хозяйстве. Представлены примеры успешного применения искусственных нейронных сетей в конкретных проектах, а также перспективы дальнейшего развития данного направления. Работа ориентирована на специалистов в области дорожного хозяйства и машинного обучения.

В последние годы максимальный интерес различных отраслевых сообществ прикован к развитию и внедрению технологий, связанных с использованием искусственного интеллекта – ИИ.

Для удобства восприятия можно выделить важнейшие этапы в создании ИИ [7]. Промежуток времени до 1950-х годов можно считать первым этапом во время которого появлялись лишь предпосылки будущего изобретения [6]. Вторым этапом будут считаться 1950-е годы в которых происходило рождение ИИ. Важными событиями этого этапа являются статья «Вычислительные машины и разум» Алан Тьюринг, Дортмундская конференция, где впервые используется термин «искусственный интеллект» и закладываются основы для этой области исследований и программа Артура Сэмюэла, которая играла в шашки и была способна учиться на своих ошибках. Золотым веком ИИ по праву можно считать 1960-е–1970-е годы. В это время разрабатываются первые экспертные системы, способные решать задачи в узких областях (медицина, геология). А уже в 1970-е начинаются исследования в области машинного обучения, которое позволяет компьютерам учиться на данных без явного программирования.

Несмотря на ранний успех, исследования ИИ сталкиваются с трудностями в реализации более сложных задач, что приводит к сокращению финансирования в 1980-е годы [5].

После того как развитие вычислительной мощности, алгоритмов и доступности данных позволяет возобновить исследования в области ИИ разработки в этой области вновь становятся востребованными. В начале XXI века появляются новые методы машинного обучения, в том числе глубокого обучения, что приводит к прорывам в обработке изображений, речи и текста. На сегодняшний день ИИ становится всё более распространенным в различных сферах: от смартфонов и социальных сетей до медицины и дорожного строительства.

В рамках ИИ принято отдельно выделять искусственные нейронные сети – ИНС, которые в результате системного и динамичного совершенствования стали проникать во многие сферы жизни человека: от ленты подбора новостей и сайтов в зависимости от предпочтений пользователя в интернете до автоматизации отдельных строительных процессов. С профессиональной точки зрения, представляет интерес возможность использования ИНС в дорожной отрасли.

Искусственные нейронные сети (ИНС) – это специальные вычислительные системы, созданные для моделирования аналитических действий, совершаемых человеческим мозгом. Их уникальность заключается в том, что ИИ работает по принципу организации биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток человека, благодаря чему элементы системы обмениваются информацией подобно нейронам в мозгу человека.

Использованию ИНС в различных сегментах науки и производства предшествует длительное и многоэтапное обучение. Это сложный алгоритмический процесс, напоминающий обучение человека. В основе обучения лежит предоставление нейронной сети огромного массива данных – это могут быть тексты, изображения, аудиозаписи или комбинация различных типов данных. В общем виде, процесс обучения включает в себя несколько этапов. Сначала данные проходят предобработку: очистку от шумов, нормализацию и структурирование. Затем данные подаются на вход нейронной сети, которая состоит из множества взаимосвязанных узлов – нейронов, организованных в слои. Каждый нейрон обрабатывает информацию, используя математические функции, и передает результат на следующий слой. В процессе обучения сеть настраивает параметры этих функций (веса и смещения), минимизируя разницу между полученным результатом и эталонным значением. Это происходит итеративно: сеть

обрабатывает данные, сравнивает свой ответ с правильным, и корректирует свои параметры, чтобы приблизиться к желаемому результату. Подобный процесс называется обратным распространением ошибки (backpropagation). На этом этапе разработчик системно отслеживает производительность сети, вносит корректировки и улучшает ее работу. Только после многократных итераций и тщательной проверки можно считать, что ИНС готова к использованию в реальных условиях.

Существуют разные архитектуры ИНС, каждая из которых подходит для решения определенных типов задач. Например, сверточные нейронные сети (CNN) эффективно работают с изображениями, рекуррентные нейронные сети (RNN) – с последовательностями данных, такими как текст или временные ряды. Выбор архитектуры зависит от специфики задачи и доступных данных.

Если затрагивать дорожно-строительную отрасль, то ИНС уже применяются на дорогах общего пользования для идентификации и классификации транспортного потока. Нейросети анализируют данные, поступающие с камер видеонаблюдения, на основании которых способны выдавать в режиме реального времени местоположение автомобиля с определенным государственным регистрационным номером или состав транспортного потока на запрашиваемой автомобильной дороге.

Анализируя характер движения по необходимой для анализа дороге, ИНС способна прогнозировать не только трафик на дороге на месяцы или годы, но и возникновение ДТП в определенный период времени при заданных погодноклиматических условиях. В этом случае за основу берутся данные об уже совершенных ДТП на определенном участке автомобильной дороги со схожими геометрическими и транспортно-эксплуатационными параметрами при идентичных погодноклиматических условиях [3,4].

Итогом вышеперечисленных анализов, могут являться рекомендации, выдаваемые системой по организации дорожного движения на определенном участке автомобильной дороги, а также управление светофорными объектами в автоматизированном режиме.

В рамках использования ИНС в дорожной отрасли представляет интерес рассмотрение автономного комплекса ИИ от компании Softlogic (рис. 1.), который позволяет в автономном режиме собирать и получать данные о состоянии дорожной инфраструктуры на текущий момент времени [1].



Рис. 1. Работа автономного комплекса ИИ от Softlogic [1]

Комплекс представляет собой систему из камер и специальных блоков управления и анализа данных. За счет своей компактности комплекс может устанавливаться практически на любой автомобиль. ИИ считывает информацию, получаемую с камер, установленных на автомобиль, затем анализирует изображение и в режиме реального времени выявляет дефекты и оценивает состояние, например, дорожного покрытия, после чего дефекту присваивается геометка с помощью систем GPS и ГЛОНАСС для уточнения его расположения.

Система актуальна к использованию в случае:

1. Контроля состояния покрытия автомобильных дорог, посредством выявления дефектов дорожного покрытия: выбоин, ям, провалов и просадок покрытия, локальных нарушений ровности (пучин), пологих выбоин с наличием в них жидкости, трещин.
2. Анализа состояния обустройства автомобильной дороги, путем определения просадок канализационных люков на покрытии, повреждений или отсутствия бордюрных камней, состояния дорожных знаков, наличия рекламных билбордов, а также оценки степени износа дорожной разметки (рис. 2), искусственных дорожных неровностей, наличия неисправных систем уличного освещения и прочего.



Рис. 2. Пример работы комплекса по контролю состояния покрытия автомобильной дороги [1]

3. Необходимости обнаружения мусора, неочищенных участков дорожного покрытия от песка, грязи, листьев и прочего мусора в теплое время года. Комплекс может определять как крупные навалы мусора на покрытии или обочине, так и мелкий мусор (рис. 3).



Рис. 3. Пример работы системы обнаружения мусора [1]

4. Выполнения контроля качества содержания автомобильных дорог в зимний период. Система способна определять участки автомобильных дорог, неочищенных от снега и льда, а также места скопления не вывезенных на полигоны снежных навалов.

5. Распознавания государственных регистрационных знаков на автомобилях с необходимостью фиксирования местоположения. Выполняется отправка данных в геоинформационную систему, где производится проверка на совпадение геолокации автомобиля с геозонами, а также информацией о статусе парковочных пространств для транспортных средств, в случае запрещающего статуса, возможно вынесение постановления о правонарушении.

Таким образом, использование ИНС в дорожной отрасли является прогрессивным направлением развития, позволяющим автоматизировать и значительно облегчить процессы управления и организации дорожного движения в городских условиях, сбора и анализа данных о состоянии автомобильной дороги в рамках летнего и зимнего содержания [2].

В совокупности отмеченные преимущества ИНС нацелены на формирование безопасной и качественной среды для жизнеобеспечения населения в зоне городских транспортных магистралей и дорог общего пользования.

Список используемых источников

1. Автономный комплекс ИИ / Softlogic. [Электронный ресурс]. URL: https://softlogic.ai/solution/kontrol_odx (дата обращения: 20.10.2024).
2. Елшами М.М., Тиратурян А.Н., Углова Е.В. Прогнозирование ухудшения эксплуатационного состояния дорожных одежд с использованием алгоритмов искусственного интеллекта // Инженерный вестник Дона. 2022. №. 6 (90). С. 732-741.
3. Зикратова Т.В., Зикратов И.А. Применение нейронной сети для обнаружения аварийно-опасных ситуаций на дорогах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 2. С. 301-305.
4. Хамидулин Т.Г. Применение искусственных нейронных сетей в транспортной отрасли // Экономика и социум. 2019. № 4 (59). С. 851-858.
5. Jiang Y. et al. Quo vadis artificial intelligence? // Discover Artificial Intelligence. 2022. Т. 2. №. 1. С. 4.
6. O'Regan G. History of artificial intelligence // A Brief History of Computing. Cham: Springer International Publishing, 2021. С. 295-319.
7. Zhang C., Lu Y. Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects // Journal of Industrial Information Integration. 2021. Т. 23. С. 100224.

ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Тушминцев В.А. – аспирант, ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»

Аннотация

В статье рассматриваются ключевые проблемы развития грузовых перевозок на железнодорожном транспорте в современных условиях в РФ. Отдельное внимание авторы уделяют вопросам финансирования, управлению и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте в современных реалиях.

Железнодорожные грузоперевозки – это не просто один из видов транспорта, это настоящая артерия, по которой движется экономика страны. Для России с её огромными размерами и географическими особенностями железные дороги всегда

играли ключевую роль в обеспечении товарооборота. Однако с каждым годом ситуация меняется, и мы сталкиваемся с рядом проблем, которые мешают железнодорожным перевозкам оставаться на высоте. Вопрос, который стоит перед нами, прост: как решать эти проблемы? Какие шаги нужны для того, чтобы железнодорожный транспорт не только сохранил, но и укрепил свои позиции в системе грузоперевозок?

Грузовые железнодорожные перевозки в России – это сложная и многосоставная система, включающая инфраструктуру, подвижной состав, операционные процессы и законодательные механизмы [2]. Но, как бы банально это ни звучало, всё не так уж и просто. Давайте рассмотрим, с какими основными проблемами сталкивается эта отрасль в нашей стране.

Первая и, пожалуй, самая очевидная проблема – это износ инфраструктуры. Да, у нас есть огромная сеть железных дорог, но многие участки путей и другие инфраструктурные объекты давно требовали бы ремонта. Вспомните хотя бы старые мосты, которые, кажется, вот-вот обрушатся, или станции, которые были построены еще в советские времена и давно не отвечают современным требованиям.

Но проблема не только в возрасте. Многие маршруты перегружены, а их пропускная способность давно исчерпана [1]. Модернизация и расширение инфраструктуры требуют значительных инвестиций, но при этом, как показывает практика, реализация таких проектов часто сталкивается с бюрократическими препятствиями и недостаточным финансированием.

Не менее важным элементом является подвижной состав. На российских железных дорогах все ещё работает много старых локомотивов и вагонов, которые были изготовлены десятки лет назад [4]. Конечно, новые вагоны и локомотивы появляются, но их недостаточно для того, чтобы закрыть все потребности рынка. Например, многие участки продолжают обслуживаться локомотивами, которые не могут работать на высоких скоростях или с тяжёлыми грузами. Да и сам парк грузовых вагонов далеко не всегда удовлетворяет требованиям, особенно когда речь идет о специфических грузах.

А теперь подумайте: как все это влияет на сам процесс перевозки? Во-первых, старый подвижной состав требует большего количества времени на обслуживание, а во-вторых, замедляет общий процесс перевозки грузов, увеличивая сроки доставки.

Другая важная проблема – это перегрузка железнодорожных путей. В условиях, когда на некоторых участках грузопоток значительно увеличился, а инфраструктура не успевает за этим ростом, возникают частые задержки и простои [7]. К примеру, в Москве или на Транссибирской магистрали, где проходят основные грузопотоки, часто возникает «узкое место», когда несколько составов не могут одновременно пройти по одному участку дороги.

Кроме того, многое зависит от координации между различными участниками процесса: железнодорожниками, операторами, логистами и таможенниками. Нередко возникают ситуации, когда из-за неудачного распределения ресурсов один груз «ждёт» на складе, а другой – в пути, а в итоге и тот, и другой прибывают с задержкой [6].

Почему же проблемы с грузовыми перевозками не решаются так быстро, как нам хотелось бы? Ответ на этот вопрос довольно многогранен и охватывает как технические, так и организационные аспекты.

1. Нехватка инвестиций. Россия – страна с обширной сетью железных дорог, и поддержание этого огромного хозяйства требует колоссальных финансовых вложений. Однако при всем желании модернизировать инфраструктуру и подвижной состав, государство не всегда готово выделить необходимые средства.

2. Неэффективное управление. Как бы ни звучало это парадоксально, но сдерживающим фактором для развития железнодорожных перевозок является не столько отсутствие технологий, сколько проблемы в управлении. Это и дублирование функций, и бюрократия, и устаревшая система управления перевозками.

3. Технологическая отсталость. Несмотря на то что в России есть ряд передовых решений в сфере логистики и управления перевозками, в целом железнодорожная отрасль отстаёт в плане внедрения современных технологий. Цифровизация, автоматизация, внедрение «умных» систем управления движением поездов – всё это активно используется в Европе и США, но у нас внедряется с трудом [3].

Итак, что же можно сделать, чтобы улучшить ситуацию? Ответ очевиден – необходимо комплексно подходить к решению всех проблем, которые препятствуют нормальной работе железнодорожных грузоперевозок.

1. Модернизация инфраструктуры. Инвестировать в восстановление и модернизацию железнодорожной инфраструктуры. Это включает в себя

строительство новых путей, ремонт старых и расширение пропускной способности ключевых участков. Важно также обратить внимание на улучшение состояния мостов и станций, что поможет значительно повысить безопасность и эффективность перевозок.

2. Обновление подвижного состава. Старые локомотивы и вагоны необходимо заменять на более современные, энергоэффективные модели, которые смогут работать быстрее и с большим количеством груза. Важно также внедрять инновационные модели, которые будут способны работать с новыми видами грузов (например, с жидкими химикатами или опасными веществами).

3. Автоматизация и цифровизация. Внедрение современных технологий – это, пожалуй, один из самых перспективных путей улучшения работы железнодорожных грузоперевозок. Например, внедрение автоматизированных систем управления движением поездов позволит значительно сократить время простоя на путях и улучшить общую эффективность перевозок.

4. Оптимизация логистики. Совсем не лишним будет сосредоточиться на улучшении взаимодействия между различными участниками транспортной системы. Это не только повысит общую координацию и снизит задержки, но и сделает перевозки более прозрачными и предсказуемыми для всех сторон.

5. Государственная поддержка и частные инвестиции. Для решения реализации предложенных решений необходимо наладить взаимодействие между государственными структурами и частным сектором. Привлечение инвестиций и развитие государственно-частного партнерства позволят увеличить эффективность работы железных дорог совместно с решением ряда финансовых вопросов.

Без железнодорожных грузоперевозок невозможно представить эффективное функционирование множества отраслей, связанных с экономической системой Российской Федерации. Однако решить существующие проблемы на железной дороге, возможно благодаря внедрению новых технологий, модернизации инфраструктуры и обновление подвижного состава. Вопрос лишь в том, готовы ли мы вложиться в будущее, чтобы наши железные дороги оставались не только длинными, но и быстрыми, надежными и эффективными.

Список используемых источников

1. Бедрин Д.С. Трансформация методологии планирования и прогнозирования перевозок грузов на железнодорожном транспорте // БРНИ. 2020. №4. С. 5-22.

2. Воробьев И.М., Новичихин А.В., Ковалев К.Е. Конструктор формирования услуг доставки грузов железнодорожным транспортом на сети ОАО «РЖД» // Автоматика на транспорте. 2022. №4. С. 367-375.
3. Котенко А.Г., Сатторов С.Б. К вопросу усиления пропускной способности линии при введении ускоренных грузовых перевозок // Известия Транссиба. 2023. №4 (56). С. 44-54.
4. Мамаев Э.А., Сорокин Д.В. К оценке потенциала развития международного транспортного коридора «Север – Юг» // Известия Транссиба. 2020. №3 (43). С. 86-94.
5. Bhavsar N., Hassini E., Verma M., Rail-Truck intermodal transportation for dangerous goods // Transportation Research Procedia. 2025. Volume 82. P. 2766-2778.
6. Wang D., Xie C. A descriptive and prescriptive analysis of rail service subsidies in the China–Europe freight transportation market // International Journal of Transportation Science and Technology. 2024. P. 2-16.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Харлап А.А. – студент, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

Аннотация

В данной статье исследуются актуальные методы автоматизации управления городским общественным транспортом, включая применение интеллектуальных транспортных систем, технологий больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Рассматриваются как преимущества, так и трудности, связанные с реализацией автоматизированных систем, а также перспективы дальнейшего развития этой сферы.

Введение

Городской общественный транспорт – это не только автобусы, трамваи и метро. Это сложнейшая система, являющаяся критическим элементом инфраструктуры любого мегаполиса, напрямую влияющая на его экономическое процветание и качество жизни граждан. Эффективность этой системы – показатель уровня развития города. Хорошо функционирующий общественный транспорт привлекает инвестиции, способствует развитию бизнеса и повышает комфортность проживания. Однако реалии часто далеки от идеала. Многие города сталкиваются с хроническими проблемами, которые снижают эффективность и

привлекательность общественного транспорта. Неэффективное расписание, основанное на устаревших данных о пассажиропотоке, приводит к нерациональному использованию ресурсов и увеличению времени в пути для пассажиров. Заторы на дорогах, часто вызванные хаотичным движением личного транспорта, парализуют работу общественного транспорта, приводя к задержкам рейсов и раздражению пассажиров. Отсутствие гибкости в реагировании на изменяющиеся условия, внезапные дорожные происшествия, ремонтные работы, стихийные бедствия или просто резкий скачок пассажиропотока в непредсказуемое время усугубляет ситуацию.

Система работает по жесткому графику, не адаптируясь к реальной обстановке, что приводит к значительным потерям времени и ресурсов. Проблема выходит далеко за пределы простого неудобства для пассажиров [1]. Низкая эффективность общественного транспорта ведет к повышенным затратам на топливо, увеличению выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу, ухудшая экологическую обстановку в городе и негативно влияя на здоровье населения. Неудобство и длительное время ожидания толкают людей к использованию личного автотранспорта, что, в свою очередь, создаёт ещё большие пробки и замыкает порочный круг. Решение этой комплексной проблемы видится в автоматизации управления городским общественным транспортом. Это не просто внедрение цифровых технологий, а целый комплексный подход. Автоматизация управления является ключевым фактором для повышения эффективности и качества обслуживания пассажиров. Внедрение таких систем требует значительных инвестиций, но возврат от улучшения эффективности и снижения затрат будет многократно выше.

Цель данного исследования

Анализ современных подходов к автоматизации управления городским общественным транспортом и выявление перспективных направлений развития.

Материал исследования

В основу данного научного исследования вошли различные информационные ресурсы, содержащие в себе основные сведения по данной тематике. Чтобы получить полную характеристику данной отрасли, мы проанализировали литературу за последние года. Так, в работе Эльдарханова Э.Х. «Интегративное управление городским общественным транспортом» рассматриваются обстоятельства, влияющие на экономическую модернизацию данного аспекта. В

конце исследования автор делает вывод о том, что на данном этапе развития человечества необходимо качество и надежность транспортной системы.

Анализом данной системы выступало территориальное моделирование и аспекты в отрасли логистики транспортов. Основой для данного анализа стали исследования Блинкина М.Я. и полученные знания о трамвайных сетях и их технологических процессах. Данные исследования проводились с целью составления схемы транспортных сетей, а также выявления всех достоинств и недостатков.

Методика исследования

Методом в данном исследовании выступал анализ автоматизированных технологий, которые включали в себя исследовательскую литературу для дальнейшего выявления проблем и путей их решения.

Сравнения инноваций по функциональным данным тоже сыграло немаловажную роль в исследовании, также были взяты стоимости осуществления и реализации продукции, их эффективность. Методика проектирования была взята для анализа компьютерных моделей, которые имитировали работоспособность систем автоматизации и давали эффективную оценку их действиям.

Автоматизированное управление тесно связано с обслуживанием качества людей в транспорте. Из-за эффективной кристаллизации функций транзитники получают большое количество информации, и их поездка становится более комфортной [9]. Данный технологический процесс развивает аналитическое обслуживание и индивидуализирует заданные маршруты, а также различные акции, опираясь на предпочтения пассажиров для повышения качества удовлетворенности и благожелательности транспортных систем.

Внедрение новшеств предполагает внесение финансовых средств значительному обустройству процессов. Внесение всех новшеств несёт за собой большие убытки финансированию, вследствие чего пакет прикладных программ становится убытком городскому населению. Разработка финансирования несёт за собой решение данной проблемы, а также взаимодействие с предпринимательским сектором решит данные проблемы.

Безопасность в базе данных и конфиденциальность имеет немаловажную роль в структуре, про которую нельзя забывать и тщательно анализировать для исключения рисков безопасности. Транзитники, чьи данные обрабатываются сознательно и доверяют общественному транспорту, имеют все основания садиться на данный транспорт и чувствовать себя в безопасности.

Адаптация технологий к различным группам общества несёт за собой создание всеобъемлющей транспортной системы. Данная система увеличивает обслуживающий процесс: самообслуживающиеся узлы в аэропортах уменьшают ожидающееся время, билетные системы в транспорте ускоряют процесс оплаты.

Новшества анализируют и обрабатывают информацию о пассажирах в транспорте, вследствие чего происходит процесс разработки предложений, рассчитанных на все типы граждан и их предпочтения [7].

Технологические платформы имеют возможность для рассылки оповещений о возможных акциях и скидках, которые происходят в процессе анализа клиентов, вследствие чего увеличивается удовлетворенность предпочтений пользователей данных клиентов.

Данные программы быстро реагируют на все возможные и невозможные исходы. Употребление технологических процессов обработки большого потока данных зачастую способствует выявлению проблем до их реализации, а также предлагает решения, которые позволяют эффективно решать данную проблему.

Автоматизированное управление несёт за собой внесение множества преимуществ, при которых будут реализованы эффективность рабочего процесса, понижающиеся цены на товары и услуги, а также рост производительного трудового процесса. У данной системы есть свои сложности, например, частые первоначальные вложения средств в автоматизированные технологические процессы, обучение персонала, малые риски угроз в интернет безопасности и различные интеграции. Внедрение автоматизированных процессов несёт за собой рассчитанное планирование и контроль потребности конкретных организаций. Человеческий фактор, который обеспечивает внесения новшеств, а также авторизованные решения процессов работ имеют немаловажную роль [6].

Учитывая все вышеописанные факторы, автоматизированное управление достигнет обогащения организаций, заявленных вершин и результатов. К достоинствам данной системы можно отнести сниженные затраты, повышенную безопасность и процессы оптимизации.

Эффективное внедрение интеллектуальных транспортных систем, объемных данных и искусственного интеллекта в транспорт с общественностью влечет за собой комплексный подход, который будет учитывать выгоды и возможные риски данной системы. Ключевым вызовом выступает связь с инвестициями в инфраструктуру и программное обеспечение.

Финансовую загруженность на бюджет городских властей может вызвать частое программное обновление системы и программного обеспечения, которое поддерживает эффективность работы искусственного интеллекта. Для уменьшения финансовой нагрузки необходим стратегически разработанный план обеспечения бюджета, который может нести реализацию механизмов государственно-частного инвестора.

Важным фактором выступает обеспечение и соблюдение конфиденциальности информации личностных данных пассажиров общественного транспорта. Разработав общедоступную политику неразглашения данных, которые будут вызывать доверие общественности, можно добиться продуктивной транспортной инфраструктуры.

Разработки являются неотъемлемой частью улучшения транспортной инфраструктуры, эффективность напрямую влияет на адаптацию к различным потребностям людей. Многоцелевой подход может потерять свою эффективность, ограничить определенные группы общественности в использовании улучшенной транспортной разработки. Для того, чтобы это не стало проблемой, нужно учитывать специфику потребностей всех слоев общества, а также давать равный доступ преимуществам автоматизированного процесса.

Создавая инновационную транспортную систему, нужно предоставить весь спектр внимания к доступности цифровых услуг для пожилых людей. Данный аспект является важным шагом для повышения комфорта и безопасности всех потребителей транспортной инфраструктуры. Рационализация технического обслуживания является неотъемлемой частью в реализации эффективности транспортных систем. Реализация самообслуживающихся систем в аэропортах с биометрией уменьшает время ожидания для всех пассажиров, что особенно важно в аэропортах.

Общественный транспорт может продемонстрировать автоматизированные билетные системы, которые облегчают оплату и способствуют эффективному управлению потока граждан. Данные мероприятия снижают нагрузку и улучшают качество обслуживания.

Инновационные методы способствуют появлению новых методов для получения новых сведений о пользователях транспортом с целью построения персональных предложений.

Подобные платформы созданы как способ коммуникации с клиентами: в таких рассылках предлагаются различные выгодные предложения. Данные меры

помогают повышать лояльность пользователей. Также данные системы могут позволить компаниям взаимодействовать на неопределенные происшествия.

Согласованный подход, который будет учитывать преимущества и возможные риски, позволит достичь эффективности от автоматизации управления.

Новейшие технологии, такие как машинные интеллекты, открывают дальнейшую перспективу автоматизации в транспортной отрасли. Данная перспектива позволит предугадывать желания пассажиров и в дальнейшем оптимизировать расписание маршрутов, обеспечивая при этом рациональное использование ресурсов.

Заключение

Автоматизация, помимо всего вышеперечисленного, делает пребывание в транспорте более комфортным за счет разработок индивидуальных предложений, которые не только подстраиваются под каждого клиента, но и совершенствуют маршрутные пути, предлагая оптимальные решения, которые могут учитывать скорость, время, ситуацию на дороге. Внедрение в обиход транспортных средств с системами навигации представляет собой многофункциональное направление, которое может изменить городской транспорт. К тому же, необходимо брать в расчет потенциальные риски и создавать специальные нормы для безопасного внедрения инновационных технологий в транспортную отрасль.

Ключевой областью автоматизации общественного транспорта можно выделить независимые средства передвижения, вследствие которых снижаются аварии, а также уменьшается загрязнение и улучшается общественное движение. Однако для такой реализации нужно иметь множество вызовов, которые будут включать в себя безопасные и надежные системы управления и решение правовых вопросов.

В работе процессов автоматизации электротранспортной системы нужно помнить о социально-экономических изменениях. В них могут входить трансформируемые рынки труда, а также переобучение водителей всех транспортных компаний в процессе минимизации вредного воздействия на окружающую среду.

Когда встает вопрос о прогнозах будущего состояния и развития отрасли автоматизации в транспортной сфере, речь заходит про реализацию многообещающих планов, для совершения которых важно сочетать усилия разных профессий. Привлечение технологий машинного обучения в развитие

транспортной системы будет реализовано за счет создания единой базы, способной на самоуправление.

Неудобства внедрения автоматизированных систем тесно взаимосвязано с различными трудностями. К таковым можно отнести огромные первоначальные инвестиционные вложения, обеспеченность безопасностью в интернет сетях, адаптивность к комфорту в городах. Немаловажным фактором служит социальная открытость новшеств различных технологий для всего общества.

Опираясь на разработку гибких и эффективных методик управления, воздействия вредных факторов на окружающую среду, необходимо разработать гибкий план, придерживаясь которого можно реализовать все эти действия. Стабильный мониторинг систем и постепенное привыкание со стороны общества будет иметь ключевой фактор по внедрению транспортной инфраструктуры.

Постоянная разработка надежной системы необходима для улучшения ассимиляции комплектующих интеллектуальных систем транспорта, а также для появления некоторых стандартов, которые будут обеспечивать совместимости между системами. Создавая механизмы для доступности технологий и разрабатывая программы, обучающие сотрудников, можно достичь высоких показателей коэффициента полезного действия, используя и обслуживая данные системы. Важным фактором будет проведение экологической оценки и создание мероприятий по минимизации негативных факторов на природу.

Технологические и социально-экономические факторы, входящие во взаимодействие рынка труда и общественность, может раскрывать полные возможности автоматизации управления городского транспорта. Данное действие реализует устойчивую транспортную систему. Частый просмотр результатов и адаптация систем к изменениям общества является важным фактором, из которого исходит обратная связь с пользователями транспорта.

Список используемых источников

1. Бережной В.И. Систематизация логистических потоков и их аналитическое описание // Коммерция и логистика: сб. науч. Тр. Вып. 6 / под ред. Щербакова В.В., Парфенова А. В., Смирновой Е. А. СПб, 2007. С. 20-24.
2. Криницкий Е., Васильев В. Автомобильный транспорт в новой транспортной стратегии России // Автомобильный транспорт. 2004. № 5. С. 26-31.
3. Кузнецов А.С. Интеллектуальные транспортные системы: принципы и практика // Транспорт России. 2019. №5. С. 34-42.

4. Лавриков И.Н., Пеньшин Н. В. Транспортная логистика: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. 92 с.
5. Лукинский В.С., Шульженко Т.Г. Оценка эффективности вложений в логистическую инфраструктуру на основе интегрального метода экономического анализа // Логистика: Современные тенденции развития: материалы XI Междунар. Науч-практ. Конф. 19-20 апреля 2012 г. / ред. Кол В. С. Лукинский (отв. Ред.) и др. СПб, 2012. С. 188-192.
6. Макаров А.А., Веселов Ф.В. (2019). Роль научно-технического прогресса в развитии энергетики России. М.: ИНЭИ РАН, 252 с.
7. Макаров А.А., Митрова, Т.А., Кулагин В.А. (Ред.) (2019). Прогноз развития энергетики мира и России 2019. М.: ИНЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО, 210 с.
8. Мардас А.Н., Гуляева О.А. Эконометрические методы в прогнозной оценке стратегии развития производственно-экономической системы, Дискурс. 2018. № 1. С. 48-52.
9. Мардас А.Н., Кадиев И.Г., Гуляева О.А., Мардас Д.А. Эконометрические методы в стратегическом анализе производственно-экономических систем. СПб.: Изд-во СПб.ЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 154 с.
10. Миротин Л.Б., Ташбаев И.Э. Системный анализ в логистике: учебник. М.: Экзамен, 2017. 479 с.
11. Михеева Н.Н. (2016). Диверсификация структуры регионального хозяйства как стратегия роста: за и против. Регион: Экономика и социология, 4(92), 196-217. 8. Саенко В.В., Колпаков А.Ю., Семикашев В.В., Синяк Ю.В. (2017). Опыт анализа и прогнозирования энергетического сектора региона (на примере Тульской области). Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, 15, С. 234-255.
12. Орехов С.Ю. Геопространственное моделирование и автоматизация системы оптимизации трамвайных сетей Калининграда // Пространственное развитие территорий: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Белгород, 24 ноября 2023 года. Белгород: Эпицентр, 2023. С. 235-244. EDN BLNNOW.
13. Орехов С.Ю. Понятие и характеристика городского пассажирского транспорта как системы // Журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 2. С. 32-36.

14. Смирнов Е.И. Пространственное планирование и транспортное развитие города: теоретические и прикладные аспекты // Региональная экономика: теория и практика. 2017. №2. С. 45-53.

15. Цыбатов В.А. Стратегическое планирование энергоэффективного развития субъекта Российской Федерации // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 3. С. 941-954.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ IOT И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Хошимжонов А.А. – студент, Андижанский машиностроительный институт

Ибрагимова М.Н. – ассистент, Андижанский машиностроительный институт

Аннотация

В данной статье рассматривается роль интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и использование технологий Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ) в развитии транспортной инфраструктуры. Обсуждаются возможности IoT и ИИ для управления транспортными потоками, повышения безопасности, предотвращения аварий, улучшения экологической ситуации и интеграции автономных транспортных средств. Также внимание уделяется эффективному использованию ИТС в общественном транспорте, логистике и системах интеллектуальной парковки.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) играют ключевую роль в современном развитии транспортной инфраструктуры, значительно повышая безопасность, улучшая качество передвижения, ускоряя транспортные процессы и снижая негативное воздействие на окружающую среду. Развитие технологий Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ) представляет собой революцию в этой области, открывая новые возможности для создания умных решений в транспортных системах. Эти системы позволяют не только отслеживать и анализировать движение транспорта в реальном времени, но и адаптировать управление транспортными потоками, используя данные о состоянии дорог, погодных условиях и поведении водителей. Внедрение ИТС с использованием IoT и ИИ помогает улучшить координацию между различными транспортными

средствами и инфраструктурой, что способствует оптимизации маршрутов, снижению заторов и увеличению пропускной способности дорог [2].

Кроме того, такие системы способны предсказывать потенциальные аварийные ситуации и предоставлять водителям информацию о возможных рисках, снижая вероятность ДТП и повышая общую безопасность на дорогах. ИТС могут автоматически регулировать движение светофоров, настраивать скорость транспорта в зависимости от плотности потока и интегрировать автономные транспортные средства, создавая бесшовную сеть, способную эффективно работать без вмешательства человека. Внедрение ИТС также способствует сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу, поскольку оптимизация маршрутов и улучшение движения транспортных средств уменьшают время простоя и потребление топлива, что снижает углеродный след.

Развитие Интернета вещей (IoT) позволяет интегрировать огромное количество датчиков и сенсоров в транспортную инфраструктуру и транспортные средства. Например, датчики на светофорах и дорожных знаках могут собирать данные о текущем движении, погодных условиях, а также о других параметрах, которые могут повлиять на безопасность дорожного движения. Эти данные могут включать информацию о плотности потока транспорта, скорости движения, состоянии дорожного покрытия, уровне загрязнения воздуха и даже предсказания о потенциальных дорожных инцидентах, таких как аварии или застрявшие транспортные средства [1].

Транспортные средства, в свою очередь, оснащены различными датчиками, такими как GPS, камеры, датчики давления в шинах, датчики температуры и влажности, а также датчики движения и положения автомобиля. Данные, собранные с этих датчиков, позволяют не только отслеживать местоположение и состояние транспортного средства, но и мониторить его техническое состояние в реальном времени, например, уровень топлива, давление в шинах или износ тормозных колодок. Эти устройства также помогают системе обнаруживать неисправности и предупреждать водителей о необходимости обслуживания или ремонта, что способствует повышению безопасности и надежности транспортных средств.

Интеграция всех этих датчиков в единую систему позволяет создать взаимосвязанную сеть, где данные с инфраструктуры и транспортных средств могут обмениваться между собой, а также с центральными управляющими системами. Это позволяет оптимизировать управление движением, регулируя

светофоры, маршруты и скорость движения в зависимости от текущей ситуации на дорогах, а также дает возможность предсказывать возможные проблемы, такие как заторы или аварийные ситуации, и принимать оперативные меры для их предотвращения.

Интернет вещей (IoT) играет важную роль в создании умных дорог, которые могут адаптироваться под условия реального времени. Системы IoT позволяют встраивать сенсоры в дорожное покрытие, которые могут отслеживать плотность движения, состояние дороги, а также выявлять опасные участки, требующие ремонта. Эти сенсоры могут измерять параметры, такие как температура поверхности дороги, уровень износа, наличие трещин или ям, а также уровень влажности и скользкости, что позволяет оперативно выявлять потенциально опасные участки [1].

С помощью таких технологий можно не только контролировать состояние дорог, но и оперативно информировать водителей о дорожных условиях. Например, система может предупреждать о сильных дождях, гололеде или других неблагоприятных погодных условиях, которые могут повлиять на безопасность. В случае аварий на дороге система может сразу же оповестить водителей о закрытых участках и предложить альтернативные маршруты, что значительно уменьшает вероятность образования пробок и помогает избежать дополнительных аварий.

Кроме того, умные дороги, оснащенные IoT-сенсорами, могут автоматически регулировать дорожное освещение, активируя светильники в зависимости от плотности движения или времени суток, а также изменять работу светофоров в реальном времени, чтобы улучшить поток транспорта и снизить заторы. Все эти меры помогают не только улучшить безопасность на дорогах, но и повысить комфорт для водителей и пассажиров.

Интернет вещей также способствует более эффективному планированию и обслуживанию транспортной инфраструктуры. Благодаря данным с сенсоров можно заранее планировать ремонтные работы, выделяя приоритетные участки для ремонта и минимизируя время, в течение которого дороги остаются поврежденными.

Система IoT позволяет интегрировать различные устройства и сенсоры, работающие в тандеме с искусственным интеллектом (ИИ). ИИ используется для анализа и интерпретации данных, поступающих от устройств, и для принятия решений, которые помогают минимизировать заторы и повысить безопасность. Например, ИИ может предсказывать вероятность возникновения аварий на основе

анализа данных о плотности движения, погодных условиях и истории аварий. Это позволяет системе заблаговременно предупреждать водителей о возможных рисках, таких как внезапные изменения погодных условий, плохое состояние дороги или высокие нагрузки на определенные участки маршрута [4].

Система может автоматически регулировать светофоры, оптимизируя поток транспорта, а также изменять временные интервалы работы светофоров в зависимости от плотности движения. Если на каком-либо участке дороги наблюдается затор, ИИ может динамически перенастроить светофоры, чтобы обеспечить лучший поток транспорта и уменьшить время ожидания для водителей. Аналогично, система может адаптировать скорость движения на автомагистралях, основываясь на реальном времени и текущих условиях на дороге.

Кроме того, ИИ в сочетании с IoT может быть использован для мониторинга состояния транспортных средств, помогая выявлять неисправности и предупреждать водителей о возможных поломках до того, как они приведут к аварийной ситуации. Например, система может отслеживать температуру двигателя, давление в шинах, уровень топлива и другие параметры, которые влияют на безопасность и эффективность транспортировки.

Интеграция ИИ и IoT также играет важную роль в улучшении обслуживания инфраструктуры. На основе данных, поступающих от сенсоров, можно проводить анализ износа дорожного покрытия, оценивать необходимость ремонта и планировать работы таким образом, чтобы минимизировать влияние на движение и снизить заторы [1].

ИИ также может быть использован для создания более эффективных и безопасных беспилотных транспортных средств. Современные беспилотные автомобили оснащены различными датчиками и камерами, которые обеспечивают автономное вождение. Они анализируют окружающую среду и принимают решения по движению на основе данных, полученных в реальном времени. Эти технологии позволяют существенно снизить количество дорожно-транспортных происшествий, вызванных человеческим фактором, и повысить общую безопасность на дорогах.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) могут значительно улучшить управление общественным транспортом. С помощью IoT и ИИ можно отслеживать местоположение транспортных средств, таких как автобусы, трамваи и троллейбусы, а также получать информацию о состоянии инфраструктуры, например, о техническом состоянии остановок и станций. Сенсоры и устройства

IoT, встроенные в транспортные средства и инфраструктуру, передают данные о движении, а ИИ анализирует их, чтобы оптимизировать процессы и повысить эффективность работы системы [2].

ИИ позволяет оптимизировать расписания общественного транспорта, изменяя маршруты и время прибытия с учетом изменения трафика, погодных условий и других факторов, влияющих на движение. Например, если на каком-то участке дороги образуется затор или происходит авария, система может перенаправить автобус или трамвай по альтернативному маршруту, чтобы минимизировать задержки и обеспечить бесперебойное движение. Аналогично, в случае изменения погодных условий, таких как снегопад или сильный дождь, система может адаптировать график движения транспорта для обеспечения безопасности пассажиров и водителей.

Кроме того, ИТС с использованием IoT и ИИ могут обеспечить более точную информацию для пассажиров. Например, пассажиры могут получать в реальном времени обновления о времени прибытия транспортных средств, а также о задержках и изменениях маршрутов. Это позволяет пассажирам лучше планировать свое время и повышает удовлетворенность от использования общественного транспорта [5].

Интеллектуальные системы могут также мониторить состояние остановок и станций, например, обеспечивая бесперебойную работу информационных табло, систем оплаты и безопасности. В случае неисправностей система может своевременно уведомлять ответственные службы о необходимости ремонта, что способствует улучшению качества обслуживания.

Кроме того, использование технологий IoT и ИИ способствует улучшению экологической ситуации в городах. Умные системы могут отслеживать уровень выбросов углекислого газа и других загрязняющих веществ, а также контролировать уровень шума, что позволяет своевременно реагировать на экологические проблемы. ИИ может помочь в оптимизации транспортных потоков таким образом, чтобы снизить общее количество выбросов в атмосферу. Например, системы могут регулировать интенсивность движения в зависимости от времени суток или плотности трафика, что поможет уменьшить выбросы загрязняющих веществ.

Системы интеллектуальной парковки, использующие IoT, являются еще одной важной составляющей современных транспортных систем. Эти системы могут отслеживать доступность парковочных мест и помогать водителям находить

свободные парковки в реальном времени. Это позволяет сократить время, которое водители тратят на поиски парковки, и уменьшить заторы на дорогах. Внедрение умных парковок также способствует снижению уровня загрязнения воздуха, так как водители меньше времени проводят в поисках места для парковки [4].

Для того чтобы внедрение таких технологий было успешным, необходимо учитывать вопросы безопасности данных. Все устройства, подключенные к сети IoT, должны быть защищены от кибератак и несанкционированного доступа. Для этого необходимо использовать надежные системы шифрования и разработать эффективные методы защиты информации. Важно также соблюдать нормы и стандарты в области защиты данных, чтобы предотвратить утечку личной информации пользователей.

Развитие интеллектуальных транспортных систем с использованием IoT и ИИ невозможно без создания соответствующих стандартов и нормативных актов. На данный момент существует несколько международных и национальных стандартов, которые регулируют использование этих технологий в транспортных системах. Эти стандарты касаются различных аспектов, таких как безопасность данных, совместимость устройств, взаимодействие между транспортными средствами и инфраструктурой, а также этические и правовые вопросы, связанные с использованием ИИ в транспортных системах.

Однако для того, чтобы эти технологии были эффективными и безопасными, необходимо обеспечить глобальную координацию между государственными органами, частными компаниями и научными учреждениями. Согласование стандартов и нормативных актов на международном уровне позволит создать унифицированные требования и протоколы, что обеспечит совместимость различных систем и устройств, улучшит взаимодействие между странами и регионами, а также повысит безопасность и надежность транспортных систем. Разработка и внедрение этих стандартов будут способствовать успешной интеграции IoT и ИИ в транспортную инфраструктуру. Они помогут избежать потенциальных рисков, таких как утечка данных, проблемы с совместимостью или сбои в работе систем. Кроме того, создание четких и прозрачных нормативных актов обеспечит правовую защиту для пользователей и оператора систем, гарантируя соблюдение их прав и интересов.

Также важно учитывать, что внедрение интеллектуальных транспортных систем требует постоянного обновления и адаптации стандартов к быстро развивающимся технологиям. Научные учреждения и исследовательские

организации должны работать над разработкой новых методов и технологий, которые обеспечат эффективную работу ИТС в будущем, с учетом изменений в законодательстве, потребностей пользователей и новых угроз в области кибербезопасности [3].

Современные города сталкиваются с проблемой увеличения числа автомобилей, что приводит к заторам, загрязнению воздуха и повышению уровня шума. Интеллектуальные транспортные системы с использованием IoT и ИИ могут помочь решить эти проблемы, предлагая более эффективные решения для управления транспортными потоками и повышая безопасность на дорогах. В будущем такие системы могут значительно изменить лицо городов, сделав их более комфортными, безопасными и экологически чистыми.

Кроме того, ИТ-системы в транспортной инфраструктуре могут играть важную роль в улучшении логистики. С помощью IoT можно отслеживать местоположение грузовых транспортных средств, а также контролировать состояние перевозимых товаров, включая температуру и влажность в контейнерах. ИИ может оптимизировать маршруты для доставки товаров, учитывая не только текущую плотность движения, но и прогнозы погоды, что позволит снизить затраты на перевозку и повысить общую эффективность логистики [3].

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) играют ключевую роль в развитии современного транспортного сектора, обеспечивая повышение безопасности, улучшение качества передвижения и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение технологий Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ) в транспортные системы представляет собой революцию в сфере управления транспортными потоками, обеспечивая эффективность, безопасность и экологичность. Эти технологии позволяют интегрировать данные с различных сенсоров, установленных на транспорте и инфраструктуре, для анализа текущей ситуации в реальном времени и принятия оперативных решений [3].

Использование IoT и ИИ в ИТС позволяет не только предсказывать потенциальные аварийные ситуации и регулировать движение в зависимости от плотности потока и погодных условий, но и оптимизировать маршруты, улучшать качество обслуживания пассажиров и снижать выбросы вредных веществ. Кроме того, ИТС обеспечивают интеграцию автономных транспортных средств, что открывает новые возможности для беспилотных технологий и повышает общую безопасность.

Внедрение интеллектуальных систем на основе IoT и ИИ также способствует более эффективному управлению общественным транспортом, улучшению логистики и оптимизации парковочных решений. Система может оперативно адаптировать движение в зависимости от условий на дорогах и минимизировать заторы, что улучшает транспортную инфраструктуру и способствует созданию экологически чистых городов.

Однако для успешного внедрения таких технологий необходимо учитывать вопросы кибербезопасности, защищая устройства от несанкционированного доступа и кибератак. Важную роль в этом процессе играют международные и национальные стандарты, которые обеспечивают совместимость различных систем и безопасность данных.

В будущем интеллектуальные транспортные системы на основе IoT и ИИ смогут значительно изменить облик городов, сделав их более удобными, безопасными и экологически чистыми, и будут продолжать играть важную роль в решении проблем с загрязнением, заторами и повышением эффективности транспортной сети.

Список используемых источников

1. Грингард С. Интернет вещей: будущее уже здесь. М.: Альпина Пабlishер, 2017. 224 с.
2. Душкин Р.В. Интеллектуальные транспортные системы: справочник. М.: ДМК Пресс, 2020. 282 с.
3. Иванов Ф.Ф. Интеллектуальные транспортные системы. Минск: Белорусская наука, 2014. 215 с.
4. Картер Д. IoT Интернет вещей. М.: ЛитРес, 2021. 180 с.
5. Макаров С.Л. Arduino Uno и Raspberry Pi 3: от схемотехники к интернету вещей. М.: ДМК Пресс, 2019. 202 с.

УСТРАНЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СТАНЦИОННОЙ ДВУХСТОРОННЕЙ ПАРКОВОЙ СВЯЗИ

Худоногов И.А. – д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Антонов М.С. – аспирант, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Аннотация

В статье проанализированы типы повреждений и дефектов кабельных линий ДПС, приведено описание причин, приводящих к их возникновению, и рассмотрена технология ремонта. Также акцентируется внимание на диагностике неисправностей систем реализуемой парковой связи на станциях, посредством которой имеется возможность сокращения времени и трудозатрат линейных бригад на процесс определения и поиска расположения кабельных трасс на производственной местности.

Введение

Парковая связь громкоговорящего оповещения (ПСГО), реализуемая на железнодорожных станциях, предназначена для обеспечения безопасности движения поездов, труда сотрудников на полигоне и выполнения регламентных работ между дежурными по станционным путям (ДСП) и работающими на путях людей, включая составителей поездов. По этим причинам двухсторонняя парковая связь (ДПС) играет немаловажную роль в оперативном управлении перевозочным процессом.

Дефекты кабельных линий парковой связи могут приводить к отказам в инфраструктуре и к нарушениям технологических (производственных) процессов, таких как задержка поездов, травматизм персонала, сходы подвижного состава. Из-за этого компания несёт экономические издержки и имиджевые потери. Во избежание негативных последствий в эксплуатационной работе станций устройства громкого оповещения и информирования функционируют непрерывно, следовательно, они нуждаются в постоянной диагностике и профилактике. Устранением повреждений кабельных и фидерных линий занимаются ремонтно-восстановительные бригады (РВБ) региональных центров связи (РЦС). Аппаратура громкоговорящего оповещения подбирается и устанавливается для каждой станции отдельно [1].

Актуальность темы заключается в совершенствовании методик поиска, диагностики и ремонта повреждений кабельных линий связи. Затрагивает темы касательно влияний источников высоких напряжений на проводные линии связи.

Локализация мест повреждений и их ремонт

Система парковой связи в пределах станции реализуется при помощи размещаемой на постах электрической централизации (ЭЦ) оборудования УМК-4, в состав которого входят трансляционные усилительные блоки УТЦ, обеспечивающие усиление речевых сигналов до заданной электрической мощности и передачу сигнала на фидерные линии динамиков, а также на линию микрофона парковых переговорных устройств (ППУ) [6]. Схема организации громкоговорящей связи (ГГС) с линиями фидеров и ППУ показана на рисунке 1.

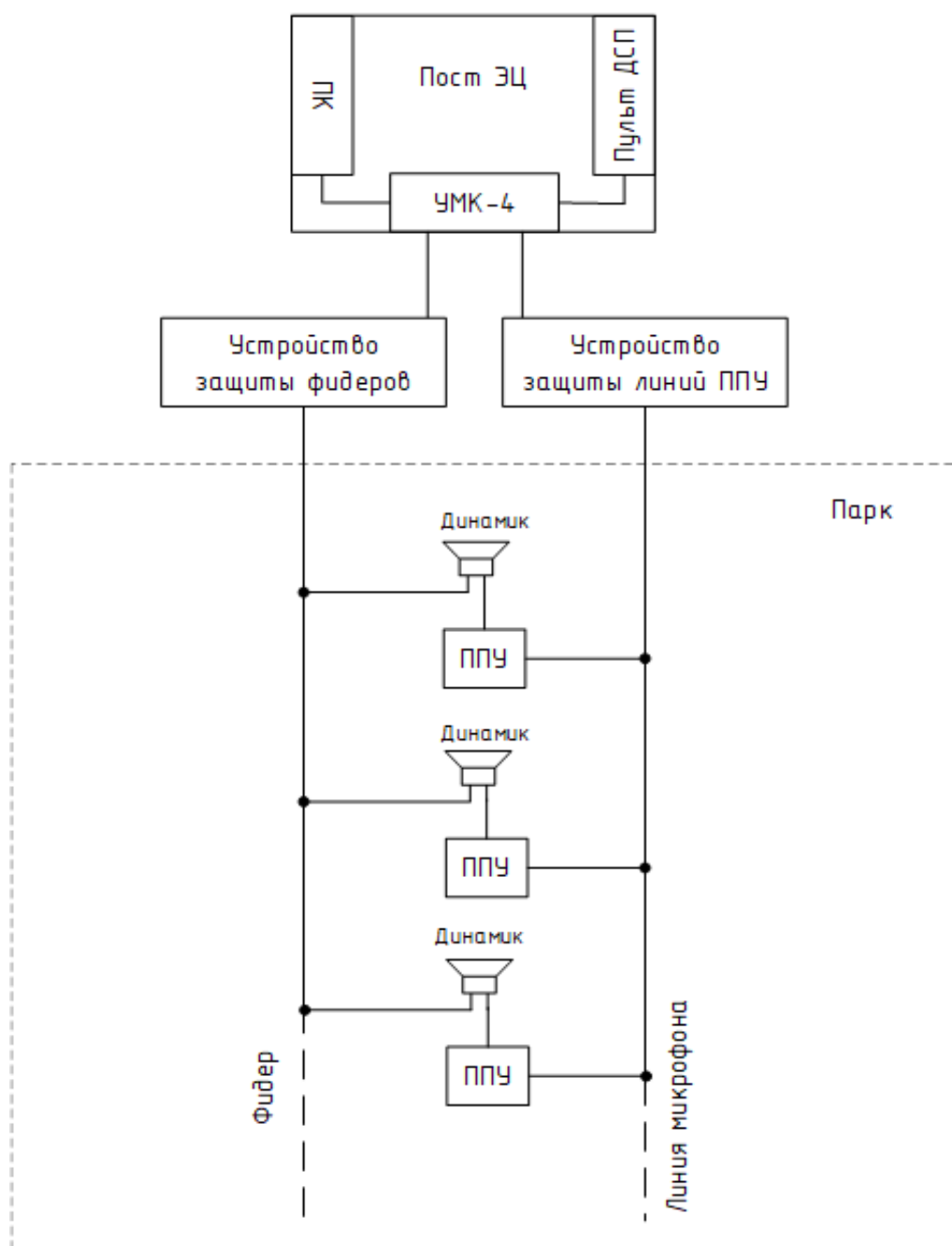


Рис. 1. Схема организации СДПС [6]

Кабельные линии громкого оповещения функционируют в неблагоприятной электромагнитной обстановке, что обуславливает возникновение помех, наведённых напряжений и токов в них. Эти факторы оказывают дестабилизирующее воздействие на защитные оболочки кабелей, приводящее к её деградации и последующему ухудшению изоляционных свойств. Природные факторы тоже влияют на разрушение конструкции кабелей, например, из-за перемещения грунта или слоёв почвы в местах пролегания кабелей происходит вытягивание жил или вовсе их разрыв. Грозовые разряды способствуют появлению блуждающих токов на оболочке, создавая тем самым разность потенциалов, что ведёт к нагреву или пробое изоляции [2].

Повреждения кабелей часто возникают в универсальных соединительных муфтах типа УПМ, в которых при нарушении целостности герметизации и под влиянием неблагоприятных погодных факторов внешней среды образуется коррозия жил вследствие высокой влажности. Внутренняя часть корпуса муфты загрязняется, тем самым ухудшается проводимость и понижается сопротивление изоляции контактов и клемм установленных колодок. Данный дефект можно определить при помощи импульсного рефлектометра, принцип работы которого основан на явлении отражении зондирующего импульса от неоднородностей волнового сопротивления контролируемого кабеля [3]. По полученной рефлектограмме будет видно либо понижение изоляции, либо обрыв жил. Пример неоднородностей, показанных на рефлектограмме, представлен на рисунке 2.

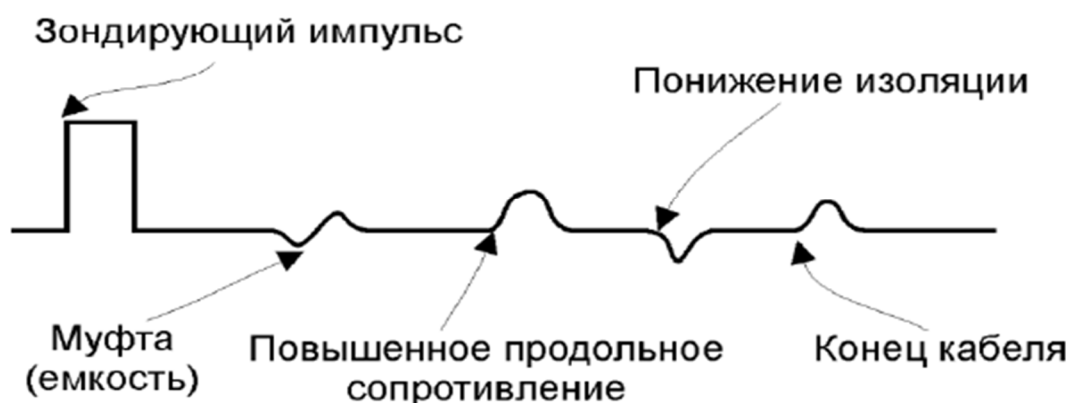


Рис. 2. Пример рефлектограммы [3]

После процедур измерения и того, как найдена повреждённая муфта, производится её чистка или профилактическое обслуживание. Затем проверяют сопротивление изоляции колодок, и если она ниже 5 гОм, то её демонтируют и впоследствии заменяют на исправную. К клеммам заменённой колодки

осуществляется коммутация жил согласно соответствующим схемам подключения [5].

Перед диагностикой кабельных линий двухсторонней парковой связи на посту ЭЦ необходимо отсоединить фидерную и микрофонную линии от усилительной установки. Далее омметром или мегаомметром производится измерение сопротивления изоляции жил кабелей соответствующих линий. Жилы фидера и микрофона задействуются не в одном кабеле, а в отдельных. Минимально допустимый показатель сопротивления изоляции должен составлять порядка 250 кОм. Если показатель будет ниже данного значения, то электромеханиками проводится трассировка кабелей в активном режиме, то есть, подаётся сигнал генератора в кабельную линию, а в парке производится поиск искомой линии посредством трассоискателя. При обнаружении кабельной линии с низким сопротивлением изоляции ищется причина – место повреждения. В зависимости от характера дефекта кабеля предпринимаются меры по его устранению. Как правило, участок повреждения кабельной линии удаляется и устанавливается подземная свинцовая муфта, или соединительная УПМ, показанная на рисунке 3. В крайнем случае, при невозможности устранения дефекта и неработоспособности кабельной линии, она полностью подлежит замене [4].

Также распространена практика замены определённых участков кабеля, которые имеют устойчивые (не самоустраняющиеся) повреждения, на целые методом спайки жил между собой и установкой оконечных муфт.



Рис. 3. Кабельная муфта универсальная УПМ – 24 с колодками [4]

Развитие инфраструктуры связи на предприятиях железнодорожного транспорта происходит неравномерно в зависимости от регионов страны.

Неплановый ход исполнения утверждённых стратегий по модернизации технической базы холдинга обусловлен как экономическими факторами внутри государства, так и политическими. Следует отметить, что благодаря рационализаторской деятельности, широко используемой среди трудящегося персонала и поощряемой руководством, происходит минимизация сбоев в движении, удержание высокой отказоустойчивости и продолжительной работоспособности железнодорожных транспортно-логистических комплексов.

Например, механиками одного из контрольно-ремонтного пункта (КРП) сети железных дорог был предложен проектный метод точного определения места повреждения кабельной линии, основанный на принципе создания мощного электромагнитного поля при помощи внешнего портативного источника излучения на повреждённом кабеле. Следовательно, это приведёт к образованию искажений и неоднородностей на жилах, которые можно фиксировать в процессе измерения кабельными приборами – рефлектометрами. По полученной импульсным способом рефлектограмме будут отслеживаться искусственно созданные излучателем помехи на кабельной линии. И при перемещении внешнего источника по линии, можно наблюдать приближение или отдаление искажений к искомому месту повреждения.

Таким образом, данный метод теоретически способен значительно упростить операции по поиску неисправностей кабелей, предотвращая большие потери времени ремонтных бригад на раскопку траншей и прочие земляные работы [7].

Заключение

Подводя итог, можно отметить, что поиск и устранение повреждений кабельных линий, в частности, ДПС является главной задачей, стоящей перед железнодорожной инфраструктурой, чтобы обеспечить надёжность, качество и безопасность перевозочного процесса в рамках ОАО «РЖД». Модернизация энергетических систем транспорта железных дорог, контактных и тяговых сетей, непосредственно, способствуют появлению новых препятствий в виде электромагнитных помех. Естественно, существующие методики и технологии обнаружения и исправления дефектов кабельных линий нуждаются в дальнейшем исследовании и совершенствовании.

Список используемых источников

1. Аппаратура станционной двухсторонней парковой связи с цифровой коммутацией для малых станций СДПС-Ц2 / old.stalenergo.ru. [Электронный ресурс]. URL: http://old.stalenergo.ru/?page_id=1795 (дата обращения: 03.01.2025).
2. Гуреев В., Попов Б., Попов В., Яблочкин К. Анализ методов поиска трассы и локализации мест повреждений полностью диэлектрического оптического кабеля // Первая миля. 2021. №8. С.26-31.
3. Кабельный прибор ИРК-ПРО Альфа. Руководство по эксплуатации / svpribor.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3Lc5pF> (дата обращения: 02.01.2025).
4. Методы определения места повреждения кабельных линий / Компания «Малахит». [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3Lc5tH> (дата обращения: 09.01.2025).
5. Монтаж и эксплуатация электрических сетей. Определение мест повреждений кабельных линий / elektro-montagnik.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3Lc5xN> (дата обращения: 10.01.2025).
6. Организация двусторонней парковой связи / Студопедия. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3Lc622> (дата обращения: 02.01.2025).
7. Тузов Г.А. Трассопоиск и электронная маркировка подземных инженерных сетей / Связькомплект. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3Lc63x> (дата обращения: 10.01.2025).

ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОФФШОРНОЙ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Аль Уатик Х.С. – аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Пронин С.П. – д.т.н, профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Аннотация

Оффшорные ветровые электростанции играют ключевую роль в переходе на возобновляемые источники энергии, однако их эксплуатация осложняется удалённым расположением и суровыми природными условиями. В исследовании представлена система предиктивного обслуживания, повышающая надёжность и эффективность таких объектов. Рассмотрены этапы реализации: сбор данных, их обработка, разработка моделей и интеграция системы. Результаты показывают снижение затрат, сокращение простоев и повышение производительности, подтверждая ценность предиктивного подхода для устойчивой энергетики.

Введение

Оффшорные ветровые электростанции являются важным элементом в переходе на возобновляемые источники энергии. Они обеспечивают стабильный и экологически чистый источник электроэнергии, внося значительный вклад в снижение выбросов углекислого газа и диверсификацию мирового энергетического баланса [2]. Однако их эксплуатация сопряжена с рядом серьёзных вызовов.

Удалённое расположение объектов в морской акватории и воздействие экстремальных условий, включая сильные ветры, коррозию от солёной воды и температурные перепады, ускоряют износ ключевых компонентов, таких как редукторы, генераторы и лопасти роторов. Эти факторы делают традиционные подходы к техническому обслуживанию, такие как плановые осмотры и реактивные ремонты, малоэффективными [3]. В результате возникают незапланированные простои, значительные экономические потери и сложности с логистикой ремонтных работ.

Предиктивное обслуживание, использующее методы анализа данных и алгоритмы машинного обучения для прогнозирования потенциальных отказов, предлагает эффективное решение этих проблем [6]. Такие системы позволяют

снижать частоту простоев, оптимизировать техническое обслуживание и сокращать расходы, повышая надёжность и производительность объектов.

В данной статье рассмотрено внедрение системы предиктивного обслуживания на оффшорной ветровой электростанции. Подробно описаны ключевые этапы проекта, включая сбор данных, их обработку, разработку моделей прогнозирования и интеграцию системы в инфраструктуру объекта. Также уделено внимание основным вызовам и подходам к их решению. Полученные результаты демонстрируют практическую значимость предиктивного обслуживания для повышения эффективности работы и устойчивости в сфере возобновляемой энергетики.

Роль предиктивного обслуживания в энергетике

Оффшорные ветровые электростанции эксплуатируются в сложных условиях окружающей среды, включая сильные ветры, воздействие солёной воды и перепады температур. Эти факторы ускоряют износ критически важных компонентов, таких как редукторы, генераторы и лопасти роторов. Постоянное воздействие коррозии, вибрационных нагрузок и температурных перепадов значительно увеличивает вероятность отказов оборудования, создавая серьёзные вызовы для его обслуживания и поддержания надёжности.

Традиционные методы технического обслуживания, включающие плановые осмотры и реактивный ремонт, часто оказываются неэффективными в условиях эксплуатации оффшорных объектов [2]. Плановые проверки нередко не выявляют ранние признаки износа, а реактивные меры приводят к внезапным простоям и значительным финансовым потерям. Кроме того, удалённое расположение таких объектов усложняет логистику ремонта, требуя использования специализированного оборудования и судов [4].

Предиктивное обслуживание предлагает проактивный подход к решению этих проблем. Системы предиктивного обслуживания используют данные, поступающие в реальном времени с датчиков, установленных на турбинах. Ключевые параметры, такие как вибрация, температура и скорость вращения, анализируются для выявления ранних признаков износа или потенциальных отказов оборудования. Это позволяет планировать ремонтные работы до возникновения серьёзных неисправностей [5].

Преимущества предиктивного подхода включают повышение надёжности работы оборудования, оптимизацию графиков технического обслуживания и снижение эксплуатационных затрат. Благодаря сокращению внезапных отказов

увеличивается время безаварийной работы, что критически важно для экономической устойчивости оффшорных ветровых электростанций. Интеграция таких систем способствует созданию более эффективной и прибыльной инфраструктуры для производства экологически чистой энергии.

Стратегия внедрения

Внедрение системы предиктивного обслуживания включало несколько ключевых этапов, каждый из которых был направлен на создание эффективной инфраструктуры для прогнозирования отказов оборудования и оптимизации технического обслуживания.

На первом этапе осуществлялся сбор и интеграция данных. Датчики были установлены на критически важных компонентах турбин, таких как редукторы, генераторы и лопасти роторов. Эти устройства фиксировали параметры, включая температуру, вибрацию, скорость вращения и нагрузки. Данные передавались в реальном времени в центральную базу данных, где они объединялись с исторической информацией о техническом обслуживании и погодными данными. Такой подход обеспечивал создание комплексной аналитической базы, необходимой для разработки моделей прогнозирования (рис. 1).

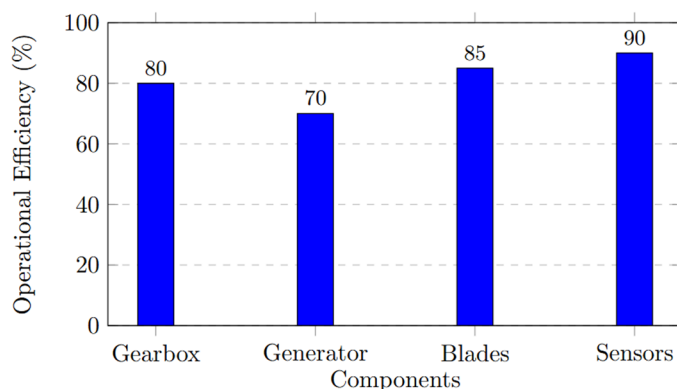


Рис. 1. Процесс сбора и интеграции данных [1]

Предобработка данных и выделение признаков

На втором этапе сырые данные подвергались предобработке для устранения шума и удаления нерелевантной информации. Этот процесс включал фильтрацию выбросов, устранение пропущенных значений и нормализацию данных для обеспечения их однородности.

После предобработки был выполнен этап выделения признаков (feature engineering), направленный на извлечение значимых закономерностей из данных. Среди базовых характеристик рассчитывались средние значения, дисперсия и

асимметрия сигналов. Более сложные методы анализа включали спектральный анализ вибрационных сигналов, позволяющий выявить частотные компоненты, связанные с износом механизмов. Дополнительно применялись методы временных рядов для анализа трендов и обнаружения аномалий [4].

$$\text{Признак} = \text{Спектральная плотность мощности} \times \frac{\text{Среднее значение}}{\text{Стандартное отклонение}}$$

Разработка моделей

Третий этап включал разработку и оценку моделей машинного обучения для прогнозирования отказов оборудования. Были рассмотрены как традиционные алгоритмы, такие как Random Forest и метод опорных векторов (SVM), так и более продвинутые подходы, включая свёрточные нейронные сети (CNN) и сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM).

Эти модели обучались на исторических данных, включающих как нормальные, так и аварийные состояния оборудования. Для проверки их точности использовались отдельные тестовые наборы данных. Особое внимание уделялось сравнению моделей по ключевым метрикам, включая точность, полноту и F1-меру (рис. 2). Среди продвинутых моделей LSTM показала лучшие результаты в прогнозировании отказов, связанных с временными зависимостями, в то время как CNN эффективно справлялась с анализом сложных вибрационных сигналов [1].

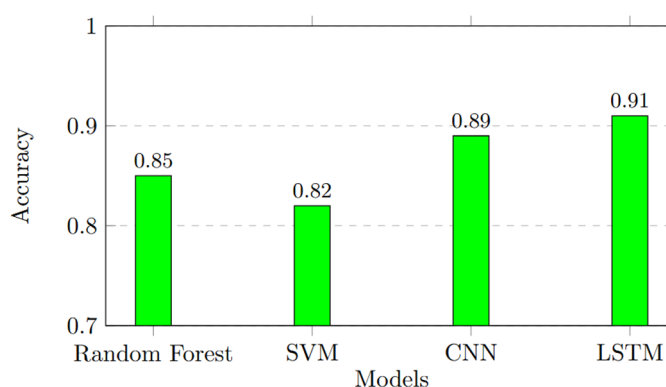


Рис. 2. Сравнение производительности предиктивных моделей [1]

Реализация системы предиктивного обслуживания

Завершающим этапом стало внедрение системы и её интеграция с существующей инфраструктурой. Система предиктивного обслуживания была развернута на платформе управления ветровой электростанцией, где она отслеживала операционные данные в режиме реального времени. Уведомления о

прогнозируемых отказах классифицировались по уровням серьёзности, позволяя технической команде приоритизировать ремонтные работы.

Для повышения эффективности была реализована система обратной связи. Результаты обслуживания и текущие данные о состоянии оборудования использовались для периодического обновления и переобучения моделей. Этот адаптивный подход обеспечивал улучшение точности прогнозов с увеличением объёма доступных данных.

В результате реализации всех этапов система предиктивного обслуживания интегрировалась в существующую инфраструктуру, что позволило минимизировать незапланированные простои, сократить затраты на обслуживание и повысить надёжность оборудования. Эти достижения подтвердили эффективность данного подхода в условиях сложной эксплуатации оффшорных ветровых электростанций.

Вызовы реализации и подходы к их решению

Реализация системы предиктивного обслуживания сопровождалась несколькими ключевыми вызовами, требующими эффективных решений.

Основной проблемой стало качество и доступность данных. Удалённое расположение объектов и нестабильное Интернет-соединение создавали риски потери информации. Для их минимизации использовались локальные хранилища данных и функции обработки на месте. Это обеспечило непрерывный сбор информации даже при отсутствии подключения. Система синхронизации автоматически загружала данные в центральную базу по мере восстановления соединения, что гарантировало полноту информации, необходимую для корректной работы моделей [4].

Ещё одним вызовом была сложность интерпретации прогнозов. Высокая точность моделей требовала создания интерфейса, который бы помогал техническому персоналу быстро понимать причины отказов. Для этого была разработана визуальная панель, отображающая не только прогнозы, но и ключевые параметры, влияющие на них. Это упростило процесс принятия решений и позволило более эффективно распределять ресурсы [6].

Интеграция системы с существующей инфраструктурой, включая SCADA-системы, также вызвала трудности. Для их преодоления были созданы интерфейсы и протоколы обмена данными, что позволило использовать данные SCADA для повышения точности прогнозов. Новая система работала синхронно с существующими инструментами, сохраняя привычный рабочий процесс [5].

Эти меры позволили устранить основные препятствия, обеспечив надёжность системы, её адаптивность и высокую эффективность работы в условиях оффшорных ветровых электростанций.

Результаты внедрения и операционная эффективность

Внедрение системы предиктивного обслуживания привело к существенным улучшениям в работе оффшорной ветровой электростанции, подтвердив её практическую ценность и перспективы для широкого применения.

Основным результатом стало сокращение незапланированных простоев на 30%. Проактивное выявление признаков износа оборудования и предотвращение серьёзных отказов обеспечили более стабильную и эффективную работу станции. Это не только повысило производственные показатели, но и укрепило экономическую устойчивость объекта [3].

Кроме того, оптимизация графиков обслуживания и предотвращение катастрофических поломок позволили уменьшить затраты на обслуживание на 25%. Экономия достигнута за счёт сокращения дорогостоящих ремонтных операций и логистических расходов, связанных с доставкой запасных частей и ремонтных бригад на удалённые объекты [3].

Высокая точность прогнозов системы также способствовала повышению надёжности оборудования. Это увеличение доверия к стабильности работы станции привело к росту объёмов выработки электроэнергии и, как следствие, доходов (рис. 3). Надёжность оборудования и уверенность в его эксплуатации создают дополнительные преимущества для долгосрочного функционирования станции [5].

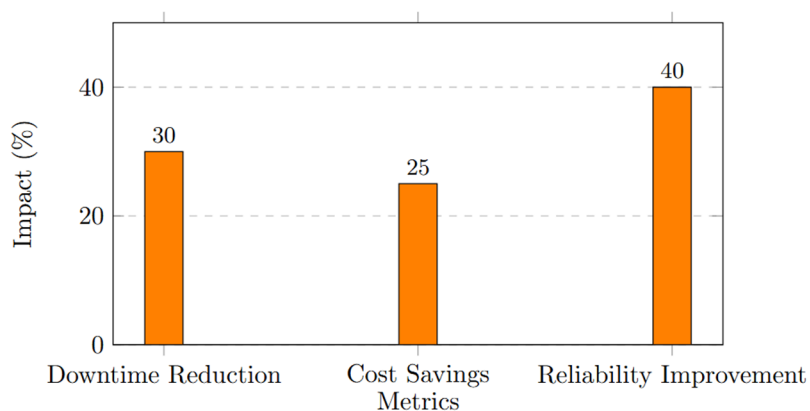


Рис. 3. Статистическое влияние предиктивного обслуживания на эффективность работы ветровой электростанции [1]

Комбинированный эффект от снижения простоев, экономии затрат и повышения надёжности демонстрирует значительное улучшение операционной эффективности станции. Эти результаты доказывают, что предиктивное обслуживание является ключевым инструментом для обеспечения успешной эксплуатации оффшорных ветровых электростанций и может быть рекомендовано для применения в других аналогичных проектах.

Заключение

Внедрение системы предиктивного обслуживания на оффшорной ветровой электростанции продемонстрировало высокий потенциал современных методов анализа данных и алгоритмов машинного обучения для повышения эффективности эксплуатации. Проактивный подход позволил существенно снизить простои, сократить расходы на обслуживание и повысить надёжность работы оборудования.

По мере развития сектора возобновляемой энергетики значимость предиктивного обслуживания продолжит расти. Такие технологии становятся ключевыми инструментами для обеспечения устойчивости и рентабельности оффшорных объектов [2]. В перспективе планируется совершенствование моделей прогнозирования, включая внедрение новых методов машинного обучения, таких как трансформеры, а также расширение функциональности системы для мониторинга других критически важных компонентов.

Результаты данного исследования могут служить ориентиром для других проектов, направленных на внедрение стратегий предиктивного обслуживания. Они также подчёркивают необходимость активного использования технологий искусственного интеллекта и Интернета вещей для достижения устойчивого развития и повышения экономической эффективности возобновляемой энергетики.

Список используемых источников

1. Al Ouatiq H. Transforming Predictive Maintenance in Gearboxes through AI: A Comparative Model Analysis // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции (21-23 ноября 2024 г.) I том, Кемерово / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: Д.М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. Кемерово, 2024. С. 498-501.

2. Goyal R. Advancements in Offshore Wind Energy Technology: Challenges and Opportunities for Sustainable Power Generation // Journal of Sustainable Solutions. 2024. Vol. 1. No. 1. P. 1-4. DOI: 10.36676/j.sust.sol.v1.i1.01.

3. Hassan Q., Algburi S., Sameen A.Z., Salman H.M., Jaszczur M. A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications // Results in Engineering. 2023. Vol. 20. Article No. 101621. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101621.

4. Meitz L., Heider M., Schýuler T., Hád'hner J. On Data-Preprocessing for Effective Predictive Maintenance on Multi-Purpose Machines // Proceedings of the 12th International Conference on Data Science, Technology and Applications (DATA 2023). 2023. P. 606-612.

5. Rababaah A.R. Comparative Study of Deep Learning Models Versus Machine Learning Models for Wind Turbine Intelligent Health Diagnosis Systems // Arab Journal of Science and Engineering. 2023. Vol. 48. P. 10875-10899. Tran T.N., Truong T.H., Tran T.V., Đào Q.K. An overview of the application of machine learning in predictive maintenance // Petrovietnam Journal. 2021. No. 10. P. 47-61.

АНАЛИЗ КЛАССОВ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ IP СЕТЕЙ

Батенков К. А. – д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Аннотация

Основываясь на параметрах качества функционирования сетей, использующих протокол IP, определены шесть основных классов качества функционирования IP сетей и два временных. Каждый из них задает комбинацию границ показателей качества, при этом любой поток, удовлетворяющий соответствующим требованиям, соотносится с определенным классом.

Рассмотрим параметры качества функционирования сетей, использующих *протокол IP* (internet protocol – протокол интернет) [3].

Задержка передачи IP пакета τ (IPTD – IP packet transfer delay) – время между двумя соседними событиями поступления или ухода пакета из узла сети, источника, получателя, линии связи, участка сети (сетевое облако) или их некоторой совокупности во времена t_1 и t_2 :

$$\tau = (t_2 - t_1),$$

где $t_2 > t_1$ и $(t_1 - t_2) \leq T_{max}$ [3].

Верхняя граница времени задержки T_{max} определяется исходя из события успешной передачи IP пакета – если задержка превышает это значение, то пакет считается потерянным. Рекомендованное значение $T_{max} = 3$ с, однако оно может быть изменено в случае исследования больших сетей.

Сквозная задержка передачи IP пакета (end-to-end IPTD) – односторонняя задержка передачи IP-пакета, измеренная между моментами ухода пакета из источника и доставки этого же пакета получателю.

Среднее значение задержки передачи IP пакета m_τ – арифметическое среднее задержек передачи IP пакетов для анализируемой совокупности:

$$m_\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad ($$

где τ_i – задержка передачи i -го IP пакета; n – объем исследуемой выборки (рассматриваются только доставленные пакеты).

Минимальное значение задержки передачи IP пакета b_τ – минимальное значение среди всех задержек передачи IP-пакетов для анализируемой совокупности:

$$b_\tau = \min_i \tau_i, i = 1, 2, \dots, n.$$

Данная величина включает задержки распространения и буферизации всей исследуемой совокупности пакетов. Вследствие этого данная величина может отличаться от теоретического минимума задержки передачи пакета между заданными точками сети.

Вариация задержки передачи IP пакета v (IP packet delay variation – IPDV) – разность между значением задержки передачи IP-пакета τ и статистической характеристикой задержки передачи исследуемой совокупности пакетов x_τ :

$$v = \tau - x_\tau,$$

где x_τ может быть, например, *средним значением передачи IP пакета m_τ* , *минимальным значением передачи IP-пакета b_τ* и другими статистическими характеристиками задержки.

Отметим, что распределение вариации задержки v идентично смещенному на величину статистической характеристики совокупности x_τ распределению задержки передачи τ . Кроме того, вариация задержки является двухточечной

характеристикой и в отличие от одноточечной измеряется относительно двух точек регистрации пакетов.

Квантиль вариации задержки передачи IP пакета v_h порядка h (h quantile of IPTD minus the minimum IPTD) – значение, при котором функция распределения вариации задержки передачи IP-пакета переходит от величин меньших h к величинам большим $h \in (0, 1)$ [2]. При условии упорядоченности в порядке не убывания задержек передачи τ_i , то есть если $\tau_{i+1} \geq \tau_i, i = 1, 2, \dots, n - 1$, квантиль вариации задержки передачи определяется следующим образом:

$$v_h = \tau_{[h \cdot n]} - b_\tau, \tau_{i+1} \geq \tau_i, i = 1, 2, \dots, n - 1,$$

где $[x]$ – округление в большую сторону числа x до ближайшего целого.

Коэффициент потери IP пакетов p_l (IP packet loss ratio – IPLR) – отношение числа потерянных IP пакетов n_l к общему числу переданных $n + n_l$ (объем исследуемой выборки определяется как сумма доставленных n и потерянных пакетов n_l):

$$p_l = \frac{n_l}{n + n_l}.$$

Потери пакетов могут быть вызваны как переполнением буферов маршрутизаторов на пути следования вследствие резких всплесков поступающей нагрузки, так и из-за возможных искажений бит в передаваемых пакетах.

Коэффициент ошибок в IP пакетах p_e (IP packet error ratio – IPER) – отношение числа принятых IP пакетов с ошибками n_e к общему числу принятых n (объем исследуемой выборки определяется как сумма успешно принятых пакетов $n - n_e$ и принятых с ошибками n_e):

$$p_e = \frac{n_e}{n}.$$

Ошибки при передаче пакетов могут возникать вследствие как плохой помеховой обстановки, так и сетевых факторов, вызванных неточностями процедур дефрагментации и инкапсуляции пакетов.

Коэффициент неупорядоченности IP пакетов p_r (IP packet reordered ratio – IPRR) – отношение числа непоследовательно принятых IP пакетов n_r (пришедших к получателю не в том порядке, в котором были переданы) к общему числу

успешно принятых $n - n_e$ (объем исследуемой выборки определяется как разность между общим числом принятых пакетов и принятыми с ошибками n_e):

$$p_r = \frac{n_r}{n - n_e}.$$

Подобное явление возникает, прежде всего, вследствие дейтаграммного режима доставки пакетов, что делает возможным их прохождение по различным маршрутам следования, возможно отличающимся временами задержки передачи.

Вообще удобно соотношения между пакетами представить графически (рисунок 1).

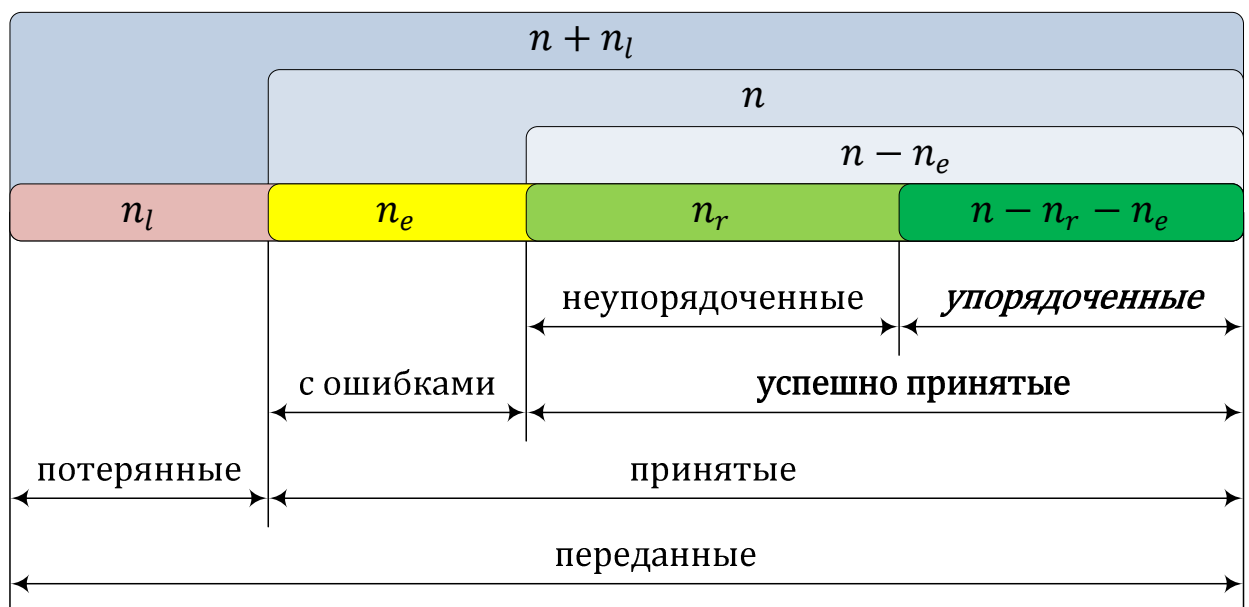


Рис. 1. Соотношения между передаваемыми пакетами

Источник: составлено автором

Основываясь на данных показателях, в [4] определены шесть основных классов качества функционирования IP сетей и два временных (табл. 1). Каждый из них задает комбинацию границ показателей качества [1]. При этом любой поток, удовлетворяющий соответствующим требованиям, соотносится с определенным классом. Отметим, что временные классы являются условными и их требования могут не соблюдаться существующими сетями связи до тех пор, пока границы показателей качества не будут уточнены на основе статистики действующих сетей [4].

Табл. 1

Классы качества функционирования IP сетей

параметр		IPTD	IPDV		IPLR	IPER	IPRR
граница		верхняя для среднего значения m_t , с	порядок квантиля h	верхняя для квантиля v_h , мс	верхняя для p_l	верхняя для p_e	верхняя для p_r
основные классы	0	0,1	0,999	50	10^{-3}	10^{-4}	—
	1	0,4	0,999	50	10^{-3}	10^{-4}	—
	2	0,1	0,999	—	10^{-3}	10^{-4}	—
	3	0,4	0,999	—	10^{-3}	10^{-4}	—
	4	1	0,999	—	10^{-3}	10^{-4}	—
	5	—	0,999	—	—	—	—
временные классы	6	0,1	0,99999	50	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}
	7	0,4	0,99999	50	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}

Источник: составлено автором

Пример.

Измеренные статистические данные для исследуемой IP сети приведены в табл. 2. Определить к какому классу IP сетей принадлежит рассматриваемая сеть.

Табл. 2

Статистические данные исследуемой IP сети

Средняя задержка передачи данной группы пакетов, с	Число принятых пакетов	Число пакетов, принятых с ошибками	Число неупорядоченных пакетов	Число потерянных пакетов
0,066	90060	0	0	45
0,108	20940	0	0	
0,12	83800	0	0	
0,267	79800	1	1	
0,318	80510	1	1	
0,474	52220	0	1	
0,664	62970	0	0	
0,698	91	0	0	
3,1	28	1	1	

Источник: составлено автором

Дано: $\tau_i, n_i, n_{e,i}, n_{r,i}, n'_i, i = 1, 2, \dots, n_g = 9$ (соответствующие столбцы табл. 2).

Найти: класс IP сети.

Первоначально определим среднюю задержку передачи пакета, основываясь на статистике табл. 2 (первый и второй столбец). Поскольку статистика приведена

в виде гистограммы, то формулу (1) необходимо несколько видоизменить. Кроме того, следует также учесть верхнюю границу времени задержки T_{max} , определяющую успешность передачи пакета. Поскольку рекомендованное значение $T_{max} = 3$ с, то пакеты, указанные в нижней строке табл. 2 оказываются непринятными. В результате общее число доставленных пакетов:

$$n = \sum_{i=1}^{n_g-1} n_i = 90060 + 20940 + 83800 + 79800 + 80510 + 52220 + 62970 + 91 = 470391.$$

При расчете средней задержки необходимо учитывать статистику не всей совокупности принятых пакетов, а только успешно принятых:

$$m_\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_g-1} n_i \cdot \tau_i = \frac{1}{470391} (90060 \cdot 0,066 + 20940 \cdot 0,108 + \\ + 83800 \cdot 0,12 + 79800 \cdot 0,267 + 80510 \cdot 0,318 + \\ + 52220 \cdot 0,474 + 62970 \cdot 0,664 + 91 \cdot 0,698) = 0,28 \text{ с.}$$

Отсюда сразу следует вывод, что сеть не может принадлежать ни к нулевому, ни ко второму, ни к шестому классу.

Порядок квантиля определить достаточно просто путем нормирования сумм числа принятых пакетов, а сам квантиль – как разность между соответствующим значением задержки и ее минимальным значением:

$$b_\tau = \min_i \tau_i = \tau_1 = 0,066 \text{ с,}$$

$$h_{n_g-1} = 1, h_j = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=j+1}^{n_g-1} n_i, j = 1, 2, \dots, n_g - 2,$$

$$v_{h_j} = \tau_{h_j} - b_\tau, j = 1, 2, \dots, n_g - 1:$$

$$h_8 = 1 - \frac{1}{470391} \cdot 0 = 1, v_{h_8} = v_1 = 0,698 - 0,066 = 0,632 \text{ с,}$$

$$h_7 = 1 - \frac{1}{470391} \cdot 91 = 0,99981, v_{h_7} = v_{0,99981} =$$

$$= 0,664 - 0,066 = 0,598 \text{ с.}$$

$$h_6 = 1 - \frac{1}{470391} \cdot (91 + 62970) = 0,866 \text{ с.}$$

Поскольку $h_6 < 0,999 < h_7$, а $h_7 < 0,99999 < h_8$, то оценки квантилей равны $v_{0,999} = v_{h_7} = 0,598 \text{ с}$ и $v_{0,99999} = v_{h_8} = 0,632 \text{ с}$. Откуда ясно, что классам 0, 1, 6 и 7 данная сеть не соответствует. Более наглядно соотношения между временными параметрами качества функционирования исследуемой сети представляются в виде гистограммы (рисунок 2).

Число непринятых, принятых с ошибками и неупорядоченных пакетов вычисляется с учетом верхней границы времени задержки T_{max} :

$$n_l = n'_l + n_{n_g} = 45 + 28 = 73,$$

$$n_e = \sum_{i=1}^{n_g-1} n_{e,i} = 0 + 0 + 0 + 1 + 1 + 0 + 0 + 0 = 2,$$

$$n_r = \sum_{i=1}^{n_g-1} n_{r,i} = 0 + 0 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0 = 3.$$

Соответствующие коэффициенты при этом равны:

$$p_l = \frac{n_l}{n+n_l} = \frac{73}{470391+73} = 1,55 \cdot 10^{-4},$$

$$p_e = \frac{n_e}{n} = \frac{2}{470391} = 4,25 \cdot 10^{-6},$$

$$p_r = \frac{n_r}{n-n_e} = \frac{3}{470391-2} = 6,38 \cdot 10^{-6}.$$

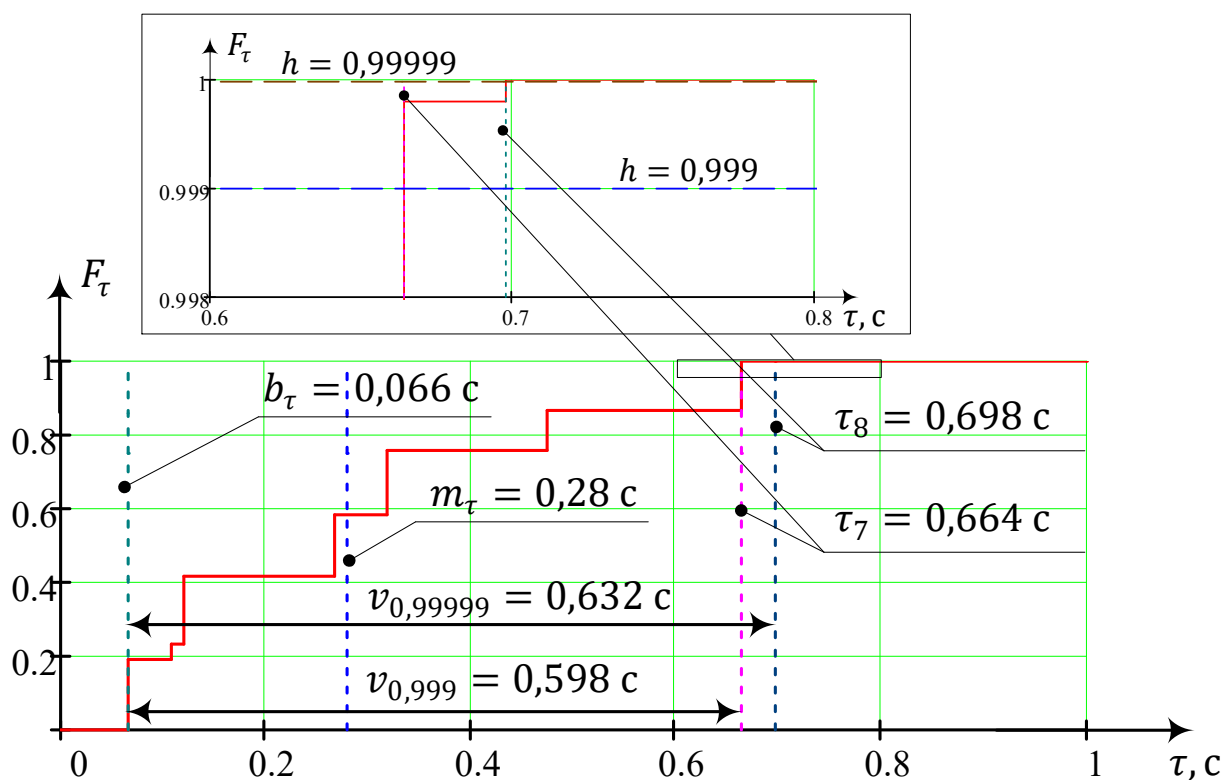


Рис. 2. Гистограмма функции распределения F_τ задержки передачи пакетов τ
 Источник: составлено автором

Исходя из данных показателей, сеть может принадлежать даже к нулевому классу, но не к шестому или седьмому. Однако ранее вычисленные показатели демонстрируют, что исследуемая сеть принадлежит к третьему классу (табл. 3 – зеленые поля означают соответствие, красные – несоответствие).

Табл. 3

Соответствие показателей качества функционирования исследуемой IP сети
 классам качества

параметр		IPTD	IPDV		IPLR	IPER	IPRR	Соответствие классу
		среднее значение m_τ, c	Квантиль $v_{0,999}, MC$	Квантиль $v_{0,99999}, MC$	Значение p_l	Значение p_e	Значение p_r	
показатель		0,28	598	632	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$4,25 \cdot 10^{-6}$	$6,38 \cdot 10^{-6}$	
основные классы	0	0,1	50	—	10^{-3}	10^{-4}	—	нет
	1	0,4	50	—	10^{-3}	10^{-4}	—	нет
	2	0,1	—	—	10^{-3}	10^{-4}	—	нет
	3	0,4	—	—	10^{-3}	10^{-4}	—	да
	4	1	—	—	10^{-3}	10^{-4}	—	да
	5	—	—	—	—	—	—	да

времен- ные классы	6	0,1	–	50	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}	нет
	7	0,4	–	50	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}	нет

Источник: составлено автором

Список используемых источников

1. Батенков А.А., Батенков К.А., Фокина А.Б. Вероятность связности телекоммуникационной сети на основе приведения нескольких событий несвязности к объединению независимых событий // Информационно-управляющие системы. 2021. № 6(115). С. 53-63.
2. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – 2-е изд., исправл. и дополн. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 496 с.
3. Rec. Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. 2011–03. Geneva: ITU-T, 2011. 52 p.
4. Rec. Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. 2006–02. Geneva: ITU-T, 2006. 50 p.

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМИНАЛОВ РЕЗИСТОРОВ ПО ИХ ЦВЕТОВОЙ МАРКИРОВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ EFFICIENTNET

Гайфуллин Н.М. – студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева»

Аннотация

В статье рассматривается система для автоматизированного определения номинала резисторов по их цветовым кодам с использованием нейросетевой архитектуры EfficientNet [1]. Основное внимание уделено описанию алгоритма работы системы, структуре нейросети EfficientNet и ее адаптация для поставленной задачи. Также рассматривается разработка методов, которые позволят системе работать в различных режимах работы [2], включая как стандартные условия, так и ситуации с переменными характеристиками изображений.

Введение

В настоящий момент автоматизация и цифровизация процессов являются одними из самых главных факторов повышения эффективности в различных областях, включая электронику. Одной из важных задач в этой сфере является

точное определение характеристик электронных компонентов, например, резисторов. Традиционные методы чтения цветовой маркировки резисторов, основанные на ручной интерпретации, подвержены ошибкам и требуют значительных временных затрат, особенно при работе с большими объёмами данных.

В данной работе рассматривается разработка системы для автоматизированного определения номиналов резисторов по их цветовой маркировке. В основе предложенного подхода лежит использование нейросетевой модели EfficientNet, которая зарекомендовала себя как мощный инструмент для анализа изображений. Система была адаптирована для работы с различными условиями съёмки и освещения, что повышает её универсальность и точность.

Целью исследования является создание высокоточной и надёжной системы, которая позволит оптимизировать процесс идентификации резисторов, минимизируя вероятность ошибок и обеспечивая удобство использования. В рамках работы подробно описаны этапы алгоритма, механизмы обработки цветовой информации, а также структура нейросетевой модели EfficientNet.

Алгоритм работы системы

Алгоритм работы системы состоит из нескольких последовательных этапов, направленных на точное распознавание и интерпретацию цветовой маркировки резисторов. Каждый этап способствует оптимизации обработки данных и повышению точности результата.

1) Получение изображения и предварительная обработка

На этом этапе система получает изображение резистора через пользовательский интерфейс. После получения оно проходит предварительную обработку, которая включает следующие операции:

- удаление шума: применение фильтров сглаживания и повышения резкости для устранения факторов, которые могут исказить цветовую маркировку;
- нормализация изображения: Приведение изображения к стандартным параметрам, таким как размер (224x224 пикселя) и цветовая коррекция в соответствии с требованиями модели EfficientNet;
- сегментация объекта: выделение области, содержащей резистор, и самое важное исключение фона, что повышает точность анализа.

2) Распознавание цветовой маркировки

После предварительной обработки изображение передается на сервер, где анализируются цветные полосы с использованием модели EfficientNet. Алгоритм

включает:

- сегментацию цвета: применение алгоритмов для выявления цветных полос;
- классификацию цветов: использование модели EfficientNet для классификации цветов на основе их RGB-характеристик

3) Интерпретация цветовых кодов и вычисление номинала
После классификации цветов система интерпретирует их в соответствии с установленными стандартами и преобразует последовательность цветов в номинал резистора. Этот процесс включает:

- сопоставление каждого цвета с его цифровым значением, множителем и допустимым отклонением;
- вычисление полного номинала резистора на основе последовательности цветов и правил кодирования.

4) Предоставление результата пользователю

На последнем этапе система предоставляет пользователю итоговую информацию, включая номинал резистора, допустимое отклонение и уровень уверенности в результатах. Также, если уровень уверенности ниже установленного порога, система может порекомендовать повторно сделать снимок.

Механизм различения и анализа цветов

Механизм различения и анализа цветов строится на последовательной обработке цветовой информации, начиная с преобразования изображения в оптимальное цветовое пространство и заканчивая классификацией цветов с использованием нейросетевых технологий. Это позволяет максимально точно различать цветовые полосы, исключая влияние внешних факторов, таких как освещённость, углы съёмки или качество изображения.

Цветовое пространство и его преобразование

Для работы с изображением система преобразует его из стандартного цветового пространства RGB в HSV, что повышает устойчивость к внешним условиям. В HSV:

- цветовой тон (Hue) определяет основной оттенок;
- насыщенность (Saturation) помогает выделить наиболее информативные области;
- яркость (Value) минимизирует влияние теней и бликов.

RGB-пространство, хотя и привычно, менее эффективно для анализа из-за сильной зависимости от яркости. Преобразование в HSV выделяет ключевые характеристики, устраняя вариации освещённости. На этом этапе каждый пиксель

перекодируется согласно формуле преобразования, что подготавливает данные для дальнейшего анализа.

Сегментация цветowych областей

На этапе сегментации выделяются области, соответствующие цветным полосам на резисторе. Используются:

- пороговая сегментация: задаются диапазоны значений оттенков для каждого цвета (например, жёлтый – 25-35°, красный – 0-10° и 350-360°);
- морфологическая обработка (эрозия, расширение): убираются шумы и объединяются разрозненные фрагменты в цельные области.

Система также учитывает насыщенность и яркость, чтобы исключить неподходящие области.

Извлечение и анализ характеристик полос

Каждая выделенная область анализируется по:

- среднему значению оттенка – сглаживаются факторы, снижается влияние шумов;
- насыщенности – исключаются блеклые и тёмные области;
- геометрическим параметрам – оценивается ширина, высота и соотношение сторон полос.

Пример анализа (табл. 1):

Табл. 1

Результаты анализа характеристик цветowych полос

Полоса	Цветовой тон (Hue)	Насыщенность (S)	Соотношение сторон	Надёжность (%)
1	30 (жёлтый)	0.85	1:4	98.5
2	0 (красный)	0.9	1:4	97.2
3	240 (синий)	0.8	1:4	96.8

Источник: составлено автором

Классификация цветов

Данные анализируются нейросетью EfficientNet, обученной на наборе изображений резисторов в разных условиях освещения. Это позволяет точно классифицировать полосы по стандартным цветам (чёрный, коричневый, красный, жёлтый и др.). Модель учитывает особенности цветowych пространств и компенсирует небольшие отклонения оттенков.

Обработка сложных случаев

Система справляется со сложными задачами, такими как:

- близкие значения оттенков соседних полос (например, коричневый и красный);
- последовательность и положение полос;
- контекст изображения анализируется полностью: области с низкой яркостью или насыщенностью исключаются, а пользователю может быть предложено улучшить условия съёмки.

Структура нейросети EfficientNet

EfficientNet – это современная архитектура сверточной нейронной сети, которая достигает высокой точности и производительности за счет эффективного масштабирования модели. Основные особенности структуры EfficientNet можно рассмотреть в следующей схеме (рис. 1) [3].



Рис. 1. Структура нейросети ResNet50 [3]

1) Входной слой

Первый слой выполняет свёртку 3x3 с применением шагов свёртки и объединения, что уменьшает размер изображения и извлекает базовые признаки.

2) Блоки MB Свёртки (MB - Mobile Inverted Bottleneck)

EfficientNet состоит из нескольких блоков MB Свёртки, которые используют свёртки с различными размерами ядер (3x3 или 5x5). Эти блоки включают механизмы расширения, сжатия и остаточные связи, что эффективно обрабатывает признаки на разных уровнях:

- блоки 1-7: Постепенное увеличение глубины сети и числа каналов для

выделения всё более сложных признаков;

– в каждом блоке используются свёртки с акцентом на экономию вычислительных ресурсов.

3) Распределение блоков

На схеме видно, что каждый блок содержит определенное количество операций МВ Свёртки, которые масштабируются в зависимости от уровня сети. Входное изображение последовательно обрабатывается через блоки, что позволяет поэтапно выделять признаки, начиная от локальных (крайние детали) до глобальных (структурные особенности объекта).

4) Выходной слой

После последнего блока МВ Свёртки [3] результаты обрабатываются с использованием свёртки 3×3 , формируя итоговую карту признаков, которая используется для окончательной классификации.

Таким образом, структура EfficientNet идеально подходит для точного и эффективного анализа изображений, что делает её отличным выбором для задач, связанных с распознаванием цветовой маркировки резисторов.

Точность распознавания

Точность системы была протестирована на выборке из 100 изображений резисторов, включающих цветовые коды различной сложности. Тестирование проводилось в условиях с различным уровнем освещения и углом съёмки. Полученные результаты были проанализированы и представлены в виде графиков (рис. 2)

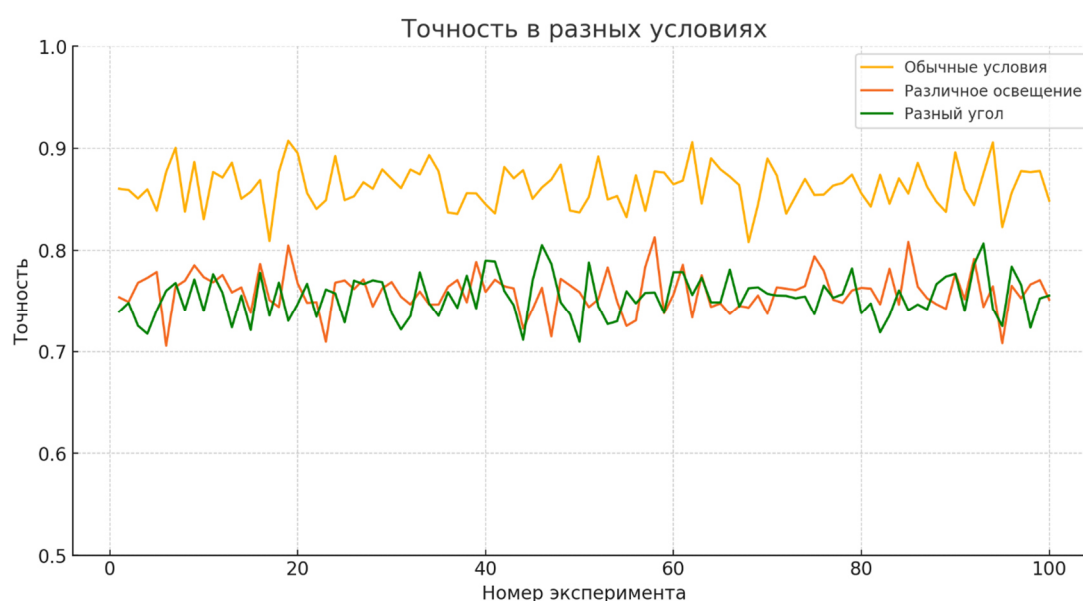


Рис. 2. График точности распознавания при различных условиях

Источник: составлено автором

Результаты показали:

1) Общая точность

– Модель EfficientNet обеспечила среднюю точность распознавания цветовых кодов на уровне 86%, что соответствует довольно высоким стандартам для задач анализа изображений.

2) Устойчивость к внешним условиям

– Система продемонстрировала стабильные результаты при изменении освещённости: точность снизилась не более чем на 10% в условиях низкой освещённости.

– Изменение угла съёмки до 30 градусов от фронтального положения привело к снижению точности на 13%, что остаётся в допустимых пределах.

3) Выявление ошибок

– В 80% случаев система корректно определяла наличие ошибок в распознавании цветовых кодов и уведомляла пользователя о необходимости повторного анализа.

Данные результаты подтверждают высокую надёжность и точность системы, что делает её пригодной для использования в реальных промышленных условиях.

Список используемых источников

1. Андриянов Н.А., Дементьев В.Е., Ташлинский А.Г. Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана-Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей // Компьютерная оптика. 2022. Т. 46, № 1. С. 139-159.

2. Денисов Е.С., Гайсин Н.Р., Хаирова А.Р. Нейросетевая система РЕЛАКСАЦИОННОЙ диагностики водородных топливных элементов // Южно-Сибирский научный вестник. 2023. № 1(47) С. 16-22.

3. Овсянников А.В. Методология классификации пород деревьев бореальных лесов с использованием архитектуры efficientnet искусственного интеллекта //Journal of Agriculture and Environment. 2024. Т. 45. №. 5.

4. Покрой А.А., Егоров А.Д. Эффективные сети для детектирования дипфейков: сравнение предварительно обученных моделей // 2021 Конференция молодых российских исследователей в области электротехники и электроники IEEE (ЭлКонРус). IEEE, 2021. С. 598-600.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ДЛЯ ИНСТИТУТА

Гейнц А.М., Филимонов А.А., Васёв Д.Э. – студенты, Трехгорный технологический институт, филиал ФГАОУ ВО «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»»

Лобанов В.С. – доцент кафедры «Экономика и управление», ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Аннотация

В статье рассматривается экономическая эффективность от разработки собственных систем контроля и управления доступом для образовательного учреждения. Основное внимание уделяется системам эвакуации и оповещения родителей. Анализируется себестоимость разработки и сравнивается с рыночными аналогами, подчеркивая экономическую эффективность и окупаемость инвестиций в собственные разработки.

В современном мире, где технологии развиваются с невероятной скоростью, вопросы безопасности и контроля становятся всё более актуальными для образовательных учреждений. Системы контроля и управления доступом (СКУД) играют ключевую роль в обеспечении безопасности студентов и персонала, а также в управлении потоками людей внутри учебных заведений. Разработка собственных СКУД представляется многим институтам как возможность не только повысить уровень безопасности, но и оптимизировать расходы.

Системы контроля доступа позволяют не только ограничивать доступ в определенные зоны, но и отслеживать перемещение людей по территории учреждения, что критически важно в условиях повышенных требований к безопасности. В данной статье мы рассмотрим экономическую целесообразность разработки двух систем: системы эвакуации и системы оповещения родителей о посещаемости их детей. Мы проанализируем полный цикл разработки, от концепции до реализации, сравним себестоимость с рыночными аналогами и оценим потенциальную экономию и преимущества, которые могут быть достигнуты благодаря внедрению собственных решений.

Актуальность и цели разработки

Для эффективного принятия решения в чрезвычайных ситуациях является актуальным использование современных технологий и программно-аппаратных комплексов. Разрабатываемые системы должны быть импортозависимыми, легко масштабируемыми, придерживаться концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» [1]. Это позволит не только обеспечить безопасность, но и создать основу для дальнейшего развития инфраструктуры образовательного учреждения.

Выделим главные цели:

1. Создание системы эвакуации, позволяющей быстро и эффективно направлять людей к безопасным выходам в случае чрезвычайной ситуации.
2. Разработка системы оповещения родителей о посещаемости их детей, что повысит уровень доверия и безопасности для родителей и студентов.
3. Анализ экономической эффективности и окупаемости собственных разработок по сравнению с рыночными аналогами.
4. Обеспечение интеграции с существующими системами безопасности и управления, что позволит создать единый комплексный подход к безопасности в образовательном учреждении.

Обзор существующих решений

Большинство предприятий в настоящий момент оснащено системой контроля и управления доступом. Проход людей с такими системами осуществляется с помощью бесконтактной идентификации транспондера при помощи радиочастотного канала связи. К сожалению, большинство подобных систем фиксируют местонахождение человека лишь при проходе в здание или при выходе из него. Использование столь распространенных аппаратных средств в кабинетах, в том числе образовательных учреждениях, позволит идентифицировать местоположение обучаемого в режиме реального времени.

На рынке существует несколько решений, однако они не всегда удовлетворяют требованиям образовательных учреждений. Например, системы, подобные TRASSIR, позволяют отслеживать видеонаблюдение, но не предоставляют комплексного решения для учета посещаемости и эвакуации. В результате, многие учреждения начинают рассматривать возможность разработки собственных систем, которые будут более адаптированы к их специфическим нуждам.

Существующие системы часто имеют высокую стоимость, требуют сложной настройки и не всегда интегрируются с другими системами безопасности. Это создает дополнительную нагрузку на бюджет образовательных учреждений, что делает разработку собственных решений более привлекательной.

Процесс разработки

Прототип аппаратной части реализован с использованием микроконтроллера ESP8266 с интерфейсом Wi-Fi и RFID считывателя RC522. Используемый микроконтроллер настроен на работу в общей сети организации и подключается к внутренней локальной сети с возможностью выхода в интернет (рис. 1).

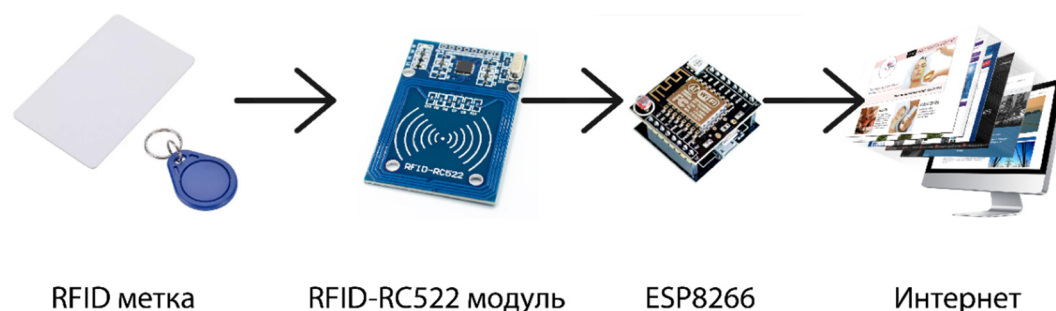


Рис. 1. Схема взаимодействия аппаратной части

Программная часть реализована на импортонезависимом стеке. Для хранения и обработки информации, необходимой для принятия решения, данные структурированы и размещаются в базе данных PostgreSQL. В целом веб-приложение имеет трехзвенную архитектуру и включает в себя клиентский слой, слой логики и слой данных (рис. 2).



Рис. 2. Схема взаимодействия слоев в веб приложении [2]

Сервер для обработки запросов/ответов реализован с помощью Node.js. Он поставляется с модулем http, который предоставляет набор функций и классов для построения HTTP-сервера. На слое логики реализовано получение данных о карте, запись о входе/выходе в кабинет. Интерфейс пользователя создан с помощью компонентов и реактивных свойств Vue.js.

На главной странице системы по эвакуации находится план эвакуации и меню с выбором этажа здания. Во время чрезвычайной ситуации происходит анализ нагрузки людей на какой-либо выход. Тем, кто находится в здании, приходит сообщение о том, в какую сторону нужно идти. Так, если несколько кабинетов относятся к одному выходу, но у него высокая загруженность, часть людей будет перенаправлена к другому проходу (рис. 3)

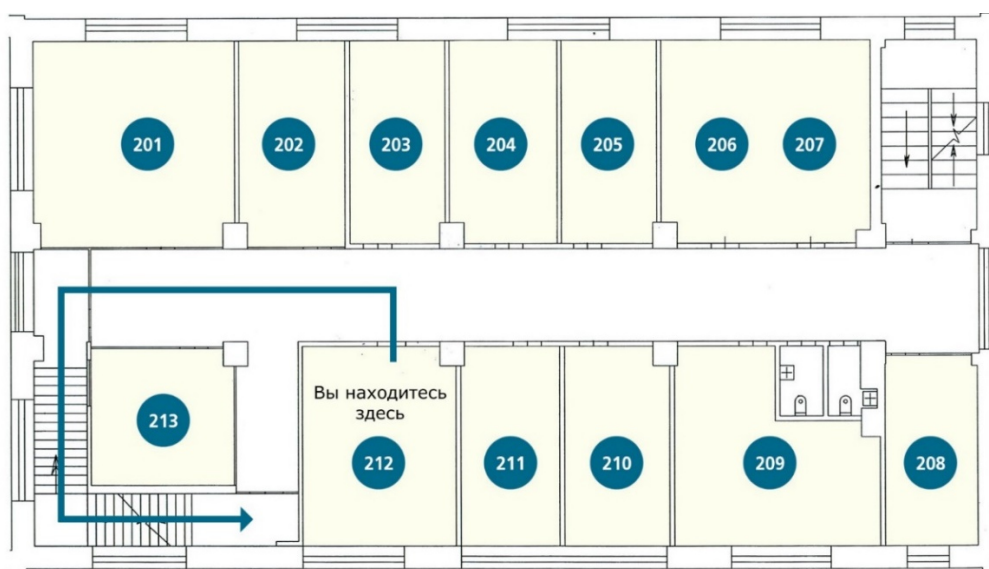


Рис. 3. Указатель пути

Источник: составлено автором

На главной странице системы по оповещению родителей представлено расписание студентов (рис. 4)

	Васев Д. Э.		
Расписание			
Посещаемость			
Личный кабинет			
Понедельник			
Время	Название занятия	Преподаватель	Кабинет
08:40-10:15	Программирование микроконтроллеров	Вебер В. А.	211
Вторник			
Время	Название занятия	Преподаватель	Кабинет
08:40-10:15	Моделирование и проектирование систем	Вебер В. А.	211
10:15-12:00	Моделирование и проектирование систем	Вебер В. А.	211
13:00-14:35	Моделирование и проектирование систем	Вебер В. А.	211
14:45-16:20	Основы военной подготовки	Костромитин Д. В.	211
Среда			
Время	Название занятия	Преподаватель	Кабинет
Четверг			
Время	Название занятия	Преподаватель	Кабинет
Пятница			
Время	Название занятия	Преподаватель	Кабинет
10:15-12:00	Основы военной подготовки	Костромитин Д. В.	211

Рис. 4. Расписание

Источник: составлено автором

Система будет автоматически отслеживать посещаемость студентов в режиме реального времени. Каждый раз, когда студент проходит через контрольный пункт (например, вход в здание или класс), информация об этом фиксируется в базе данных. Система фиксирует время входа и выхода студента, что позволит родителям видеть, когда их дети находятся в учебном заведении.

Родители смогут в любое время получить доступ к отчетам о посещаемости своих детей через веб-интерфейс или мобильное приложение. Это может включать информацию о том, сколько занятий было пропущено, а также причины пропусков (если они были указаны).

Родитель может просмотреть информацию о посещаемости студента. Также происходит рассылка SMS-сообщения в случае пропуска. Это позволит родителям быть в курсе, что происходит с их детьми, и принимать необходимые меры, если это необходимо.

Кроме того, система может включать функции уведомления о важных событиях, таких как изменения в расписании, экстренные объявления и другие значимые события, что дополнительно повысит уровень доверия родителей к образовательному учреждению.

Экономический анализ

Рыночный анализ показал, что как аналогов системы, которые отвечают нашим требованиям, нет. Существует программное обеспечение TRASSIR [2], оно позволяет отображать камеры, отправлять SMS. Сравнительная таблица аналогов представлена ниже (табл. 1).

Табл. 1

Сравнительная таблица аналогов [3]

Наименование	Стоимость р.
TRASSIR-GATE, ПО	29990
Мелдана	10000 за установку 1 видеодомофона

Расчет коммерческих расходов представлен в табл. 2.

Табл. 2

Расчетная таблица коммерческих расходов

Наименование рекламы	Стоимость, руб.
Сайт	10000
Баннер	820 за 1 баннер 1х2м
Соцсети	10000

Источник: составлено автором

Расчет стоимости системы обеспечения безопасности граждан в экстремальных условиях для здания, с количеством кабинетов не более пятидесяти (табл. 3).

Табл. 3

Расчетная таблица системы

Показатель	Стоимость за 1 шт.	Сумма, руб.
Материалы		
– микроконтроллер ESP8266	541	27050
– модуль RC522	285	14250
– блок питания 5В 1А	560	28000
– корпус	120	6000
– RFID-карта (на 500чел.)	30	15000
Заработная плата рабочим	2000	100000
Логистические расходы		50000
Отчисления		30000
Итого		270300

Источник: составлено автором

В дальнейшем планируется:

1. Масштабирование системы: Разработка дополнительных модулей для системы, таких как интеграция с системами видеонаблюдения, а также расширение функционала оповещения, включая мобильные приложения для родителей и студентов.

2. Обучение персонала: Проведение тренингов для сотрудников учебного заведения по использованию новых систем, что повысит их эффективность и снизит риск ошибок в экстренных ситуациях.

3. Мониторинг и анализ данных: Внедрение аналитических инструментов для сбора и анализа данных о перемещениях студентов и сотрудников, что поможет в дальнейшем оптимизировать процессы безопасности и управления.

4. Обратная связь от пользователей: Создание платформы для сбора отзывов от студентов и родителей о работе систем, что позволит оперативно вносить изменения и улучшения в функционал.

5. Исследование новых технологий: Изучение возможностей применения новых технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, для повышения уровня автоматизации и предсказуемости в системах контроля и управления доступом.

Заключение

Таким образом, при инвестировании в разработку, можно получить сразу две системы. Качественный программно-аппаратный комплекс с передачей информации в режиме реального времени может существенно снизить риск и сохранить множество жизней.

Разработка собственных систем контроля и управления доступом для образовательных учреждений является не только актуальной, но и экономически оправданной. Создание систем эвакуации и оповещения родителей позволит значительно повысить уровень безопасности и доверия среди студентов и их родителей. Внедрение таких решений обеспечит не только защиту, но и оптимизацию расходов, что является важным аспектом в условиях ограниченного бюджета образовательных учреждений.

Кроме того, разработка собственных систем позволит образовательным учреждениям лучше адаптироваться к изменяющимся требованиям безопасности и оперативно реагировать на возникающие угрозы. Системы могут быть доработаны и улучшены в соответствии с потребностями учреждения, что делает их более гибкими и эффективными.

Список используемых источников

1. Безопасный город / Видеоглаз. [Электронный ресурс]. URL: <https://videoglaz.ru/blog/bezopasnyj-gorod> (дата обращения: 19.09.2024).

2. Субд клиент сервер / Magiya-Vokrug.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://magiya-vokrug.ru/subd-klient-server> (дата обращения 14.10.2024)

3. TRASSIR / iarduino.ru. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aktivsb.ru/prod-17463.html> (дата обращения 15.10.2024).

ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

Исмаилов Э.М. – аспирант, Сургутский филиал, ФГУ «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Гавриленко Т.В. – к.т.н., доцент, заместитель директора, Сургутский филиал, ФГУ «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Аннотация

В данной работе рассматривается возможность предотвращения будущего энергетического голода для устойчивого развития научно-технического прогресса в области систем управления на базе нейронных сетей. В материале сформировано общее представление о тенденции развития энергетического сектора при нанесении минимального вреда ареалу обитания человека.

Введение

Последние несколько лет весь мир наблюдает как крупнейшие ИТ гиганты (Microsoft, Amazon, Apple...) создают различные нейросети, с каждым днём увеличивая объёмы вычислительных мощностей.

Существует прямая зависимость между растущим уровнем вычислительных мощностей и энергопотреблением. При этом не нужно забывать о том, что сегодня энергетический сектор претерпевает глобальные перемены, причина этому стремление постоянно развивающегося человечества к недорогим, надёжным, современным источникам генерирования электроэнергии. Важным моментом этого перехода является внедрение в общую сеть с традиционными системами генерирования, сетей с возобновляемыми источниками энергии.

В 2015 году более 150 государств, включая Российскую Федерацию, согласовали основные цели устойчивого развития (ЦУР) на период до 2030 года. Данный проект является основным проектом Европейской экономической

комиссии (ЕАК) ООН «Пути к устойчивой энергетике». Важнейшим решением того дня является «Укрепление международного сотрудничества в целях облегчения доступа к исследованиям чистой энергии, включая возобновляемые источники» [6].

На сегодняшний день большая часть развитых и развивающихся стран подписали Парижское соглашение по климату, составив поэтапный график запланированных действий по улучшению климатического состояния на своей территории [6].

Причина, которая послужила катализатором для ратификации данного соглашения, – это постоянно ухудшающееся состояние воздушной оболочки земного шара вследствие жизнедеятельности человека, которая сопровождается выбросами парниковых газов, последствием которых является ухудшение здоровья флоры и фауны на Земле [6].

Благодаря техническому прогрессу стало возможно значительно снизить себестоимость генерирования электроэнергии с применением электростанций различного типа, которые преобразуют энергию ветра, воды... [6]. Как следствие, появилась возможность снизить количество CO₂ в атмосферу, что благоприятно скажется на состоянии всех живых организмов и существенно расширит человеческие возможности и энергетические ресурсы для дальнейшего развития.

Важно подчеркнуть, что альтернативные источники (нетрадиционные) к которым относят солнечную, ветровую, геотермальную... энергию в отличие от традиционных источников (ископаемых (газ, мазут, уголь)) энергии не могут полностью перекрыть потребность в мощности, обеспечивая её бесперебойную поставку.

Учитывая всё вышеизложенное можно заключить, что необходим источник энергии являющийся экологически чистым и высокоэнергетическим. Таким источником энергии является атомная энергия, так как полностью исключаются выбросы парниковых газов и возможно обеспечить необходимый уровень мощности. Принцип преобразования энергии посредством мирного атома заключается в высвобождении колоссального количества энергии, содержащейся в атомных ядрах, которая выделяется при ядерных реакциях и радиоактивном распаде.

В 2024 году компания Microsoft, которая является одной из ведущих компаний в области продвижения технологий на базе искусственного интеллекта, сформировала кластер серверов в штате Пенсильвания, при этом забронировав

огромный запас мощности в законсервированной атомной электростанции (АЭС) Три-Майл-Айленд [2].

Также в 2024 году другой ИТ-гигант «Amazon» инвестировал в проект малых модульных реакторов (ММР), подписав проект с Energy Northwest и Dominion Energy по развитию ядерной энергетики [7].

Важно подметить, что у России есть большой багаж знаний, опыта проектирования и эксплуатации ММР. Впервые в 1961 году в городе Обнинск была протестирована транспортабельная электростанция ТЭС-3, мощность реактора 1,5 МВт [3].

С каждым днём увеличивается количество устройств, подключаемых к интеллектуальным сетям. В результате этого увеличивается число генерируемых и поглощаемых данных. Следовательно, необходимо развивать технологии анализа данных и методы интеллектуального управления такими большими потоками информации чтобы при необходимости можно было извлекать значимую информацию отделяя её от менее значимой. При этом нужно помнить о том, что чем больше объём перерабатываемой информации, тем больше потребляемой мощности нужно для интеллектуального исполнительного органа.

Основная часть

Возникает вопрос: как же будет происходить управление в таком энергетическом сегменте. Рассмотрим пример: есть АЭС, где-то находится дата-центр нейронной сети. Таким образом, мы можем смоделировать возможность симбиоза, когда АЭС обеспечивает потребности в электроснабжении дата-центра, а дата-центр обеспечивает управление АЭС посредством межмашинного (M2M (Machines to Machines)) взаимодействия и IoT (Internet of things (Интернет вещей)) связи. Иными словами, IoT – это сеть, которая объединяет в себе физические (датчики, электрооборудование, сети передачи данных) и интеллектуальные объекты (программы и приложения) [4].

В указе Президента РФ «О Стратегии развития информационного общества Российской Федерации на 2017-2030 годы», дающий представление о поэтапном внедрение IoT в энергетический сектор, продвигая идею построения систем электроснабжения, автоматизации, телемеханики и сетей связи, а также подключения различного оборудования, датчиков, сенсоров и систем управления в единую сеть «Интернет» без необходимости постоянного участия человека [5].

По факту IoT – это эволюционная технология, которая позволит распределенной системе управления (DCS (Distributed Control System)) шагнуть на

новый уровень автоматизации (высокой автоматизации) за счёт использования облачных вычислений для уточнения и оптимизации управления процессом [8,9,12]. С развертыванием технологии IoT открывается доступ к «Киберфизическим системам» – это информационная технология, которая подразумевает физическую реализацию, объединяя различные технологии. Примером могут служить умные города, IoT, PoT

(Industrial Internet of Things (Промышленный интернет вещей)), искусственный интеллект, ... [1,10].

Как было сказано выше, с помощью ИИ и технологии IoT можно усовершенствовать автоматизацию производственных процессов и перейти на следующий уровень автоматизации – роботизированной автоматизации процессов (РАП (киберфизическим системам)). По факту роботы могут облегчить работу человека, уже сегодня роботы (программный код на сервере) выполняют задачи по обработке данных из нескольких информационных систем, например, обновление клиентских данных (обновление адресов, номеров телефона,...), в приложении это устранение сбоев в разных программах, обновление данных после совершения переводов на банковскую карту [1,5,8,12].

Важно подчеркнуть, что в промышленном и гражданском секторе на протяжении многих лет успешно применяются системы M2M. Однако такие системы реализованы в пределах одного объекта (завод, компания). С появлением технологии IoT связи стало возможно существенно увеличить количество объединяемых машин и исключить территориальные рамки посредством выхода в Интернет (термин Интернет рассматривается как обобщение и подразумевает понятие «связь») [11]. Основная задача IoT протокола – это подключение различных объектов, программ и сетей в одну общую сеть. При этом внедрение технологии IoT является крайне важным шагом на пути к внедрению технологий на базе искусственного интеллекта, так как позволит объединить существующие сети и оборудование с проектируемыми [8].

Заключение

Уже сегодня человечество столкнулось с задачей использования экологически чистых источников электроэнергии и высокой потребностью в больших мощностях для устойчивого развития научно-технического сектора.

Дальнейшее развитие систем на основе искусственных нейронных сетей не может происходить без достаточного объёма потребляемой мощности данной инфраструктурой. При этом можно уверенно сказать, что активное развитие ИИ

будет происходить в местностях со свободным доступом к энергетическим мощностям и низкой себестоимости потребляемой энергии. Нужно выделить факт того, что будущее мировой энергетики в зависимости от региона будет развиваться по разным сценариям. Стезя развития будет зависеть от особенностей местности того или иного региона, рельефа местности, количества солнечных дней в году, выхода в море. Но, учитывая всё вышеизложенное, использование технологий на основе мирного атома, в особенности ММР, поможет исключить будущий энергетический голод при этом соблюдая все требования и договоренности об уменьшении выбросов CO₂ в атмосферу.

Список используемых источников

1. Бурыкин А. Кибер-физические системы. Жизнь после пандемии / Сноб. [Электронный ресурс]. URL: <https://snob.ru/profile/32422/blog/167314> (дата обращения: 13.05.2020).
2. В США перезапустят реактор АЭС Три-Майл-Айленд для поставки электроэнергии Microsoft / Интерфакс. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interfax.ru/world/982994> (дата обращения: 20.09.2024).
3. Малая атомная энергетика и автономные энергоисточники / ФЭИ Росатом. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LdGFs> (дата обращения: 03.10.2023).
4. Национальная технологическая инициатива (НТИ) / CML. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LTysF> (дата обращения: 14.02.2017).
5. О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы / Официальное опубликование правовых актов. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LTyvH> (дата обращения: 09.05.2017).
6. Широкомасштабное развитие возобновляемых источников энергии и его влияние на рынок электроэнергии и сетевую инфраструктуру / UNECE. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LTyzo> (дата обращения: 14.11.2020).
7. Amazon объявила о крупных инвестициях в ядерную энергетику / Forbes.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LTz4C> (дата обращения: 17.10.2024).
8. Erguler I. A potential weakness in RFID-based Internet-of-things systems // Pervasive and Mobile Computing. 2015. Vol. 20. P. 115-126.
9. Maicon S., Vinicius M. P., Fernando D., Eduardo R. L. Proposal of an automation solutions architecture for Industry 4.0. 2018. Vol 14 (2). P. 185-195.
10. Boyes H., Bil H., Joe C., Tim W. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. 2018. Vol. 101. P. 1-12.

11. Tsvetkov V.Ya. Information interaction // European researcher. 2013. Vol. 62, № 11-1. P. 2573-2577.
12. Why Edge Computing Is an IIoT Requirement: How edge computing is poised to jumpstart the next industrial revolution / IOT World Today. 2017. [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/3LTz7M> (date of treatment: 07.01.2025)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

*Петровский С.В. – к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции»,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»*

*Петровский А.В. – к.т.н., доцент кафедры «Информационные технологии»,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»*

Аннотация

В данной работе производится измерение уровня электромагнитных помех (ЭМС) от системы зажигания автомобиля для того, чтобы диагностировать превышение предельно допустимого уровня ЭМП. Данные измерения производятся при помощи информационно-измерительной системы, в состав которого входят интеллектуальные датчики, работающие на различных алгоритмах, например, алгоритмы на основе метода опорных векторов (МОВ) и искусственных нейронных сетей (ИНС).

Современный автомобиль представляет собой сложную и многоступенчатую систему управления, в которой каждый блок управляет определенными функциями и эти блоки взаимодействуют друг с другом в среде бортовой системы контроля (БСК) (системы подачи топлива, системы зажигания, системы рециркуляции выхлопных газов и так далее). Однако в связи с постоянным усложнением данных систем требуется усовершенствования систем управления ДВС с необходимостью объединения в единый комплекс. Подобное усложнение приводит к возникновению проблем, связанных с идентификацией неисправностей, по той причине усложняется работа индивидуальных систем (например, система зажигания), особенно при наличии сложных процессов взаимодействия между вышеуказанными подсистемами.

Данные задачи обычно решаются с помощью проведения непрерывного мониторинга для процессов, протекающих в данных системах. Указанный

мониторинг проводится с целью обнаружения на ранних стадиях различных неисправностей и дефектов, что важно для полного или частичного устранения данных дефектов, для оценки влияния выявленных неисправностей на дальнейшую работу системы [3, 6, 7].

Указанные диагностические комплексы мониторинга и раннего оповещения о неисправностях позволяют уменьшить время и сложность ремонта автомобиля, что дает возможность усовершенствовать процесс управления автомобилем, что в конечном итоге отражается на стоимости эксплуатационных затрат.

Развитие компьютерных и информационно-измерительных технологий современной измерительной техники, а также усовершенствование программных и аппаратных систем помощи для водителя, формируют обширную базу для усовершенствования универсальных систем автомобильной диагностики, управления и мониторинга. Сбор измерительных данных во время обычной работы автомобильных систем, в условиях выявления дефектов вместе с интеллектуальными методами диагностики, дает возможность для более детальной самодиагностики. В совокупности данный подход позволяет не только фиксировать разницу измеряемых и номинальных данных, но и определять наиболее вероятные причины возникновения неисправностей.

Реализуемая на базе БСК автомобиля идентификация и классификация неисправностей применяется в режиме реального времени с помощью диагностических кодов неисправностей (ДКН), может снизить уровень неопределённости при диагностике возникающих дефектов, например, обусловленных взаимодействием автомобильных систем. При использовании компьютерного интеллекта одним из наиболее действенных инструментов является сканнер диагностических данных, который имеет способность к обучению, основанную на интерпретации измеряемых данных. Также осуществляется выбор и реализация тестовых процедур, наилучшим образом соответствующих состоянию диагностируемой системы на данный момент [2, 9].

Важной вехой построения интеллектуально-измерительной системы (ИИС), определяющей электромагнитную совместимость автомобильных систем, например, системы зажигания, является выбор методики выявления неисправностей.

Основные подходы к диагностике неисправностей

Изначально в автомобильной промышленности широко использовались численные методы обработки данных для моделирования происходящих

процессов, моделирования прототипов различных подсистем автомобиля и для прогнозирования и диагностики эксплуатационных неполадок [2, 6, 9]. При этом использование данных методов на практике с целью обнаружения и диагностики неисправностей привело к выявлению следующих подходов к проведению диагностических операций:

- подход, базирующийся на математическом моделировании (ММ) диагностируемой системы;
- подход, основанный на диагностических данных (ДД);
- подход, который использует накопленные знания (НЗ) о типичных неисправностях и результатах их влияния на работу диагностируемой системы.

Однако эффективная диагностика с применением математического моделирования (ММ) требует априорного знания физических процессов, лежащих в основе работы диагностируемой системы, при условии наличия точных математических моделей, описывающих данные процессы. Также, помимо этого, нужна доступность необходимого числа физических датчиков как для мониторинга состояния системы, подлежащей диагностике, так и для динамической настройки параметров математических моделей [4]. Данные условия уменьшают эффективность подхода ММ только для систем, характеризующихся незначительным числом возможных состояний и малым количеством входных и выходных данных.

В статье используется подход, основанный на диагностических данных (ДД), который имеет приоритет в ситуациях получения точной математической модели для тестируемой системы. В подобных ситуациях опытные данные, полученные при диагностике системы, работающей как в обычных условиях, так и при наличии дефектов, являются основным источником по диагностической информации. Примерами использования подхода ДД является применение методов статистического анализа данных, которые измеряются для различных режимов работы диагностируемой системы, а также при использовании алгоритмов интеллектуально-информационных систем (метод опорных векторов, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы и алгоритмы с использованием нечеткой логики) [6]. Диагностические возможности, основанные на алгоритмах ИИС, достаточно широки, многообразны и ограничены только минимальным объёмом доступных диагностических данных [8].

Также используется подход к диагностике неисправностей, использующий накопленные знания (НЗ), который используется комплексными системами с

установленными причинно-следственными отношениями. Это дает возможность для использования экспертных систем, базирующихся на опытном анализе данных. Однако отличительной чертой этого подхода, в отличие от подхода ММ, является то, что накопленные знания формулируются в виде графических моделей (сети Петри, сети Байеса, многосигнальные поточные графики) [2, 6]. Это позволяет повышать уровень абстракции при проведении диагностики, что выражается в способности ИИС определять сразу несколько возможных причин того или иного дефекта и присваивать им соответствующие вероятностные значения. [1, 4].

Современные бортовые системы контроля (БСК) могут реализовывать указанные подходы для диагностики неисправностей за счёт использования программных средств мониторинга и управления. Данные средства вычислительной техники, именуемые интеллектуальными датчиками (ИД), обладают широким применением, так как имеют способность изменять программное обеспечение, что дает возможность контролировать процесс их работы и функциональные возможности [8]. Их применению посвящён следующий раздел.

Ускорение процессов диагностики при помощи интеллектуальных датчиков

По мере увеличения количества данных и усложнения анализа электромагнитной совместимости системы зажигания в ДВС возникает необходимость увеличить число и диапазоны измеряемых величин, а также повысить требования к точности и быстродействию измерений. Данное обстоятельство неминуемо влечет за собой требования к автоматизации измерений, разработку принципиально новых методик к сбору и анализу данных, отражающих и характеризующих ЭМС [3, 4].

В работе данных методик используются средства вычислительной техники, которые осуществляют сбор, хранение и обработку больших массивов измерительных данных для получения достоверной диагностической информации.

В ходе измерений уровня ЭМП необходимо переработать эти измерительные данные при помощи средств вычислительной техники, при работе которой используются виртуальные датчики, что дает возможность приобрести данным устройствам новые функциональные возможности по обработке информации. Эти возможности обеспечиваются интеллектуальными датчиками (ИД), входящими в состав ИИС. Например, интеллектуальные датчики могут уменьшить погрешность измерений благодаря применению численных методов вычислений для

уравновешивания нелинейности чувствительного элемента или его температурной зависимости [7]. Указанные ИД могут работать с большим количеством чувствительных элементов, а переключая при этом измерительные каналы. Помимо этого, эти датчики могут настраивать исполнительные механизмы на другие диапазоны измерений и производить внутреннюю самодиагностику, что дает возможность упростить их техническое обслуживание [6].

Обобщив вышесказанное можно утверждать, что благодаря своим вычислительным возможностям, ИД является измерительным устройством, которое обеспечивает более высокую достоверность измерений. При этом повышение достоверности оценки измеряемой величины достигается путем внедрения ИД в ИИС при помощи реализации алгоритмов анализа и интерпретации измеряемых данных [6].

Отличием ИД от обычных датчиков является наличие алгоритма обработки измеряемого сигнала. Наличие данного алгоритма в ИД дает возможность осуществлять автономную реализацию базовых метрологических функций, таких как калибровка измерительного элемента, линеаризовывать выходной сигнал и так далее [8].

Как указано выше, в данной статье основной упор будет сделан на разработку компьютерных ИД, которые осуществляют интеллектуальную обработку измеряемых данных для выявления и классификации неисправностей, влияющих на ЭМС систем автомобиля. Интеллектуальные датчики оценки уровня ЭМП системы зажигания автомобиля классифицируются либо по их функциональным возможностям (самодиагностируемые, интегрированные в среду обработки данных, дедуктивные, самонастраивающиеся), либо по используемой методике обработки данных (ориентированные на накопленные знания и экспертные оценки, на математическое моделирование, на компьютерную обработку эмпирических данных, гибридные и т.п.) [6].

Применение данных методик и устройств в бортовой системе контроля и диагностики предназначено для [7]:

- выявления дефектов в узлах, механизмах, а также улучшения эксплуатационных характеристик диагностируемой системы;
- проверки уровня ЭМП для работы в условиях наличия или возникновения подобных неисправностей;

– получения диагностической информации для локализации и нейтрализации неисправности.

В этой работе рассмотрена реализация первой и последней целей методик построения ИД, для оснащения БСК способностью своевременно определять проблемы с ЭМС, вызванные работой системы зажигания ДВС, и идентифицировать наиболее вероятные причины возникновения данных проблем. При решении данной проблемы задействованы алгоритмические подходы вычислительного интеллекта, которые составляют программный арсенал ИД.

Как известно, с ростом сложности систем человеческая способность их характеризовать падает [5]. При этом компьютерные вычисления требуют наличия полной и точной информации об анализируемой системе с целью предоставить практически значимые результаты. По этой причине возникает рассогласование между особенностями реальных систем и возможностями вычислительной техники, которое устраняется с помощью вычислительного интеллекта [8]:

- искусственные нейронные сети (ИНС), обучающие ИД к изменяющимся условиям функционирования, а также осуществляющие идентификацию входных данных и моделирование;
- вычислительные классификаторы, в частности метод опорных векторов (МОВ), используемые для решения задач классификации и регрессионного анализа;
- вероятностные вычисления (ВВ), нужные для системного синтеза ИД и оптимизации их характеристик;
- системы нечеткой логики (СНЛ), производящие вычисления с приемлемой погрешностью, категоризацию и аппроксимацию.

Важно акцентировать внимание на том, что указанные составные части вычислительного интеллекта демонстрируют эффект взаимного усиления достоинств и нивелирования недостатков отдельных методов, а не конкурируют друг с другом, что используется при построении интеллектуально-информационных систем, интегрирующих несколько ИД в единый диагностический комплекс.

Данное свойство вычислительного интеллекта дает возможность применять интеллектуальный анализ данных по двум основным направлениям. С одной стороны, проводится исследовательский подтверждающий анализ (в частности, процесс выявления неисправностей). С другой стороны, все усилия

концентрируются на логическом анализе, ставящем своей целью либо анализ статистических данных об уровне ЭМП от системы зажигания для определения причин возникновения дефектов, по причине ЭМС, либо показ закономерности данного процесса [4].

Вследствие вышеуказанных причин интеллектуально-информационные системы используют ряд алгоритмических подходов.

Искусственные нейронные сети (ИНС)

Искусственные нейронные сети нашли повсеместное широкое распространение в ИИС из-за своих способностей моделировать сложные динамические процессы, которые трудно описать с помощью математических моделей. Обобщённая функциональная схема интеграции базирующегося на ИНС ИД в интеллектуально-информационную систему, предназначенную для моделирования, анализа и контроля исследуемого процесса или объекта управления, изображена на рисунке 1 [2, 4, 8].

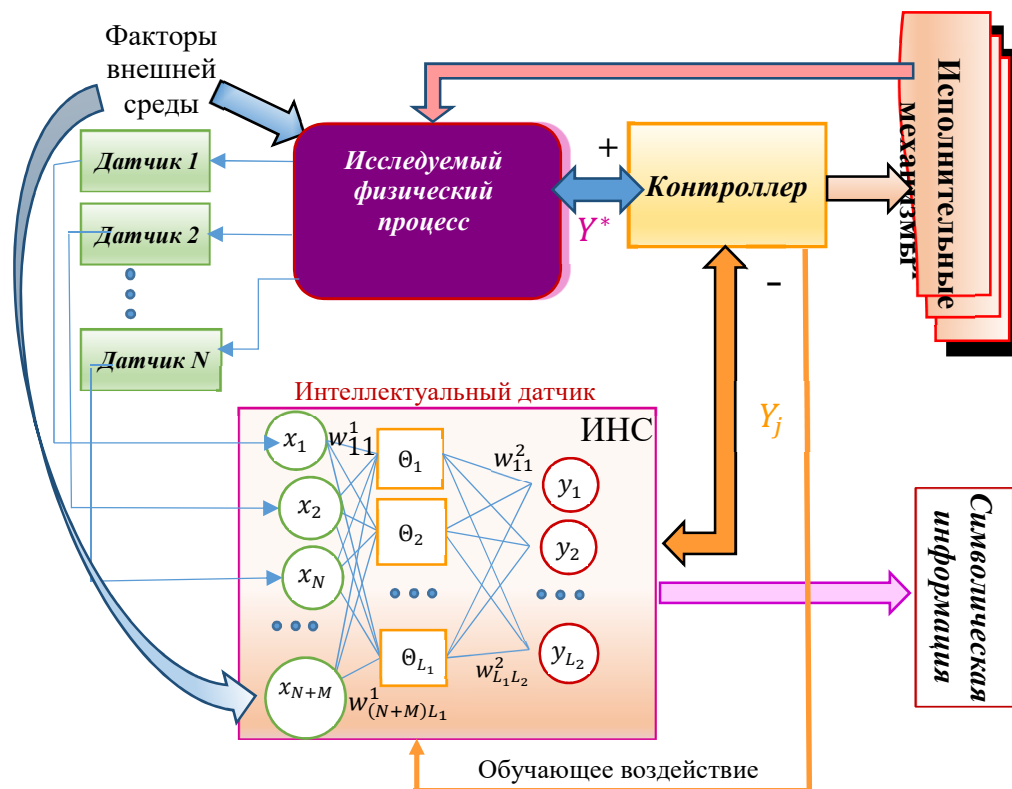


Рис. 1. Работа искусственной нейронной сети при построении ИД
Источник: составлено автором

Как видно из рисунка, на вход ИНС поступают те же входные воздействия $x_i, i \in \overline{1, N+M}$ (1.1), что и на исследуемый объект моделирования. С выхода ИНС берутся значения $y_j, j \in \overline{1, L}$, которые впоследствии сравниваются ИИС с выходными параметрами исследуемого процесса – при значительном различии в сравниваемых величинах, наша сеть настраивается при помощи изменения весовых коэффициентов $w_{ij}^k, (i \in \overline{1, N+M}, j \in \overline{1, L}, k \in \overline{1, S})$ (1.2) до момента, когда разница при превышении уровня ЭМП уменьшится до приемлемого значения.

Надежная работа нашей ИНС предполагает использование многослойной (S слоёв, плюс входной и выходной слою) схемы связей между нейронами и алгоритма обучения с «учителем» при условии обратного распространения ошибки.

В качестве активационной функции нейронов ИНС, как правило, используется сигмоидальная активационная функция:

$$O_j = \frac{1}{1 + \exp(-net_j)}, j \in \overline{1, K}, \quad (1.3)$$

$$net_j = \sum_{i=1}^{N+M} w_{ij}^1 \cdot x_{ij} + b_j, \quad (1.4)$$

где net_j – один из параметров сигмоидальной функции. При настройке весовых коэффициентов ИНС мы изменяем данный параметр для построения функции с изменяющейся крутизной и порогом активизации, что дает возможность уменьшить разницу между моделируемыми $Y_k, k \in \overline{1, L}$ и реальными $\bar{Y}^*$ выходными параметрами исследуемого процесса, как правило, оцениваемой посредством среднеквадратической функцией ошибки [3]:

$$E = \frac{1}{2L} \sum_{k=1}^L (\hat{Y}_k - \bar{Y}_k^*) \quad (1.5)$$

Сигмоидальная функция активизации нормирует диапазон изменения выходного сигнала нейронов в интервале $[0, 1]$.

Моделирование измерительного процесса осуществляется виртуальными датчиками, известным примером которых в автомобилях может служить датчик измерения температуры воздуха [5, 6].

Точность измерения виртуального датчика зависит как от погрешности используемой модели, так и её параметров, в том числе от погрешности физических датчиков, передающих измерительные данные для данной модели. Выбор этих

датчиков для виртуальных измерений очень важен, так как присутствие лишних, неточных или неполных измерительных данных замедляет проектирование, построение и использование виртуальных датчиков, большинство из которых относится к категории ИД и составляет основу интеллектуальных информационных систем (ИИС).

В данной статье виртуальные датчики применяются для определения электромагнитной совместимости между системами и устройствами в автомобиле, включая, например, систему зажигания. По этой причине важно применять преимущества виртуальных датчиков как с целью выявления проблем с ЭМС, так и для классификации этих проблем, чтобы определить наиболее вероятные причины дефектов. Классификация также может проводиться с помощью других ИД, например, работающих по принципу линейной классификации с использованием метода опорных векторов.

Применение метода опорных векторов

При применении данного метода в реальных задачах нужно классифицировать данные, которые представляются как точки в p -мерном пространстве R^p . Каждая из этих точек принадлежит только одному из двух классов, поэтому проблема линейной классификации заключается в разделении данных при помощи гиперплоскости с размерностью « $p - 1$ ».

Подобных гиперплоскостей может быть много. По этой причине улучшение эффективности классификации ведет увеличение зазора между классами, то есть, нахождение такой гиперплоскости, чтобы расстояние от нее до ближайшей классифицируемой точки, является наибольшим. Целью метода опорных векторов (МОВ) является нахождение такой гиперплоскости [4, 6].

Основной целью МОВ является переход исходных данных в пространство с более высокой размерностью, а затем в поиске разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором в данном пространстве. Исходные данные чаще всего представляются в виде:

$$\{(x_1, c_1), (x_2, c_2), \dots, (x_n, c_n)\}, \quad (1.6)$$

где $c_i = \pm 1$ в зависимости от того, какому классу принадлежит x_i . Каждый $x_i \in R^p, i \in \overline{1, n}$, это p -мерный вещественный вектор, обычно с нормализованными координатами в интервалах $[0, 1]$ или $[-1, 1]$. Если координаты не будут

нормализованы, то вектор с большими отклонениями от средних значений координат может сильно повлиять на точность классификации [5].

Исходные данные (1.6) можно по аналогии с ИНС рассматривать как множество обучающих пар, которые задают класс принадлежности для каждого элемента данных. Задача МОВ заключается в идентичной классификации исходных данных и подобной классификации вновь поступающих. Для этого формируется разделяющая гиперплоскость, которая имеет вид:

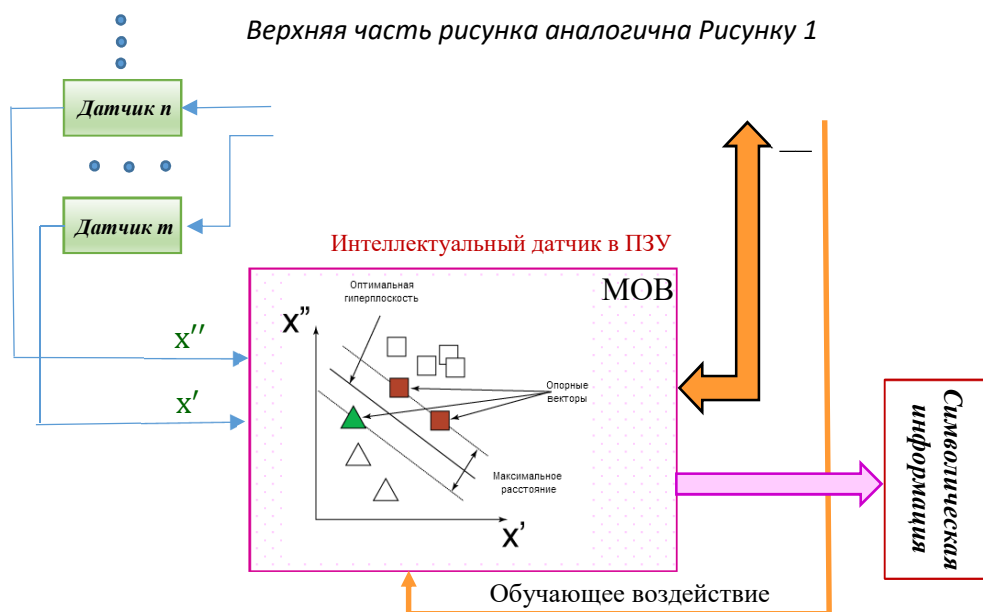


Рис. 2. Классификация диагностических данных при помощи МОВ

Источник: составлено автором

Важно отметить, что построение классификационной модели МОВ отмечено трудностью в проведении классификации, так как повышается размерность векторного пространства, что усложняет классификацию. Для решения данной задачи применяются методы понижения размерности данных для выявления наиболее существенных компонентов [3, 7]. В решении этой задачи могут помочь методы нечеткой логики и вероятностные и эволюционные вычисления. Данные методы понижают размерность данных, что упрощает классификацию. Кроме того, проводится тщательный анализ условий возникновения отказов – при этом изучаются рабочие режимы диагностируемого объекта. В ходе изучения данных режимов было выявлено, что наименьшая погрешность работы ИД с МОВ составляет 5.85% [4, 8].

Поэтому важно использовать преимущества виртуальных датчиков как для выявления проблем с ЭМС, так и для классификации этих проблем с целью определения наиболее вероятных причин дефектов, связанных с превышением уровня ЭМП.

Выводы

1. Наиболее важным для интеллектуальной информационной системы по отношению к существующим средствам обработки диагностических данных является его способность к адаптации и настройке внутренних параметров (что дает возможность достичь погрешности работы интеллектуальных датчиков при определении уровня ЭМП в составе ИИС на уровне 5.85 %).

2. Указанные функциональные и программные возможности интеллектуальной информационной системы, которые реализованы на ИД, позволяют диагностировать превышение уровня ЭМП, после этого коды диагностических ошибок выводятся на монитор маршрутного компьютера, водитель принимает решение о необходимости остановки и ремонта автомобиля.

Список используемых источников

1. Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. М.: Мир, 1990. 238 с.

2. Кечиев Л.Н., Степанов П.В. ЭМС: стандартизация и функциональная безопасность. М.: МИЭМ, 2001. 82 с.

3. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1984. 336 с.

4. Петровский С.В., Николаев П.А. Моделирование электромагнитных помех при работе системы зажигания автомобиля // Научные труды V международной молодежной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи». Том 1, Томск. ТПУ. 2014.

5. Петровский С.В., Козловский В.Н., Строганов В.И., Дебелов В.В. Моделирование энергоемких накопителей автомобильной комбинированной энергоустановки // Журнал «Грузовик» №11. 2018. С. 1-10.

6. Dhar V., Stein R. Intelligent Decision Support Methods: The Science of Knowledge Work. Prentice Hall, 1997.

7. Petrovsky S.V., Kozlovsky V.N., Vakhnina V.V., Skripnuk D.F. Determination of the Causes of the Excess of the Level of Electromagnetic Interference from the Ignition System Using an Intelligent Diagnostic System / Proceedings of the

2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020 DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9038934 pp. 569-573.

8. Quinlan J.R. C4.5: Programs for Machine Learning. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993. 302 p.

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ: ЗАДАЧИ,
ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

**СБОРНИК ТРУДОВ VIII ВСЕРОССИЙСКОЙ
(НАЦИОНАЛЬНОЙ) НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ НАУЧНЫХ, НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
РАБОТНИКОВ, АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**