



asi-journal-rzd.ru

АВТОМАТИКА СВЯЗЬ ИНФОРМАТИКА

4

2026



Издается
с 1923 года

16 Уровни автоматизации для сортировочной станции



12 Методика измерения А-параметров эквивалентного четырехполосника путевого фильтра ФПМ

30 Сплоченный коллектив – гарантия успеха



Обращение

Дорогие друзья, коллеги!

В компании подведены итоги инновационной деятельности за 2025 г. Первое место второй год подряд заняла Куйбышевская железная дорога, второе и третье разделили Юго-Восточная и Северо-Кавказская железные дороги. Новаторами магистралей предложено более 100 собственных разработок, пополнивших портфель объектов интеллектуальной собственности ОАО «РЖД», 74 проекта внедрены и тиражируются, способствуя улучшению производственных процессов и повышению эффективности перевозок.

Среди функциональных филиалов ОАО «РЖД» рейтинг по инновациям возглавили Центральная дирекция по ремонту пути, Центральная станция связи и Центральная дирекция по тепловодоснабжению. Лидером по числу реализуемых проектов стала Центральная дирекция инфраструктуры. Заметно активизирована работа с поиском, привлечением и практической реализацией инновационных решений от внешних партнеров компании.

Российских железнодорожников всегда отличает работа по направлению технического творчества. Сегодня компания всемерно содействует его развитию, мотивирует сотрудников и подразделения к разработке и широкому применению на практике полезных технических и технологических новшеств. В текущем году пройдут очередной конкурс «Идея ОАО «РЖД»-2026» для рационализаторов компании, а также конкурс на предоставление грантов для молодых ученых на проведение исследований в области железнодорожного транспорта.

Отраслевые журналы регулярно публикуют материалы о лучших практиках, инициативах, инженерных проектах, дающих реальный эффект в эксплуатационной работе сети, способствуют их широкому распространению.

Познавательного чтения!



Валерий Танаев,
заместитель генерального директора –
главный инженер ОАО «РЖД»



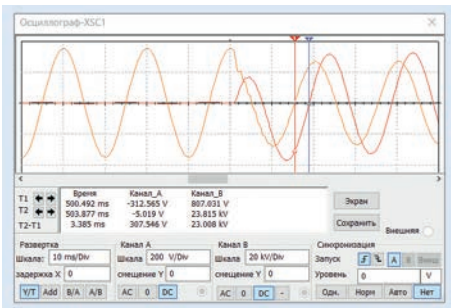
Обложка
Перегон Умёт-Камышинский – Петров
Вал Приволжской дороги
(фото Антипова Д.А.)

4 Апрель 2026

Ежемесячный научно-теоретический
и производственно-технический журнал

Содержание

2



Новая техника и технология

Автоматизация устройств релейной защиты на основе моделирования режимов системы тягового электроснабжения. *Востриков М.В., Димов А.В., Менакер К.В.* _____ 2

Оценка влияния состояния заземляющих устройств на надежность средств связи и автоматики. *Митрохин В.Е., Наумов А.С.* _____ 7

Методика измерения А-параметров эквивалентного четырехполюсника путевого фильтра ФПМ. *Юсупов Р.Р., Хохрин А.С., Щербина Е.Г., Павлов Е.В.* _____ 12

30



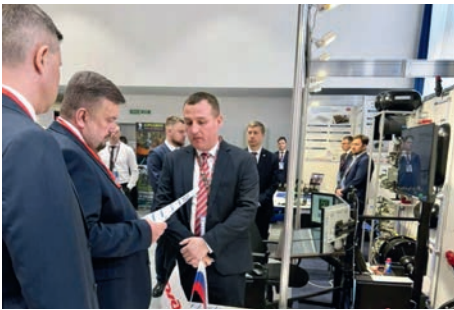
Цифровые технологии

Уровни автоматизации для сортировочной станции. *Попов П.А., Бушуев С.В.* _____ 16

Цифровая трансформация промышленности и железнодорожного транспорта. *Чесалов А.Ю.* _____ 21

Развитие теории измерений при проектировании прикладных ИИУС. *Звягин Л.С.* _____ 26

35



В трудовых коллективах

Сплоченный коллектив – гарантия успеха. *Жданов А.В.* _____ 30

Суждения, мнения

Опыт прошлого для технологий будущего. *Орлюк А.А.* _____ 33

37



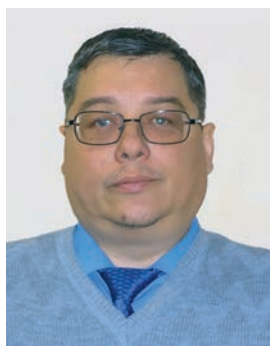
Информация

Зеленый свет инновациям. *Наумова Д.В.* _____ 35

Идея ОАО «РЖД». _____ 36

Бизнес в условиях глобальной нестабильности. *Наумова Д.В.* _____ 37

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ



ВОСТРИКОВ
Максим Викторович,
Забайкальский институт
железнодорожного транспорта –
филиал ИргУПС, кафедра
«Электроснабжение»,
канд. техн. наук, г. Чита, Россия



ДИМОВ
Алексей Владимирович,
Иркутский государственный
университет путей сообще-
ния, проректор по научной
работе, канд. техн. наук,
г. Иркутск, Россия



МЕНАКЕР
Константин Владимирович,
Забайкальский институт
железнодорожного транспорта –
филиал ИргУПС, кафедра
«Электроснабжение», доцент,
канд. техн. наук, г. Чита, Россия

Ключевые слова: автоматизация, система тягового электроснабжения, модуль и аргумент комплексного сопротивления, фидер контактной сети, селективность, график исполненного движения, схема замещения, тяговая нагрузка

Аннотация. Статья является продолжением представления результатов научного исследования в области автоматизации микропроцессорных устройств релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока. Для повышения селективности данных устройств предлагается проводить совместный анализ модуля и аргумента комплексного сопротивления контактной сети с привязкой к поездной ситуации, оцениваемой через автоматизированную систему ведения и анализа графика исполненного движения (ГИД). По соотношению модуля и аргумента комплексного сопротивления при известных параметрах текущей поездной ситуации появляется возможность селекции критических режимов системы тягового электроснабжения, связанных с движением поездов повышенной массы, сдвоенных поездов, пакетным графиком движения, а также аварийных режимов в виде коротких замыканий и обрывов контактного провода на разном удалении от тяговой подстанции. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при построении новых алгоритмов работы устройств релейной защиты с целью снижения числа их срабатываний по неустановленным причинам.

■ Зависимости изменения модуля и аргумента комплексного сопротивления контактной сети при различных аварийных режимах работы системы тягового электроснабжения железной дороги переменного тока (СТЭ), связанных с коротким замыканием контактного провода (КП) на рельс, были подробно проанализированы ранее [1]. Однако рассмотренные аварийные ситуации не предусматривали обрыва самого КП и отсутствия гальванической связи между тяговыми подстанциями (ТП).

Как показывает многолетняя статистика аварийных срабатываний микропроцессорных релейных защит фидеров контактной сети на железных дорогах переменного тока, большая их часть происходит

с короткими односторонними или двухсторонними замыканиями КП с рельсовой линией (РЛ) (рис. 1, б, в, г). Интерес представляют также режимы работы СТЭ, связанные с действием пусковых и переходных токов современных электропоездов, возникающие при ведении тяжеловесных и сдвоенных поездов, а также пакетном графике движения [2]. Перечисленные режимы работы СТЭ и являются основным объектом анализа данной статьи.

Графики изменения электрических параметров питающих фидеров тяговых подстанций при двухсторонней схеме питания и секционирования контактной сети по схеме (см. рис. 1, б) вдоль длины межподстанционной зоны представлены на рис. 2. Аналогичная

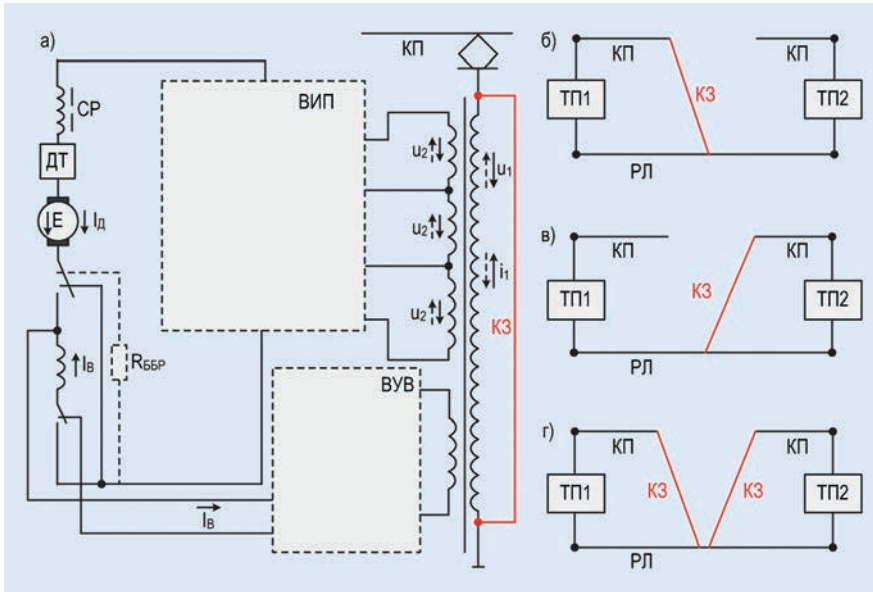


РИС. 1

ситуация возникает и при коротком замыкании первичной обмотки понижающего трансформатора в составе силового электрооборудования электровоза (рис. 1, а). На рис. 2 приняты следующие обозначения: ψ_1, ψ_2 – аргументы комплексного сопротивления питающих фидеров контактной сети тяговых подстанций ТП1 и ТП2, градусы; I_1, I_2 – ток питающих фидеров контактной сети тяговых подстанций ТП1 и ТП2 соответственно, кА; U_1, U_2 – напряжение на шинах тяговых подстанций ТП1 и ТП2 соответственно, питающих фидеры контактной сети, кВ; l – расстояние, км.

Анализ графиков показывает, что аргумент комплексного сопротивления питающего фидера контактной сети тяговой подстанции ТП1 скачкообразно изменяется от 0 до 60° и далее сохраняет данное значение при удалении места короткого замыкания в сторону тяговой подстанции ТП2. Аргумент комплекс-

ного сопротивления питающего фидера контактной сети тяговой подстанции ТП2 на всей длине сохраняет неизменное значение 90° и только при коротком замыкании (КЗ) в непосредственной близости от ТП2 уменьшается до 0. Ток питающего фидера контактной сети ТП1 экспоненциально уменьшается с 4,5 до 1,4 кА по мере удаления места КЗ. Ток ТП2 в этом случае по всей длине изменения места КЗ не превышает ток холостого хода или величины уравнительного тока (не более 30 А). Напряжения на фидере контактной сети ТП1 логично увеличивается при удалении места КЗ от 0 до 17 кВ, но остается неизменно ниже минимально допустимого значения (19 кВ). Напряжение питающего фидера контактной сети ТП2 по всей длине неизменно и равно среднему значению 25 кВ.

Схема КЗ (см. рис. 1, в) симметрична схеме (рис. 1, б) и, следовательно, полученные графики будут идентичными.

Графики изменения электрических параметров питающих фидеров тяговых подстанций при двухсторонней схеме питания и секционирования контактной сети в зависимости места короткого замыкания по схеме (см. рис. 1, г) вдоль длины межподстанционной зоны представлены на рис. 3. Анализ графиков показывает, что они полностью идентичны графикам, приведенным в работе [1], снятым для режима двухстороннего питания при изменении места короткого замыкания по длине межподстанционной зоны.

Таким образом, по аварийным режимам работы СТЭ можно сделать вывод, что короткие замыкания в системе контактный провод-рельс или в системе силовой цепи электрооборудования электровоза

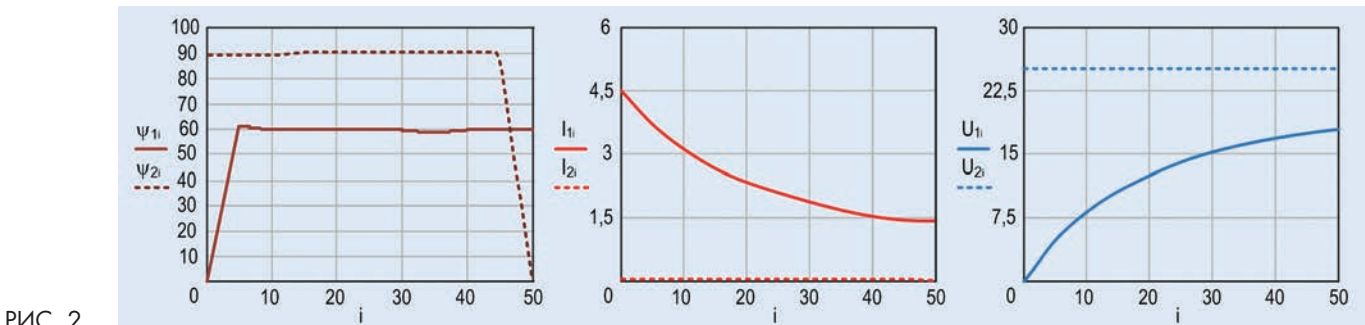


РИС. 2

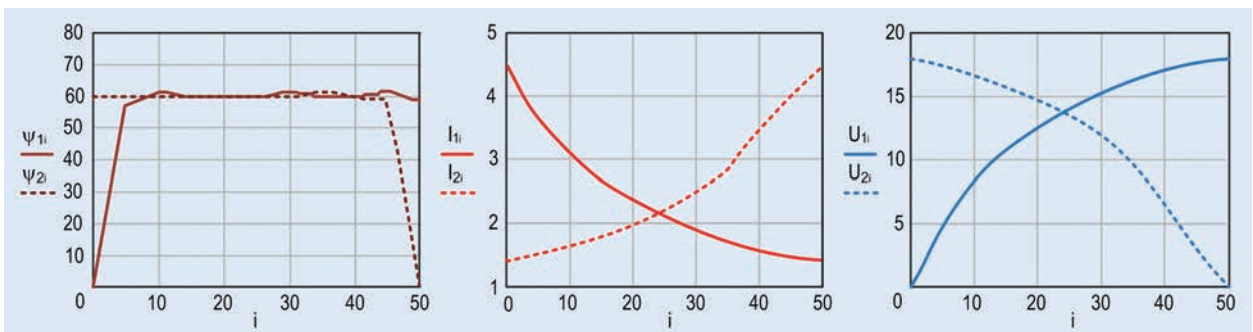


РИС. 3

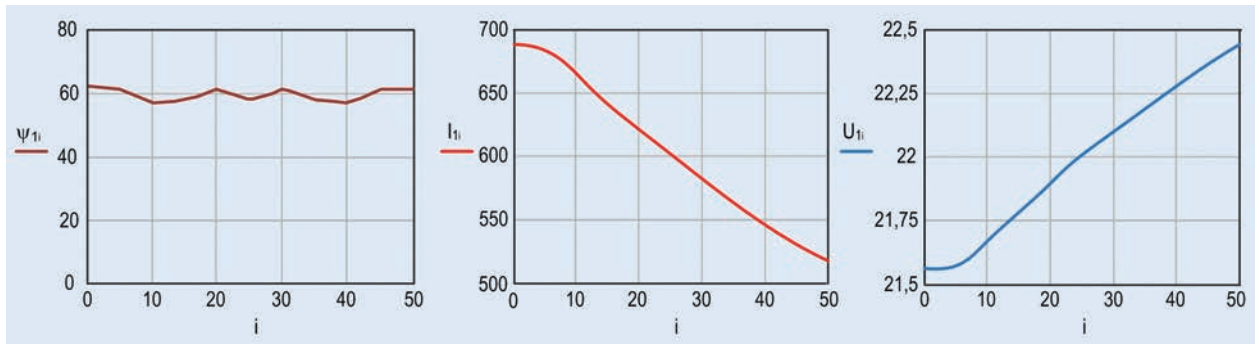


РИС. 4

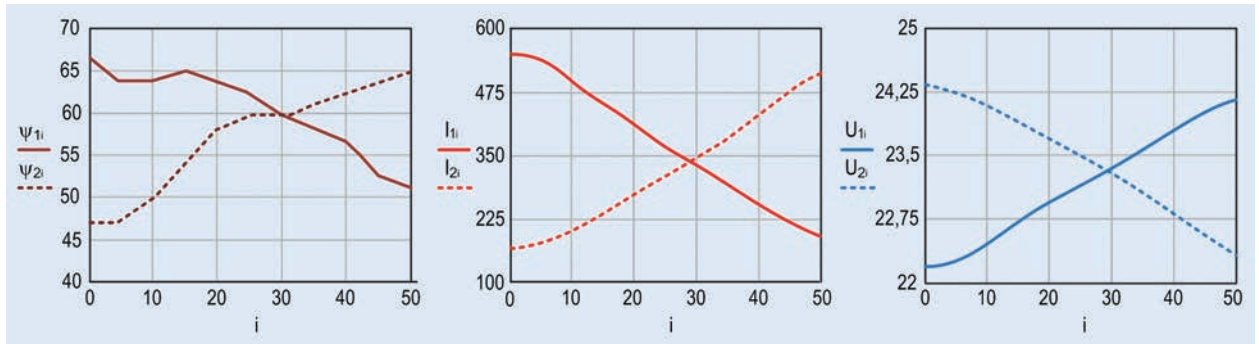


РИС. 5

неизменно приводят к уменьшению напряжения на питающих фидерах контактной сети тяговых подстанций от 0 до 18 кВ, увеличению тока от 1,4 до 4,5 кА и скачкообразному изменению аргумента комплексного сопротивления до 50–60°.

Обрыв контактного провода приводит к увеличению напряжения на питающих фидерах контактной сети до среднего значения 25 кВ и скачкообразному уменьшению тока до значений холостого хода или уравнительного тока величиной не более 30 А и скачкообразному изменению аргумента комплексного сопротивления до 80–90°. Указанные значения электрических параметров при возникновении аварийных режимов работы СТЭ значительно отличаются от параметров нормальных рабочих режимов, при которых напряжение на фидерах контактной сети не может быть менее 19 кВ, ток превышать значение 1 кА, а аргумент комплексного сопротивления КС при этом превышать 30–35° [3, 4]. Следовательно, перечисленные аварийные режимы работы СТЭ легко могут быть выявлены и идентифицированы современными микропроцессорными устройствами релейной защиты.

Для полноты исследования необходимо оценить влияние пусковых токов современных электровозов на параметры питающих фидеров контактной сети тяговых подстанций. В работах [5–7] проведен анализ тяговых характеристик электровоза ЗЭС5К, в ходе которого установлены максимальные значения пусковых токов указанного локомотива, которые находятся на уровне 800 А. С учетом максимальной реализуемой мощности на валах тяговых электродвигателей 9840 кВт электровоза ЗЭС5К произведем пересчет значения резистивного элемента в модели электровоза, представленной в работе [4],

$$R_{\text{э}} = \frac{P_{\text{А}}}{I^2} = \frac{9840 \text{ кВт}}{(800 \text{ А})^2} = 15,375 \text{ Ом.}$$

Осуществим моделирование пускового режима одиночного электровоза ЗЭС5К при тяге грузового

поезда массой 6300 т и снятие электрических параметров питающих фидеров контактной сети тяговых подстанций. Графики изменения электрических параметров питающих фидеров тяговых подстанций ТП1 и ТП2 при консольной и двухсторонней схеме питания и секционирования контактной сети соответственно в зависимости от изменения местоположения поезда вдоль длины межподстанционной зоны представлены на рис. 4 и рис. 5.

Анализ представленных графиков показывает, что аргумент комплексного сопротивления питающих фидеров контактной сети тяговых подстанций при действии пусковых токов электровоза ЗЭС5К в момент его нахождения в начале или конце межподстанционной зоны достигает значений 60–70°, что соответствует аварийному режиму работы СТЭ. При этом действующие на фидерах контактной сети токи не достигают 700 А и не являются критическими.

Для объективности исследования рассмотрим процесс одновременного действия пусковых токов двух электровозов в составе грузовых поездов массой 6300 т, следующих с интервалом 12 мин (12 км), при одностороннем питании (рис. 6). Осциллограммы тока и напряжения, снятые на питающем фидере тяговой подстанции ТП1 при одновременном действии пусковых токов двух электровозов, представлены на рис. 7. Разность начальных фаз между током и напряжением, исходя из осциллограмм, в момент пуска составляет 3,385 мс, что соответствует 61°. Значение тока на фидере контактной сети составляет 1,158 кА, а напряжение – 19,14 кВ.

Фиксируемые значения всех электрических параметров лежат в области аварийных режимов работы СТЭ и неизменно приводят к неоправданному (ложному) срабатыванию устройств микропроцессорных релейных защит [8]. Поскольку время переходных режимов при действии пусковых токов по условиям исправной работы электрооборудования ТП и элементов КС несравнимо мало с допустимыми значениями,



РИС. 6

исключению ложных срабатываний устройств микропроцессорных релейных защит будет способствовать разработанный авторами алгоритм прогнозирования динамики пусковых и переходных токов, представленный в работах [9–11].

Суть данного алгоритма состоит в анализе скорости изменения тока на фидере контактной сети и времени действия его амплитудного значения. В случае прогнозирования кратковременного действия тока, превышающего значение тока уставки, отклю-

чение фидера контактной сети не производится. При действии же тока критических величин продолжительностью более номинального значения происходит аварийное отключение фидера контактной сети и, таким образом, обеспечивается четкое разделение и разграничение режимов работы СТЭ, связанных с действием пусковых и переходных токов и чисто аварийных режимов.

Укрупненно интегрированный алгоритм оценки электрических параметров СТЭ, разработанный и предложенный в рамках автоматизации микропроцессорных устройств релейной защиты, представлен на рис. 8. В случае превышения напряжения на питающем фидере 19 кВ производится оценка значения тока. При токе менее 1 кА оценивается аргумент комплексного сопротивления контактной сети: если аргумент находится в области 5–40°, то для СТЭ это нормальный режим и рабочие параметры не выходят за нормируемые значения.

Если при напряжении менее 19 кВ значение тока фидера не превышает 3 кА, а значение аргумента комплексного сопротивления лежит в пределах 45–80°, то в работу включается предложенный авторами алгоритм прогнозирования динамики пусковых и переходных токов. Превышение значения тока 3 кА на фидере контактной сети однозначно указывает на наличие короткого замыкания и требует его отключения. В случае падения напряжения в контактной сети менее 19 кВ и одновременном росте тока на питающем фидере более 1 кА будет параллельно проводиться оценка аргумента комплексного сопротивления.

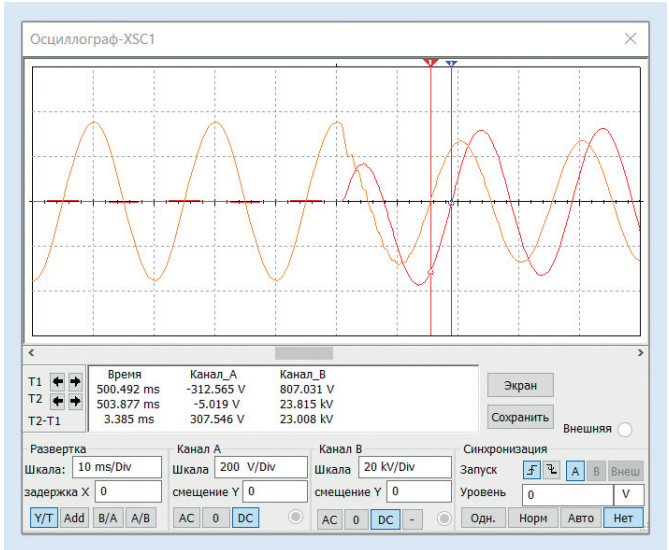


РИС. 7

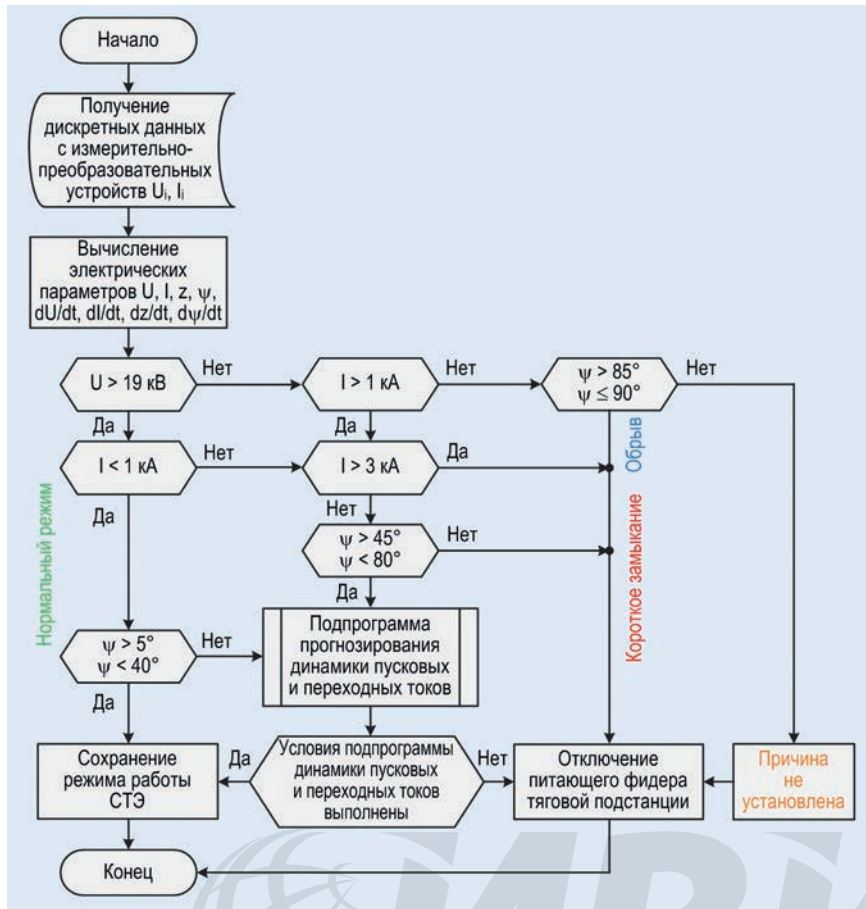


РИС. 8

Если его значение будет лежать в области $85\text{--}90^\circ$, то это указывает на обрыв контактного провода, и требуется аварийное отключение питающего фидера контактной сети тяговой подстанции. Необходимо признать, что при ином значении аргумента комплексного сопротивления причина аварийной ситуации в настоящее время не установлена и требуется отключение питающего фидера с последующим детальным анализом произошедшей ситуации.

Таким образом, следует отметить, что микропроцессорные устройства релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока на основе предложенного алгоритма смогут распознавать режимы работы СТЭ, связанные с движением тяговых поездов, пачек поездов, короткими замыканиями и обрывами элементов КС и замыканиями в силовой цепи электрооборудования электровоза.

В данной работе не рассмотрены важные режимы работы СТЭ, связанные с нелинейными процессами и появлением гармонических составляющих, возникающих в результате работы выпрямительных и инверторных установок современных электропоездов и использованием режима рекуперативного торможения. Эти режимы могут в значительной степени оказывать влияние на соотношения электрических параметров, анализируемых устройствами микропроцессорной релейной защиты [12, 13]. Между тем, предложенный подход при соответствующей доработке имитационных моделей позволит провести указанные исследования, результаты которых будут приведены в последующих работах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Димов А.В., Менакер К. В., Востриков М. В. Моделирование системы тягового электроснабжения переменного тока // Автоматика, связь, информатика. 2024. №3. С. 5–11. DOI: 10.34649/AT.2024.3.3.002. EDN: NJUZDK.

2. ГОСТ Р 55105-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. Введ. 01.03.2020. М.: Стандартинформ, 2020. 24 с.

3. СП 224.1326000.2014. Свод правил. Тяговое электроснабжение железной дороги : утв. Приказом Минтранса России от 02.12.2014 N 330.

4. ГОСТ Р 57670-2017. Системы тягового электроснабжения железной дороги. Методика выбора основных параметров. Введ. 01.05.2018. М.: Стандартинформ, 2017. 52 с.

5. Мельниченко О.В. Повышение энергетической эффективности тяговых электроприводов электропоездов переменного тока : дис. ... доктора техн. наук : 05.09.03 / Место защиты: Комсомольск-на-Амуре гос. тех. университет. Хабаровск, 2015. 22 с.

6. Раджибаев Д.О., Кахрамонов Ш.Н. Анализ тяговых показателей электровоза «Ермак» (ЗЭС5к) // Молодой ученый. 2021. № 8 (350). С. 16–19. EDN: OKCLOB.

7. Определение параметров математической модели преобразовательного электровоза переменного тока / А.С. Серебряков, Л.А. Герман, Д.Е. Дулепов, А.А. Максимова // Вестник НГИЭИ. 2015. № 12 (55). С. 77–81. EDN: VHJCBT.

8. Шагурина Е.С. Повышение эффективности функционирования в переходных режимах устройств релейной защиты на основе высших гармоник : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 / Место защиты: Иван. гос. энерг. ун-т. Иваново, 2012. 215 с. EDN: QFYQPX.

9. Востриков М.В. Автоматизированная подсистема микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока : дис. ... канд. техн. наук : 2.3.3 / Место защиты : ИргУПС. Иркутск, 2023. 144 с. EDN: BVLNIN.

10. Востриков М.В., Менакер К.В., Пулыяков А.В. Прогнозирование динамики пусковых и переходных токов с целью повышения селективности микропроцессорных устройств релейной защиты фидеров контактной сети // Транспорт Урала. 2021. № 1 (68). С. 86–92. DOI: 10.20291/1815-9400-2021-1-86-92. EDN: JGRKXH.

11. Автоматизация устройств микропроцессорной релейной защиты на основе использования нейросетевых технологий / В.Н. Сизых, А.В. Данеев, М.В. Востриков, К.В. Менакер // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 11. С. 324–337. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-11-324-337. EDN: PDUDLU.

12. Булатов, Ю.Н. Анализ процессов в системах тягового электроснабжения при наличии гармонических искажений / Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков, Е.В. Воронина // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 4(60). – С. 63–74. – DOI 10.18324/2077-5415-2023-4-63-74. – EDN: IUCQGG.

13. Воронина, Е.В. Определение форм кривых токов, напряжений и мгновенных мощностей при моделировании несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения / Е.В. Воронина, А.В. Крюков // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 2(12). – С. 108–118. – EDN: UTIIYV.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА НАДЕЖНОСТЬ СРЕДСТВ СВЯЗИ И АВТОМАТИКИ



МИТРОХИН
Валерий Евгеньевич,
Омский государственный университет путей сообщения, кафедра «Телекоммуникационные и радиотехнические системы и сети», профессор, д-р. техн. наук, г. Омск, Россия



НАУМОВ
Александр Сергеевич,
Омский государственный университет путей сообщения, кафедра «Телекоммуникационные и радиотехнические системы и сети», аспирант, г. Омск, Россия

Ключевые слова: телекоммуникационные сети, надежность, заземляющее устройство, мониторинг

Аннотация. В статье рассматривается влияние состояния заземляющих устройств на надежность функционирования телекоммуникационных сетей железнодорожного транспорта в условиях различных климатических зон Российской Федерации. Построена математическая модель, демонстрирующая прямую зависимость коэффициента готовности телекоммуникационной сети от коэффициента готовности контуров заземления. Разработан и испытан опытный образец аппаратно-программного комплекса непрерывного дистанционного мониторинга сопротивления заземления. Результаты испытаний подтвердили высокую чувствительность заземляющего устройства к изменениям температуры грунта. Предложена многоуровневая сеть мониторинга состояния заземляющих устройств с интеграцией в существующую инфраструктуру связи, позволяющая оперативно выявлять отклонения параметров заземления и обеспечить требуемые показатели надежности телекоммуникационных сетей.

■ В настоящее время зависимость функционирования инфраструктуры ОАО «РЖД» от стабильной и надежной передачи данных достигла небывалого уровня. При этом даже непродолжительные сбои в передаче данных способны привести, как минимум, к значительным финансовым потерям. Для обеспечения необходимого уровня надежности устройств железнодорожной связи, автоматики и энергоснабжения при проектировании учитывают показатели надежности аппаратуры и сетей. Однако аппаратура защиты зачастую остается без внимания.

В Российской Федерации телекоммуникационные сети распространяются по всей территории страны, где климатические условия варьируются от умеренно континентальных до арктических. Функционирование этих сетей подвержено влиянию различных природных факторов, среди которых особое значение имеют промерзание грунта и весенне-летняя грозовая активность, которые

существенно влияют на надежность телекоммуникационных систем.

В зависимости от региона глубина промерзания может варьироваться от сантиметров до нескольких метров [1]. Так, на севере Дальневосточного региона глубина промерзания грунта достигает 2,5 м, тогда как в Южном – 0,5 м. Причем степень промерзания грунта зависит от температуры воздуха, уровня влажности и типа почвы. В весенний период, когда температура начинает повышаться, слои почвы могут оттаивать неравномерно, в это же время повышается грозовая активность [2]. Молнии могут вызывать повреждение оборудования [3] из-за недостаточной эффективности заземляющих устройств, так как удельное сопротивление может быть все еще высоким, что приводит к сбоям в работе сетей связи.

Количество отказов из-за атмосферных перенапряжений зависит от многих внешних факторов. К ним относятся:

сильное влияние удельного сопротивления грунта;

местные геофизические и инженерно-технические факторы (локальные свойства грунта, длительность и глубина оттаивания, пересечения и сближения с ЛЭП, а также с заземленными сооружениями);

продолжительность грозовой активности, особенно в местах с невысоким удельным сопротивлением грунта;

влияние применяемых технических средств, включая электронные и микропроцессорные устройства, а также аппаратную защиту (эффективность зависит от фактической диэлектрической прочности и фактического сопротивления заземления защищаемых технических средств).

Анализ отказов аппаратуры и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики под воздействием атмосферных перенапряжений на полигоне Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры показывает увеличение нарушения нормальной работы устройств в последние годы [4]. К примеру, отсоединение заземляющего устройства по причине коррозии (рис. 1, а) привело к термическому разрушению кабелей и аппаратуры на станции после грозового разряда (рис. 1, б).

Выполним анализ надежности функционирования телекоммуникационных сетей с учетом факторов и требований, установленных ГОСТ Р 53111-2008 [5].

Напомним, что в качестве показателя надежности каналов телекоммуникационной сети применяется коэффициент готовности, который определяется как вероятность связности между двумя конечными точками этой сети. Для сетей передачи данных он должен быть не менее 0,99, международной и междугородней телефонной связи – не менее 0,999.

Для оценки влияния состояния заземляющего устройства на показатели надежности была использована укрупненная схема надежности узла связи (рис. 2). Эта схема отражает прямую зависимость функционирования телекоммуникационного оборудования от аппаратуры защиты, работоспособность которой в свою очередь зависит от состояния заземляющего устройства.

При этом коэффициент готовности узла связи будет состоять из следующих элементов:

$$K_y = K_{АЗ} \cdot K_{ЩЗ} \cdot K_{КЗ} \cdot K_3 \cdot K_{ОТ},$$

где $K_{АЗ}$ – коэффициент готовности аппаратуры защиты;

$K_{ЩЗ}$ – коэффициент готовности щита заземлений;

$K_{КЗ}$ – коэффициент готовности контуров заземления;

K_3 – коэффициент готовности электродов заземления;

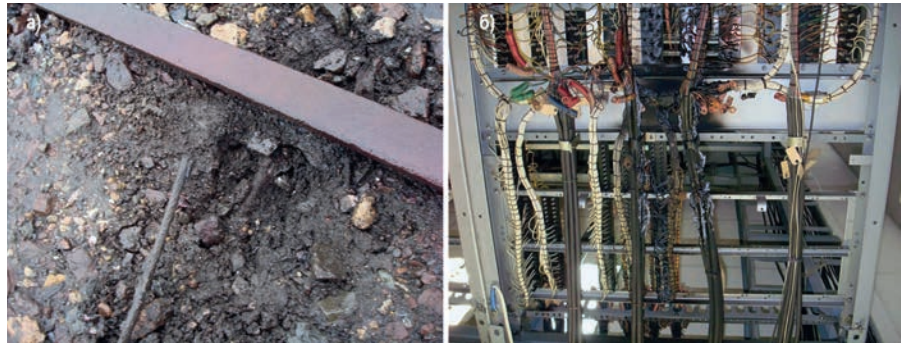


РИС. 1

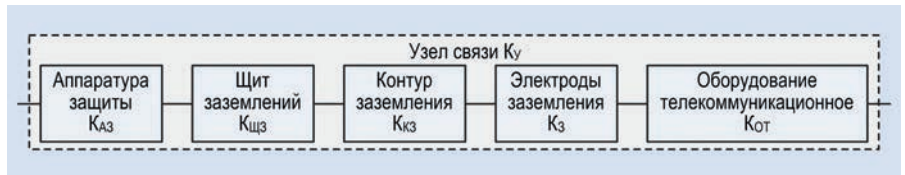


РИС. 2

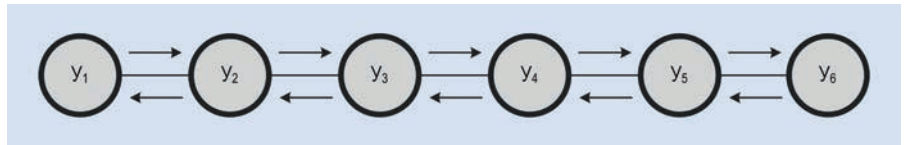


РИС. 3

$K_{ОТ}$ – коэффициент готовности телекоммуникационного оборудования.

Для оценки влияния состояния заземляющего устройства на надежность телекоммуникационной сети рассмотрим коэффициент готовности абстрактной формализованной телекоммуникационной сети [6] с линейной топологией (рис. 3).

Коэффициенты готовности узлов Y_1 – Y_6 телекоммуникационной сети рассчитываем с учетом каждого узла, представленного на рис. 2. Сначала осуществим расчет, в котором не учитывается контур заземления (рис. 4, красная линия 1). В этом случае коэффициент готовности формализованной сети находится в допустимом диапазоне значений (значения коэффициентов элементов сети примем равными 0,99987).

После этого включим в расчет коэффициент готовности контура заземления с учетом схемы надежности каждого узла (рис. 4, синяя линия 2).

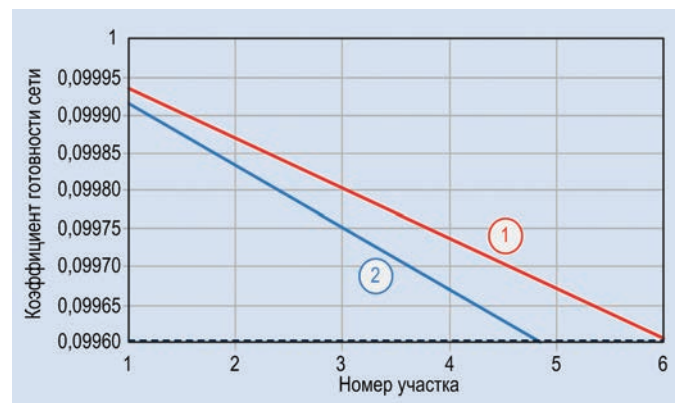


РИС. 4

Номер участка сети	Коэффициент готовности участков телекоммуникационной сети при К элементов 0,99984	
	без учета электродов заземления	с учетом электродов заземления
1	0,999340	0,999175
2	0,998681	0,998351
3	0,998022	0,997528
4	0,997363	0,996705
5	0,996705	0,995883
6	0,996048	0,995062

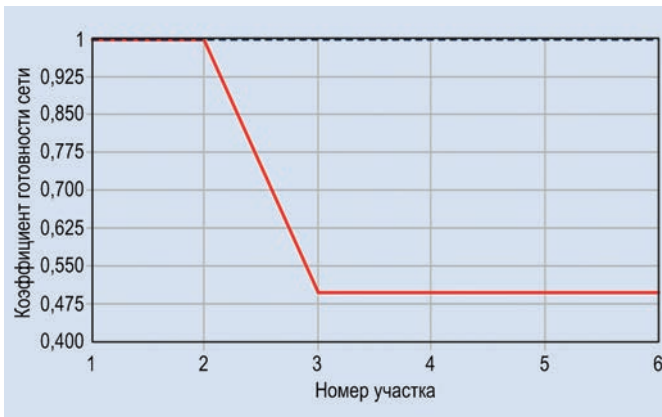


РИС. 5

Исходя из допущения, что все узлы находятся в одинаковых климатических условиях и срок эксплуатации контуров заземления одинаковый, прием значение коэффициента готовности контуров заземления равным коэффициенту готовности остальных элементов. В этом случае коэффициент готовности формализованной сети выходит за рамки допустимых значений.

Расчет показывает, что введение коэффициентов готовности контуров заземления узлов сети влечет снижение коэффициента готовности как участков, так и сети в целом, о чем свидетельствуют данные таблицы.

Для большей наглядности рассмотрим ситуацию с наихудшим стечением обстоятельств. Допустим, при плановой проверке состояния контуров за-

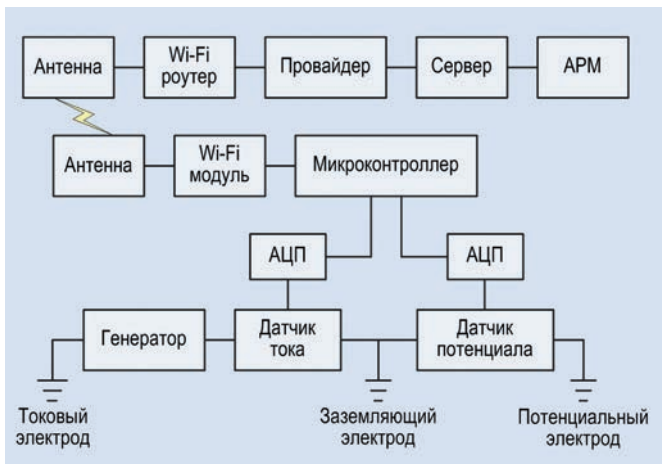


РИС. 6

земления узлов связи в зимний период не было выявлено отклонений от нормы. Однако вскоре после проверки строительная техника повредила контур заземления узла УЗ и он полностью вышел из строя. Учитывая, что следующая проверка состояния заземляющего устройства будет только через полгода, коэффициент готовности контура заземления узла УЗ за период в один год составит 0,5. В этом случае график коэффициента готовности сети будет выглядеть, как показано на рис. 5.

Из графика видно, что этот коэффициент фактически принимает катастрофическое значение. При этом в весенне-летний период грозовая активность будет регулярно выводить из строя телекоммуникационное оборудование или, как минимум, приводить к перерывам связи и потере данных.

Даже если исключить возможность такой «крайней» ситуации, по-прежнему остается изменение параметров контуров заземления по причинам «старения», промерзания и пересыхания грунта, а также механических воздействий. Это изменение оказывает значительное влияние на показатели надежности телекоммуникационных сетей. Поэтому необходимо учитывать срок эксплуатации контуров заземления, удельное сопротивление грунта конкретной местности, глубину установки контуров заземления, температуру и время промерзания грунта, а также время и интенсивность гроз. При расчете также нельзя забывать о том, что контроль состояния контуров заземления осуществляется с периодичностью два раза в год.

Поскольку контуры заземления выполняют свою роль при воздействии внешних дестабилизирующих факторов, непрерывный мониторинг состояния контуров позволит отслеживать отклонение их параметров от нормы, значительно ускорить устранение их неисправности и предотвратить отказ оборудования, а также довести коэффициент готовности телекоммуникационной сети до необходимого расчетного уровня.

Для обеспечения непрерывного мониторинга сопротивления заземления был разработан аппаратно-программный комплекс, структурная схема которого приведена на рис. 6.

Генератор представляет собой инверторный преобразователь постоянного напряжения 12 В в переменное частотой 50 Гц. В качестве датчика тока используется трансформатор, подключенный к нагрузочному резистору, с которого снимается сигнал. Для согласования уровня сигнала датчика тока с необходимым уровнем сигнала АЦП установлен операционный усилитель. Датчик потенциала изготовлен с использованием сдвоенного операционного усилителя для обеспечения развязки потенциалов.

Преобразование аналогового сигнала в цифровой и последующая его обработка организованы на базе микроконтроллера Arduino. Передача данных осуществляется с помощью Wi-Fi. Сбор и хранение данных производится на удаленном сервере. Благодаря этому доступ к данным можно получить по сети интернет в любой удобной локации.

Опытный образец прибора непрерывного дистанционного мониторинга дополнительно оснащен

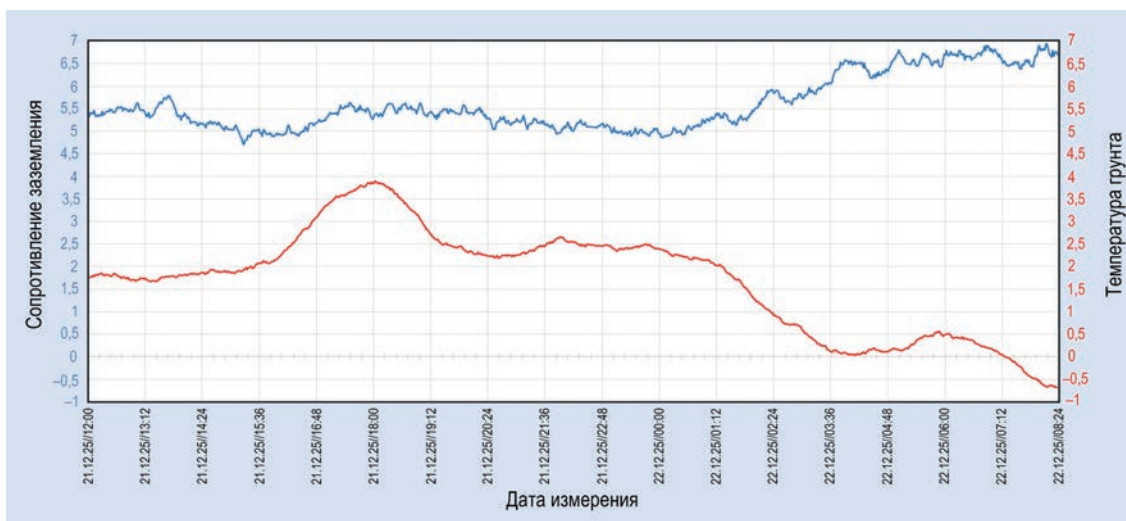


РИС. 7

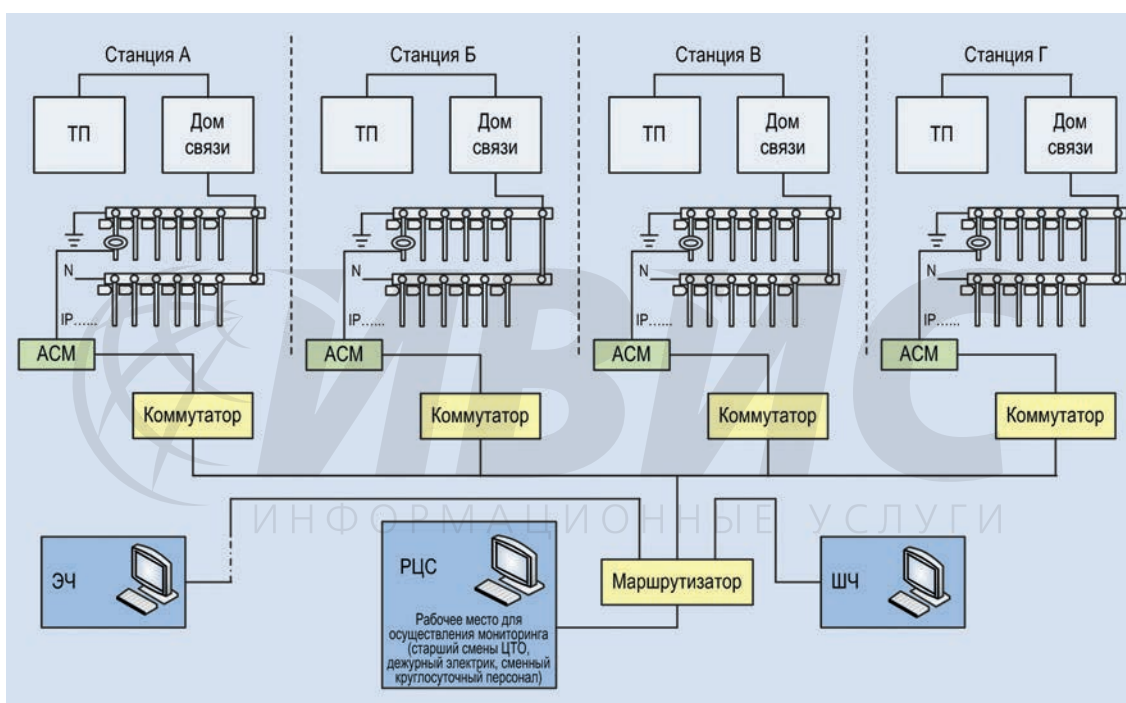


РИС. 8

датчиком температуры грунта, в качестве которого использовался терморезистор с делителем напряжения и операционный усилитель, и испытан в период резкого понижения температуры окружающей среды (рис. 7). Из полученных данных непрерывного дистанционного мониторинга видно, что снижение температуры грунта ведет к повышению сопротивления заземления.

Непрерывный дистанционный мониторинг состояния заземляющего устройства даст возможность исключить ухудшение коэффициента готовности сети, поскольку сопротивление заземления всегда будет под контролем. В случае его отклонения от нормы можно оперативно направить ремонтную бригаду и предотвратить повреждение оборудования от воздействия дестабилизирующих факторов. Например, в зимний период в качестве временной меры для снижения сопротивления заземления можно параллельно контуру заземления подклю-

чить токовый и потенциальный электроды, установленные для периодического контроля состояния заземлителя.

Для обеспечения непрерывного дистанционного мониторинга состояния контуров заземления в качестве измерительных датчиков, как вариант, возможно использовать токовые клещи по безэлектродному методу измерения сопротивления заземления в совокупности с передачей информации по ВОЛС [7].

В общем случае передачу данных от датчиков непрерывного мониторинга можно организовать по многоуровневой сети мониторинга состояния (рис. 8), используя уже существующие информационные каналы связи.

Первый уровень сети представляет собой датчики снятия сигналов тока, потенциала и сопротивления заземления. Второй – автоматизированную систему мониторинга (АСМ), в которой происходит цифровая

обработка сигнала и формирование данных для дальнейшей передачи. На третьем уровне осуществляется коммутация и маршрутизация цифровых потоков, на четвертом – визуализация информации на АРМ диспетчеров.

На сервере диспетчера информация от каждого датчика будет регистрироваться и сохраняться в базе данных. Диспетчер в режиме реального времени сможет контролировать текущее состояние каждого контура заземления. Поскольку объектов для мониторинга может быть достаточно много в программном обеспечении предусмотрен аварийный сигнал, который при отклонении параметров от нормы оповестит диспетчера с точным указанием объекта и контура заземления.

В то же время в зависимости от инфраструктуры участков железнодорожного транспорта, сбор и хранение данных может осуществляться по разным информационным каналам. Если объект не предусматривает постоянного присутствия обслуживающего персонала, устройство мониторинга можно оснастить постоянным запоминающим устройством, что позволит в периоды обслуживания снимать показания для последующего анализа.

Таким образом, организация непрерывного дистанционного мониторинга контуров заземления позволит сохранить материально-техническую базу систем связи и железнодорожной автоматики, снизить потери и искажения данных, а также материальные и физические затраты на периодический контроль состояния заземляющего устройства, который явля-

ется трудоемкой задачей, требующей задействования высококвалифицированного персонала на объектах не реже двух раз в год.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петрова Е.А. Глубины промерзания разных типов грунта по регионам России // Записки проектировщика: сайт. 2025. 21 дек. URL: <https://bim-proektstroy.ru/глубины-промерзания-разных-типов-гру/>.

2. Карта грозовой активности // Ezetek : сайт. 2025. 21 дек. URL: <https://ezetek.ru/poleznye-statii/karta-grozovoj-aktivnosti/>

3. Шарнин С. Г., Закиров В.И., Золотухин В.В. Надежность современных инфокоммуникационных сетей связи // Перспективы развития информационных технологий. 2012. № 10. С. 135–143. EDN: RPESTV.

4. Монид О.И., Копанев М.В., Кондратюк Т.В. Анализ причин и последствий действия грозových перенапряжений в системах ЖАТ // Молодая наука Сибири. 2021. № 1. URL: <http://mnv.ircgups.ru/toma/111-21>. EDN: WTCPDF.

5. ГОСТ Р 53111–2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. Введ. 01.10.2010. Изм. 01.12.2018. М.Стандартинформ, 2019.


6. Митрохин В.Е. Структурная надежность неоднородных развивающихся телекоммуникационных сетей // Надежность функционирования и информационная безопасность телекоммуникационных систем железнодорожного транспорта: материалы Всероссийской научной-технической Интернет-конференции с международным участием. Омск: ОмГУПС, 2013. С. 6–16. EDN: QHDWIY.

7. Митрохин В.Е., Наумов А.С. Дистанционный мониторинг состояния заземляющего устройства // Безопасность цифровых технологий. 2023. № 2 (109). С. 9–20. DOI: 10.17212/2782-2230-2023-2-9-20. EDN: KWPOJK.

ПЗФ-300

Измеритель параметров УЗО и сопротивления сети

Гарантия 36 месяцев




НОВИНКА!

- Проверка параметров общих и селективных УЗО типов А, АС с номинальными дифференциальными токами 10, 30, 100, 300 и 500 мА при протекании синусоидального и пульсирующего постоянного тока с углом задержки фазы 0, 90 и 135°;
- измерение полного сопротивления петли «фаза-нуль» и «фаза-фаза» от 0,01 до 300 Ом с вычислением прогнозируемого тока КЗ от 0,001 до 24 (41) кА;
- измерение сопротивления металlosвязи от 0,01 до 20 Ом;
- измерение напряжения переменного тока L-N от 10 до 450 В, L-PE и N-PE от 10 до 300 В;
- рабочие условия эксплуатации прибора от -15 до +55 °С.

ОСОБЕННОСТИ:

- измерение напряжения прикосновения при протекании номинального дифференциального тока УЗО;
- проведение испытаний в автоматическом режиме по заранее выбранной программе;
- магнитный держатель;
- беспроводная связь с ПК (Bluetooth), память на 10 000 измерений;
- межповоротный интервал 2 года.



на правах рекламы

Е6-31, Е6-31/1, Е6-32

Мегаомметры


Гарантия 24 месяца

- Индикация остаточного напряжения на объекте по окончании измерения;
- работа в условиях сильных помех.

Прибор	Е6-32	Е6-31	Е6-31/1
Измерение сопротивления изоляции	от 1 кОм до 300 ГОм		
Испытательные напряжения	от 50 до 2500 В с шагом 10 В	500, 1000, 2500 В	100, 250, 500, 1000 В

ДОПОЛНИТЕЛЬНО ДЛЯ Е6-32:

- измерение классификационного напряжения ограничителей перенапряжения от 100 до 1500 В;
- измерение напряжения пробоя разрядников от 100 до 3000 В;
- измерение электрического сопротивления постоянному току (металlosвязь) от 0,01 до 9,99 Ом;
- расчет коэффициента поляризации;
- измерение переходного сопротивления изоляционного покрытия трубопроводов согласно ГОСТ 9.602-2005;
- обработка данных в программе RS-Terminal®.



Е6-32: Связь с ПК через Bluetooth

ИС-20, ИС-20/1


Измерители сопротивления заземления

Гарантия 24 месяца

- Измерение сопротивления заземления трех- или четырехпроводным методом;
- вычисление удельного сопротивления грунта в Ом/м.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО ДЛЯ ИС-20/1:

- измерение сопротивления без вспомогательных электродов с применением двух клещей;
- измерение сопротивления единичного заземлителя в многоэлементной системе без разрыва цепи.



426000, г. Ижевск, а/я 10047, ул. Пушкинская, 268, тел.: (3412) 43-91-44
факс: (3412) 43-92-63, e-mail: office@radio-service.ru, www.radio-service.ru

СДЕЛАНО В РОССИИ

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ А-ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА ПУТЕВОГО ФИЛЬТРА ФПМ



ЮСУПОВ

Руслан Рифович,

Приволжский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», доцент, канд. техн. наук, г. Самара, Россия



ХОХРИН

Алексей Сергеевич,

Приволжский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», доцент, канд. техн. наук, г. Самара, Россия



ЩЕРБИНА

Евгений Геннадьевич,

ООО «1520 Сигнал», технический директор, доцент, канд. техн. наук, Москва, Россия



ПАВЛОВ

Евгений Владимирович,

АО «ЭЛТЕЗА», первый заместитель генерального директора, канд. техн. наук, Москва, Россия

Ключевые слова: цифровой двойник, тональная рельсовая цепь, фильтр путевой, метод трех известных нагрузок, методика измерения коэффициентов четырехполюсника

Аннотация. В статье представлена методика, позволяющая измерить значения А-параметров четырехполюсника путевого фильтра ФПМ тональных рельсовых цепей (ТРЦ) с учетом условий его работы в конкретной ТРЦ, что повысит адекватность цифрового двойника данной ТРЦ.

■ Важными элементами железнодорожной инфраструктуры, от качества функционирования которых зависит безопасность и бесперебойность движения поездов, являются электрические рельсовые цепи (РЦ). Необходимость контроля качества их функционирования и соответствия предъявляемым требованиям на всех этапах жизненного цикла делает актуальной задачу разработки их цифровых двойников (ЦД) и подготовки способных решать ее специалистов. И эта работа уже ведется учеными железнодорожных вузов России [1, 2].

Цифровой двойник изделия – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями [3]. ЦД разрабатывается и применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия. При создании и применении ЦД изделия участникам процессов жизненного цикла (по ГОСТ Р 56135) рекомендуется применять

программно-технологическую платформу цифровых двойников (см. п. 6.3 [3]).

Цифровая модель изделия – это система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла. Для этой системы на основании результатов цифровых и/или иных испытаний по ГОСТ 16504 выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям [3].

Цифровая модель создается с использованием программного обеспечения компьютерного моделирования и/или инструментальных программных и иных средств. Наполнение и функциональность цифровой модели зависит от стадии жизненного цикла изделия.

При разработке и актуализации ЦД рельсовых цепей с использованием эквивалентной схемы

замещения на основе каскадного соединения четырехполюсников (ЧП) важное значение имеет актуальность и точность используемых в ЦД данных, в частности, коэффициентов A, B, C, D (A -параметров) четырехполюсников, замещающих элементы РЦ. И здесь возникает следующая сложность. Значения коэффициентов ЧП путевого фильтра типа ФПМ, применяемого в ТРЦ, зависят от многих величин: несущей частоты f_n сигнала ТРЦ, типа ФПМ (ФПМ 8,9,11 или ФПМ 11,14,15), настройки и схемы включения ФПМ (сочетания установленных перемычек для настройки в резонанс и используемых выходных контактов), технологического разброса и изменения в процессе эксплуатации значений параметров элементов ФПМ.

Трансформатор также является нелинейным элементом по причине нелинейности индуктивности намагничивания вследствие изменения магнитной проницаемости материала сердечника при изменении напряжений на его обмотках (особенно характерно для трансформаторов, выполненных на сердечниках с минимальным воздушным зазором или без него). Поэтому нелинейность расположенного в ФПМ трансформатора приводит к зависимости коэффициентов ЧП ФПМ от напряжения на входе ФПМ.

На практике при эксплуатации ФПМ это напряжение устанавливается согласно регулировочной таблице конкретной ТРЦ. Его диапазон возможных значений определяется диапазоном значений выходного напряжения путевого генератора ГП, подключаемого ко входу ФПМ, и может составлять [4] от 1 до 6 В. При этом в результате резонанса напряжений входное напряжение трансформатора ФПМ может достигать 70 В. Как следствие, не имеется справочных значений коэффициентов ЧП ФПМ на все сочетания его типов, частот сигнала, настроек перемычками, схем включения и условий эксплуатации. Это приводит к тому, что при разработке и актуализации цифровых двойников ТРЦ возникает необходимость измерения значений коэффициентов ЧП конкретных экземпляров ФПМ, применяемых в конкретных условиях эксплуатации.

Наиболее общим методом определения коэффициентов ЧП является метод трех известных нагрузок [5–7]. В зависимости от условий работы четырехполюсника и пределов изменения напряжений и токов нагрузки могут выбираться в пределах по модулю от 0 до ∞ и аргументу от $+\pi/2$ до $-\pi/2$.

Сегодня в практике измерения коэффициентов A, B, C, D линейных ЧП применяют следующие методы [5, 8–11]:

холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ);

ХХ, КЗ и известной нагрузки; непосредственной оценки.

Первые два указанных метода являются вариациями метода трех известных нагрузок для частных случаев граничных значений нагрузок (холостой ход – сопротивление нагрузки равно ∞ , короткое замыкание – сопротивление нагрузки равно 0). В третьем методе также используются режимы ХХ и КЗ четырехполюсника.

Измерения на граничных значениях нагрузок (0 и ∞) упрощают последующие расчеты, но использование данных методов возможно только при условии сохранения линейности характеристик ЧП в режимах ХХ и КЗ и при наличии достаточно мощного генератора сигналов. Кроме того, режим КЗ может оказаться неприемлемым для трансформатора по причине выхода токов за предельно допустимые значения.

Данные методы находят применение в том числе и в учебном процессе. Однако при отсутствии достаточного по мощности генератора сигналов для реализации опыта КЗ возникает необходимость в методе, менее требовательном к приборам.

Как было отмечено, нелинейность расположенного в ФПМ трансформатора приводит к зависимости коэффициентов ЧП ФПМ от напряжения на входе ФПМ. Поэтому использование трех перечисленных методов не позволяет получить значения коэффициентов ЧП ФПМ, соответствующие конкретным условиям его эксплуатации.

Для решения данной задачи измерение коэффициентов необходимо производить при определенном (заранее заданном, например, в соответствии с регулировочной таблицей ТРЦ) значении напряжения на входе ФПМ (назовем это значение условно рабочей точкой РТ ФПМ).

Авторами предлагается следующая методика измерения коэффициентов ЧП ФПМ в конкретной РТ ФПМ.

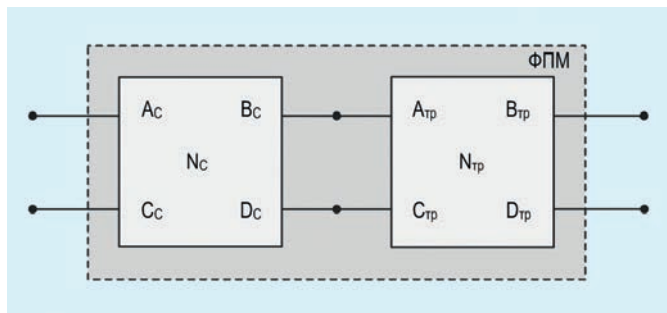
Сначала ЧП ФПМ $N_{\text{ФПМ}}$ разбивается на два каскадно соединенных ЧП: N_C – ЧП конденсаторов и $N_{\text{ТР}}$ – ЧП трансформатора (см. рисунок).

Далее последовательно выполняются следующие этапы.

Этап 1. Определение РТ трансформатора ФПМ. Исходя из реальных нагрузок трансформатора ФПМ определяются номинальные значения нагрузочных сопротивлений $R_{H1} - R_{H5}$. Их рекомендуется подбирать так, чтобы R_{H1} было приблизительно равно модулю минимального значения сопротивления нагрузки на выходе ФПМ при его включении в конкретную рельсовую цепь, R_{H3} – модулю максимального значения, а $R_{H2} \approx (R_{H1} + R_{H3})/2$. Значения R_{H4} и R_{H5} выбираются промежуточными между R_{H1} и R_{H2} , R_{H2} и R_{H3} соответственно.

Далее в заданной РТ ФПМ измеряется значение напряжения на входе трансформатора ФПМ при подключении к его выходу нагрузочного сопротивления R_{H2} . Назовем это значение напряжения условно рабочей точкой трансформатора и обозначим как $U_{\text{РТ ТР}}$.

Этап 2. Измерение коэффициентов ЧП трансформатора. Измерение осуществляется методом трех известных нагрузок. Суть метода состоит в том, что к выходу ЧП трансформатора поочередно подключают три нагрузочных сопротивления R_{H1} , R_{H2} , R_{H3} . Затем



измерениями определяют, в какие значения входных сопротивлений $Z_{вх.тр.изм.1}$, $Z_{вх.тр.изм.2}$, $Z_{вх.тр.изм.3}$ эти сопротивления трансформируются. При этом важно для каждого нагрузочного сопротивления перед измерениями выставлять на входе трансформатора значение напряжения, равное или максимально близкое к $U_{PT, TP}$ (это значение было определено на первом этапе). Для измерения комплексных входных сопротивлений можно воспользоваться схемой измерений (на рис. 2.3. в [8]). При отсутствии цифрового осциллографа также можно использовать метод трех вольтметров, описанный в [5, с. 110]. Однако в этом случае погрешность измерения аргументов сопротивлений увеличится.

Далее коэффициенты ЧП трансформатора определяются выражениями:

$$A_{TP} = \frac{Z_{вх.тр.изм.2} - \frac{n}{m} Z_{вх.тр.изм.1}}{\sqrt{\frac{n}{m} \cdot (R_{H1} - R_{H2}) \cdot (Z_{вх.тр.изм.1} - Z_{вх.тр.изм.2})}}; \quad (1)$$

$$B_{TP} = \frac{Z_{вх.тр.изм.1} R_{H2} \frac{n}{m} - Z_{вх.тр.изм.2} R_{H1}}{\sqrt{\frac{n}{m} \cdot (R_{H1} - R_{H2}) \cdot (Z_{вх.тр.изм.1} - Z_{вх.тр.изм.2})}}; \quad (2)$$

$$C_{TP} = \frac{1 - \frac{n}{m}}{\sqrt{\frac{n}{m} \cdot (R_{H1} - R_{H2}) \cdot (Z_{вх.тр.изм.1} - Z_{вх.тр.изм.2})}}; \quad (3)$$

$$D_{TP} = \frac{\frac{n}{m} R_{H2} - R_{H1}}{\sqrt{\frac{n}{m} \cdot (R_{H1} - R_{H2}) \cdot (Z_{вх.тр.изм.1} - Z_{вх.тр.изм.2})}}; \quad (4)$$

где

$$n = \frac{R_{H1} - R_{H3}}{R_{H2} - R_{H3}}; \quad (5)$$

$$m = \frac{Z_{вх.тр.изм.1} - Z_{вх.тр.изм.3}}{Z_{вх.тр.изм.2} - Z_{вх.тр.изм.3}}. \quad (6)$$

Этап 3. Определение коэффициентов ЧП конденсаторов осуществляется путем измерения их емкости $C_{кон}$ и расчета в соответствии с выражением

$$N_C = \begin{bmatrix} A_C & B_C \\ C_C & D_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2\pi f_{кон} C_{кон}} \cdot e^{-j90^\circ} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где $C_{кон}$ – емкость параллельно соединенных конденсаторов ФПМ в рассматриваемом варианте включения.

Этап 4. Определение коэффициентов ЧП ФПМ осуществляется перемножением матриц А-параметров ЧП конденсаторов и ЧП трансформатора:

$$N_{ФПМ} = N_C \cdot N_{TP}. \quad (8)$$

Реализация данной методики была выполнена путем измерения и проверки правильности коэффициентов ЧП ФПМ 8,9,11, настроенного на частоту несущей $f_n = 480$ Гц сигнала ТРЦ (вход ФПМ – контакты 11-71, выход ФПМ – контакты 12-61, установлены перемычки между контактами 42-23-22-21).

Для проведения измерений использовались: генератор сигналов низкочастотный ГЗ-121; усилитель мощности низкочастотный RDC2-0053; трансформатор типа ПОБС-5МП; цифровой частотомер

GWINSTEK GFC-8010H; цифровой вольтметр В7-82; пять резисторов нагрузки ФПМ; дополнительный резистор для измерения входного сопротивления трансформатора ФПМ методом трех вольтметров.

На первом этапе представленной методики была определена РТ трансформатора (напряжение на контактах 11-42 ФПМ составило 14 В).

На втором этапе выполнялись измерения входного сопротивления трансформатора ФПМ с использованием нагрузочных сопротивлений R_{H1} , R_{H2} , R_{H3} и при неизменном входном напряжении трансформатора. В результате данных измерений и расчетов согласно (1)–(6) были получены значения коэффициентов ЧП трансформатора ФПМ:

$$A_{TP} = 1,114 \cdot e^{-j0,9^\circ}; B_{TP} = 8,250 \cdot e^{-j29,1^\circ}; \\ C_{TP} = 0,01524 \cdot e^{-j87,8^\circ}; D_{TP} = 0,9615 \cdot e^{-j4,8^\circ}.$$

На третьем этапе измерителем иммитанса измерена емкость $C_{кон}$ параллельно соединенных перемычками конденсаторов С6, С7 и С8 ($C_{кон} = 4,485$ мкФ). В соответствии с (7) получена матрица коэффициентов ЧП конденсаторов ФПМ:

$$N_C = \begin{bmatrix} 1 & 73,93 \cdot e^{-j90^\circ} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

И, наконец, на четвертом этапе согласно (8) определены значения коэффициентов ЧП ФПМ:

$$N_{ФПМ} = \begin{bmatrix} A_{ФПМ} & B_{ФПМ} \\ C_{ФПМ} & D_{ФПМ} \end{bmatrix} = N_C N_{TP} = \\ = \begin{bmatrix} 0,06248 \cdot e^{-j101,4^\circ} & 66,83 \cdot e^{-j89^\circ} \\ 0,01524 \cdot e^{-j87,8^\circ} & 0,9615 \cdot e^{-j4,8^\circ} \end{bmatrix}.$$

Проверка правильности определения коэффициентов трансформатора ФПМ осуществлялась путем расчета через полученные параметры значений и проверки на физическую правдоподобность:

модулей и аргументов входных сопротивлений трансформатора ФПМ со стороны входа ($Z_{1.тр.хх}$ и $Z_{1.тр.кз}$) и со стороны выхода ($Z_{2.тр.хх}$ и $Z_{2.тр.кз}$) в режимах ХХ и КЗ соответственно;

характеристических параметров трансформатора ФПМ.

Расчетами получены следующие значения входных сопротивлений:

$$Z_{1.тр.хх} = 73,07 \cdot e^{j86,9^\circ} \text{ Ом}; Z_{2.тр.хх} = 63,09 \cdot e^{j82,9^\circ} \text{ Ом}; \\ Z_{1.тр.кз} = 8,58 \cdot e^{j33,9^\circ} \text{ Ом}; Z_{2.тр.кз} = 7,41 \cdot e^{j30^\circ} \text{ Ом}.$$

Как видно, модули этих сопротивлений имеют порядок десятков (в режиме ХХ) и единиц (в режиме КЗ) Ом. Значения модулей при переходе от режима ХХ к режиму КЗ уменьшаются, что логично с точки зрения физических процессов, происходящих при этом в трансформаторе.

Аргументы этих сопротивлений положительны, т.е. сопротивления имеют индуктивный характер, что также логично для данного трансформатора на рассматриваемой частоте. Значения аргументов при переходе от режима ХХ к режиму КЗ уменьшаются, т.е. уменьшается доля реактивной составляющей и увеличивается доля активной составляющей сопротивлений. Это также правдоподобно и логично с точки зрения физических процессов, происходящих в трансформаторе при переходе от режима ХХ к режиму КЗ.

Значения характеристических параметров транс-

форматора ФПМ, рассчитанные через найденные коэффициенты его четырехполюсника, составили:
характеристическое сопротивление со стороны входа – $Z_{1с.тр} = 25,04 \cdot e^{j60,4^\circ}$ Ом;
характеристическое сопротивление со стороны выхода – $Z_{2с.тр} = 21,62 \cdot e^{j56,5^\circ}$ Ом;
характеристическая постоянная передачи – $g_{с.тр} = 0,3085 - j0,1666$;
собственное затухание (ослабление) трансформатора – $a_{тр} = 2,68$ дБ;
характеристическая постоянная (коэффициент) фазы трансформатора – $b_{тр} = -30,0^\circ$.

Полученные значения характеристических параметров трансформатора представляются адекватными.

Для проверки правильности определения значений коэффициентов ЧП трансформатора ФПМ и фильтра в целом были выполнены также следующие расчеты с подключением на выходе ФПМ нагрузок $R_{н4}$ и $R_{н5}$ (в рабочем режиме):

модуля и аргумента входного сопротивления трансформатора ФПМ;
модуля входного тока трансформатора ФПМ;
модуля входного напряжения трансформатора ФПМ;
модуля входного тока ФПМ;
модуля входного напряжения ФПМ.

Результаты первой проверки показали: расхождение измеренных приборами и рассчитанных через найденные коэффициенты $A_{тр}$, $B_{тр}$, $C_{тр}$ и $D_{тр}$ значений модуля входного тока и модуля входного напряжения трансформатора ФПМ не превысило 0,02 и 0,03 % соответственно.

Результаты второй и третьей проверок показали, что расхождение измеренных приборами и рассчитанных через найденные коэффициенты $A_{тр}$, $B_{тр}$, $C_{тр}$ и $D_{тр}$ значений модуля входного тока и модуля входного напряжения трансформатора ФПМ в обеих проверках не превысило 0,95 %.

Результаты четвертой и пятой проверок показали, что расхождение измеренных приборами и рассчитанных через найденные коэффициенты $A_{ФПМ}$, $B_{ФПМ}$, $C_{ФПМ}$ и $D_{ФПМ}$ значений модуля входного тока и модуля входного напряжения ФПМ в обеих проверках не превысило 0,7 %.

Результаты совокупности всех выполненных проверок указывают на то, что значения коэффициентов ЧП ФПМ определены с точностью, приемлемой для использования в расчетах регулировочных характеристик рельсовых цепей.

Перечисленные в статье методы измерения коэффициентов ЧП имеют существенный в случае ФПМ недостаток: в них используются режимы ХХ и КЗ. Это может привести к некорректности получаемых значений коэффициентов ЧП ФПМ вследствие нелинейности трансформатора ФПМ.

Методика измерения коэффициентов ЧП ФПМ, представленная в статье и рассмотренная на конкретном примере, позволяет использовать линейную модель трансформатора ФПМ. Это становится возможным благодаря тому, что значения коэффициентов ЧП ФПМ определяются в конкретной РТ ФПМ, а саму РТ ФПМ (или множество РТ) можно задавать в соответствии с условиями работы ФПМ в конкретной

РТЦ, для которой разрабатывается или актуализируется ее цифровой двойник, например, используя данные регулировочной таблицы этой РТЦ.

Применение данной методики измерения коэффициентов ЧП ФПМ позволит повысить адекватность разрабатываемых и/или актуализируемых цифровых двойников обслуживаемых в дистанциях СЦБ тональных рельсовых цепей. Методика вполне реализуема в учебном процессе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соколов, М. М. Применение цифровых двойников для анализа состояния рельсовых цепей железных дорог / М. М. Соколов, А. Г. Ходкевич // Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития : Сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Воронеж, 06 сентября 2022 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований». – 2022. – С. 74–76.

2. Диагностика изолирующих стыков на основе оценки предотказных состояний. Е. М. Тарасов, А. Е. Тарасова, В. А. Надежкин, И. С. Бредун // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 6. – С. 2–4. DOI: 10.62994/AT.2025.6.6.001

3. ГОСТ Р 57700.37-2021. Цифровые двойники изделий. Общие положения : нац. стандарт Рос. Федерации : утв. Приказом Росстандарта от 16.09.2021 № 979-ст / ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», С.-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого. – Введ. 01.01.2022. – Москва : Российский институт стандартизации. – 2021. – 7 с.

4. Сороко, В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики : справочник : в 5 кн. Кн. I / В. И. Сороко, Ж. В. Фоткина. – 5-е изд. – Москва : ООО «НПФ «ПЛАНЕТА». – 2020. – 968 с.

5. Дмитренко, И. Е. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте / И. Е. Дмитренко, А. А. Устинский, В. И. Цыганков. – Москва : Транспорт. – 1982. – 312 с.

6. Щербина Е. Г., Щербина А. Е. Определение параметров математической модели дроссель-трансформатора // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 5. С. 17–23. DOI: 10.34649/AT.2023.5.5.003

7. Щербина Е. Г., Щербина А. Е., Гоман Е. А. Параметры эквивалентного четырехполюсника дроссель-трансформаторов ДТЕ-0,2/0,4-1500М // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 10. С. 15–22. DOI: 10.34649/AT.2023.10.10.001

8. Исследование электрических параметров элементов рельсовых цепей: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Измерения в устройствах автоматики и телемеханики» для студентов специальности 210700 «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» дневной и заочной форм обучения / составители : В. Б. Леушин, Е. Г. Щербина. – Самара : СамИИТ, 2000. – 27 с.

9. Экспериментальное определение электрических параметров путевых трансформаторов устройств контроля состояния рельсовой линии // методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Специальные измерения и техническая диагностика железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / составители : Щербина Е. Г., Зенкович Ю. И., Кузнецов В. С., Шалягин Д. В. – М. : МИИТ, 1993. – 18 с.

10. Медведев, Д. Д. Определение первичных параметров путевых фильтров / Д. Д. Медведев // Сборник студенческих научных работ. – Гомель: БелГУТ, 2022. – Вып. 27, Ч. II. – С. 67–70.

11. Хоменко, С. И. Микропроцессорный измеритель параметров четырехполюсников / С. И. Хоменко, Д. Д. Медведев, В. А. Залесовский // Проблемы безопасности на транспорте: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября 2020 г.). – Гомель: БелГУТ – Ч. 1. – 2020. – С. 48–50.

УРОВНИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ



ПОПОВ
Павел Александрович,
РУТ (МИИТ), Научно-исследовательский институт транспорта, Передовая инженерная школа «Академия ВСМ», заместитель директора, канд. техн. наук, Москва, Россия



БУШУЕВ
Сергей Валентинович,
Уральский государственный университет путей сообщения, проректор по научной работе, профессор, д-р техн. наук, г. Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: цифровая железнодорожная станция, проект FP5 – TRANS4M-R, уровни автоматизации маневровых операций, цифровая автосцепка

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы автоматизации и цифровизации грузовых железнодорожных перевозок, в частности автоматизации сортировочных процессов, перехода от механизации отдельных операций к созданию интегрированных киберфизических систем, способных управлять всем технологическим циклом станции с минимальным участием человека. Проанализирован проект FP5 – TRANS4M-R по созданию цифрового грузового поезда, реализуемый в Европейском союзе в рамках концепции грузовых перевозок будущего. Проект предполагает создание интеллектуальной системы, объединяющей различные заинтересованные стороны, процессы и технологии. Представлена Концепция уровней автоматизации маневровых операций.

■ Железнодорожные перевозки сталкиваются с серьезными проблемами, среди которых потребность в увеличении пропускной способности железных дорог, кадровый дефицит, сложность технологических процессов и др. Эти вызовы невозможно преодолеть с помощью традиционных подходов к управлению подвижным составом. Необходимы существенные изменения, где автоматизация и цифровизация должны играть решающую роль в повышении конкурентоспособности грузовых железнодорожных перевозок.

Реализация «поезда будущего», способного перемещаться без непосредственного участия человека, не может быть достигнута одномоментно. Это сложный процесс, требующий поэтапной модернизации как инфраструктуры, так и всей экосистемы железнодорожного транспорта. Для его структурирования, создания общего языка между инженерами-разработчиками, регуляторами, эксплуатационным персоналом и другими заинтересованными лицами была разработана система классификации уровней автоматизации в стандарте ГОСТ Р 70059 «Системы управления и контроля железнодорожного транспорта для перевозок пассажиров в пригородном сообщении. Принципы построения и основные функциональные требования». Однако область применения данного документа ограничена системами управления для пригородного железнодорожного транспорта.

Сегодня логистика железнодорожных перевозок определяется скоростью, точностью и надежной ра-

ботой сортировочных станций – сложнейших технологических узлов, где формируются и распределяются составы. Традиционный процесс роспуска вагонов с горки, требующий координации действий десятков специалистов (операторов горок, составителей, сигналистов и др.), достиг своего технологического и экономического предела. Человеческий фактор, высокие эксплуатационные расходы, ограничения по производительности и требования к безопасности создают «узкие места» при организации железнодорожных перевозок.

Решение этих проблем – глубокая автоматизация сортировочных процессов, которая переходит от механизации отдельных операций к созданию интегрированных киберфизических систем, способных управлять всем технологическим циклом станции с минимальным участием человека. Автоматизация сортировочной горки выглядит логичной в виде эволюционного пути, состоящего из последовательных, взаимосвязанных этапов, каждый из которых приносит конкретный операционный и экономический эффекты.

Как и для пригородных железнодорожных перевозок необходимо произвести классификацию уровней автоматизации сортировочной горки, определить распределение функций между человеком и машиной для каждого уровня, установить четкие технические требования и рамки ответственности.

В настоящий момент в ОАО «РЖД» реализуется проект по созданию цифровой железнодорожной

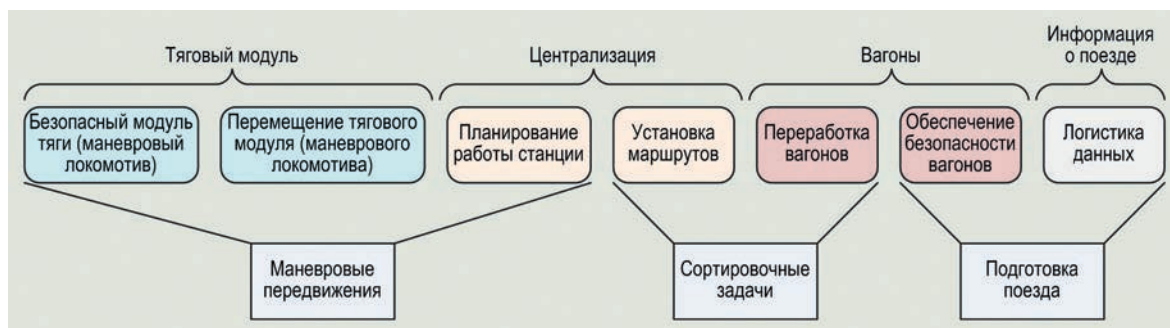


РИС. 1

станции [1]. Он направлен на повышение эффективности использования пропускных способностей станции, сокращение эксплуатационных расходов, оптимизацию технологических процессов с исключением «лишних» технологических операций, переход на малолюдные технологии работы с одновременным повышением безопасности выполнения технологических процессов, поэтапный переход от автоматизированного к автоматическому управлению работой железнодорожной станции.

Подобный проект реализуется в Европейском союзе, где концепция грузовых перевозок будущего предполагает создание интеллектуальной системы, объединяющей различные заинтересованные стороны, процессы и технологии. Для решения задач по созданию цифрового грузового поезда был инициирован флагманский проект FP5 – TRANS4M-R, который является частью Европейского железнодорожного совместного предприятия (ERJU) со сроком реализации 2022–2026 гг.

В отчетном документе «Эталонная архитектура системы грузовых перевозок» [2] по проекту FP5 – TRANS4M приведено Европейское видение уровней автоматизации сортировочной станции. В статье [3] специалисты из австрийских университетов предлагают концепцию уровней автоматизации для сортировочной станции с ссылкой на проект FP5 – TRANS4M-R. Для понимания Европейского подхода по классификации уровней автоматизации приведено краткое описание принципов работы и деления функций сортировочной станции в соответствии с работой [3].

В основе подхода – анализ основных маневровых операций на станции, который схематически представлен на рис. 1.

В проекте тяговые модули (или маневровые локомотивы) служат в качестве транспортных средств для перемещения вагонов внутри сортировочной станции или для их перевозки между станциями. Тяговые модули, работающие на сортировочных станциях, могут являться маневровыми локомотивами. Перед началом движения тягового модуля необходимо убе-

диться в соблюдении условий безопасности, в частности, выполнении задач персоналом по подготовке вагонов к перемещению и обеспечения безопасного нахождения персонала.

Раздел «Перемещение тягового модуля» реализует необходимые эксплуатационные аспекты во время движения поезда, включая такие действия как управление движением тягового модуля в части регулирования скорости поезда, интерпретации сигналов светофоров и мониторинг потенциальных препятствий вдоль железнодорожных путей.

Система «Централизация» обеспечивает всесторонний контроль происходящих событий над всей сортировочной системой. В ее обязанности входит управление двумя ключевыми компонентами: «Планирование работы станции» и «Установка маршрутов». Модуль «Планирование работы станции» служит централизованным хранилищем для обобщения всех соответствующих задач, связанных с распределением путей для отдельных вагонов или поездов. Это включает в себя комплексную процедуру назначения путей, определяющую, какие пути в настоящее время используются конкретными объектами подвижного состава, такими как вагоны. Функция «Установка маршрутов» описывает оперативное управление маршрутами с управлением стрелочными переводами.

Модуль «Переработка вагонов» описывает набор задач, связанных с выполнением действий с вагонами в рамках операционной деятельности. Это такие операции как, сцепка, отцепка, а также меры по защите вагонов от скатывания. Блок «Обеспечение безопасности вагонов» служит сводом процедур, необходимых для обеспечения бесперебойной транспортировки вагонов к станциям назначения. В нем описан ряд действий, необходимых для обеспечения безопасности и целостности движения вагонов, включая технические осмотры и проверки тормозов, проводимые для снижения эксплуатационных рисков и соблюдения стандартов безопасности.

В рамках проекта FP5 – TRANS4M-R реализуются три основные операционные процедуры:

- маневровые перемещения;
- сортировочные задачи;
- подготовка поездов.

В статье [3] авторы вводят новое понятие «Система автоматизации и управления сортировочной станцией (САУСС)». Являясь базовой, она планирует, выполняет и контролирует маневровые операции на сортировочной станции.

Субъект	Описание
Персонал сортировочной станции	Выполняет ручные задачи на сортировочной станции, например, сцепку (соответствуют функционалу работника службы движения)
Оператор тягового модуля	Управляет маневровым тяговым модулем на сортировочной станции, может являться машинистом маневрового локомотива
Осмотрщик вагонов	Выполняет технический осмотр вагонов и проверку тормозов, обнаруживает вагоны с дефектами
Вспомогательные системы	Электронные системы и устройства, которые помогают соответствующим работникам выполнять их задачи
САУСС	Задачи, выполняемые автоматически без помощи человека

Субъекты	Выполняемые задачи / Функции						
	Безопасный модуль тяги (маневровый локомотив)	Перемещение тягового модуля (маневрового локомотива)	Планирование работы станции	Установка маршрутов	Переработка вагонов	Обеспечение безопасности вагонов	Логистика данных
Персонал сортировочной станции		×	×	×	×	×	×
Оператор тягового модуля	×	×			×		
Осмотрщик вагонов						×	
Обеспечивающие системы	×	×	×	×	×	×	×
Автоматическая горочная централизация	×	×	×	×	×	×	×

× – обеспечивает функцию самостоятельно
× – обеспечивает функцию с поддержкой

РИС. 2

Чем выше уровень автоматизации станции, тем САУСС отвечает за большее количество операций. При низком уровне автоматизации САУСС можно рассматривать как систему поддержки принятия решений для работников сортировочной станции. На полностью автоматизированной сортировочной станции персоналу на диспетчерском пункте требуется осуществлять выборочный надзор за работой САУСС, а вмешиваться только при определенных обстоятельствах.

В проекте FP5 – TRANS4M-R выделены отдельные субъекты, описание ролей которых приведено в таблице. Распределение функций между субъектами на сортировочной станции представлено на рис. 2.

Важным фактором, влияющим на возможность автоматизации сортировочной горки в Европе, является вид применяемой сцепки для вагонов. В Европейском союзе основным способом соединения вагонов служит винтовая сцепка. Данный вид скрепления вагонов серьезно устарел и препятствует внедре-

нию цифровых технологий и систем автоматизации сортировочной станции. Для решения этой проблемы в ЕС разрабатывается несколько проектов цифровой автосцепки (ЦАС).

Система ЦАС предлагается в качестве замены существующей системы винтовых сцепок, основная цель которой заключается в повышении безопасности составителей поездов и ускорении выполнения маневровых операций. ЦАС должна дополнительно подключить грузовые вагоны к линии передачи данных и электропитания для связи с вагонами и обеспечения дополнительных функций, таких как использование электрического торможения. Классификация видов сцепки представлена в работе [4] и схематически показана на рис. 3.

Концепция уровней автоматизации маневровых операций определяет основной подход к разработке уровней автоматизации (УА МО). Он отражает требования к автоматизации ключевых процессов:

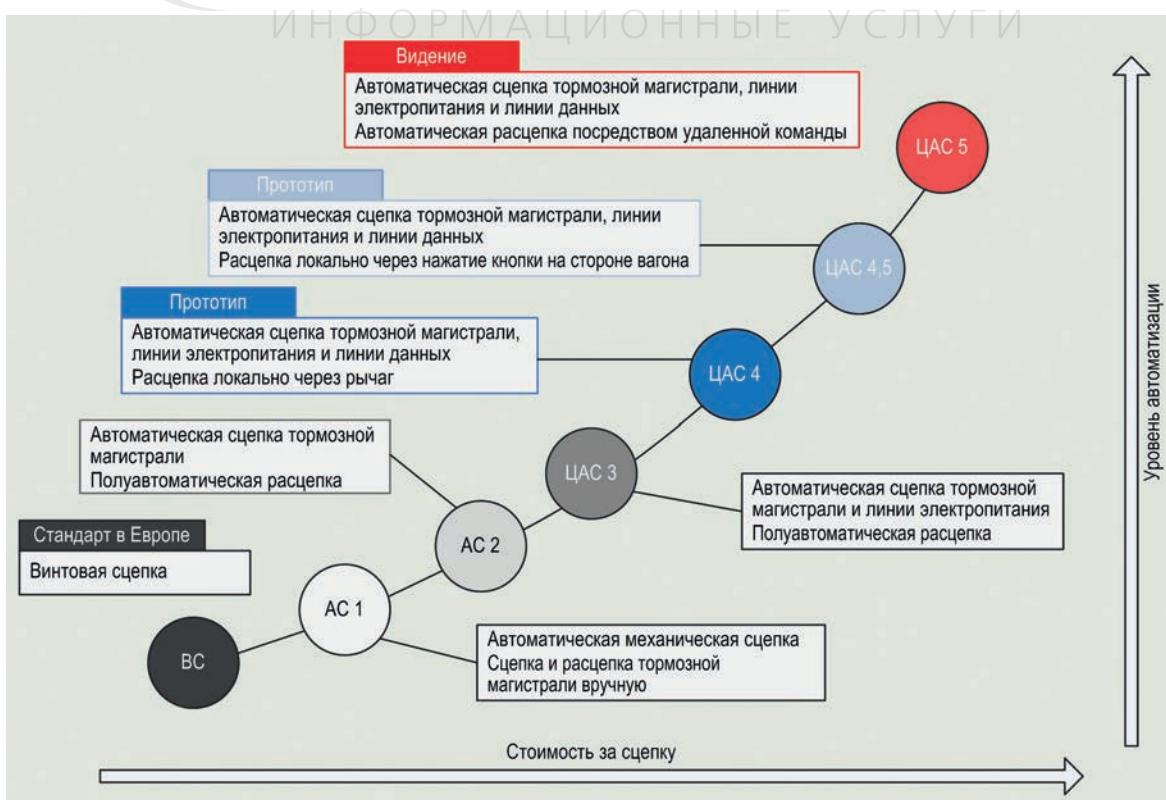


РИС. 3

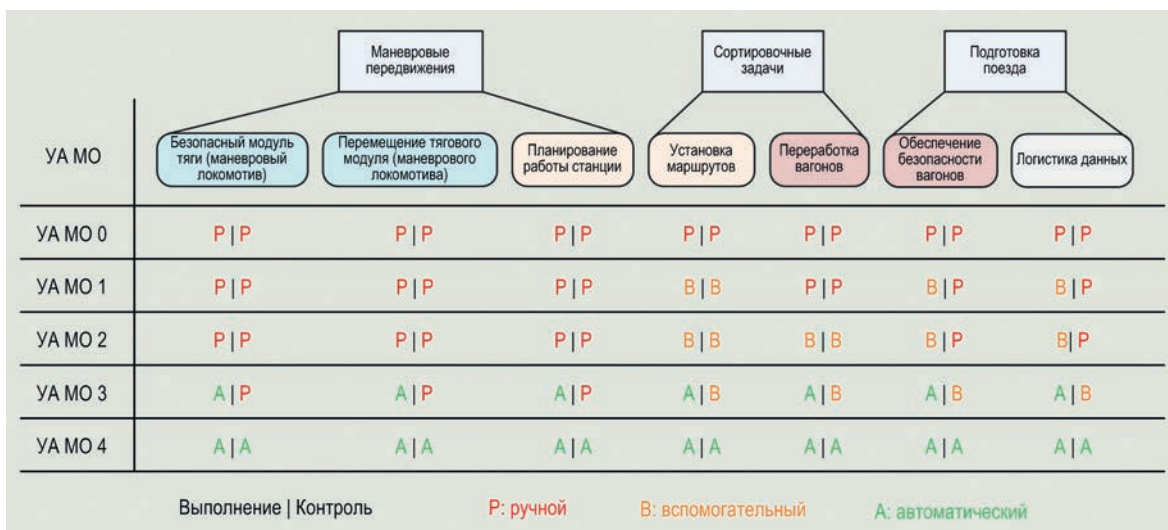


РИС. 4

маневровых работ, сортировочных задач и подготовки поездов.

По аналогии со стандартом IEC 62290 (отечественный ГОСТ 70059) также вводятся пять уровней автоматизации. Уровень считается достигнутым, если выполнены все соответствующие требования по установленным критериям.

Начальным уровнем автоматизации является YA MO 0, где все задачи выполняются и контролируются работниками сортировочной станции.

В рамках YA MO 1 отдельные подоперации поддерживаются дополнительными техническими системами, которые подключены к САУСС. В качестве примера можно привести системы типа интегрированного поста диагностики подвижного состава ППС, которые информируют о вагонах прибывающего поезда с автоматизацией функции их осмотра.

На уровне YA MO 2 вспомогательные системы также используются для выполнения маневровых задач, таких как проверка тормозов или сцепление вагонов.

Уровень YA MO 3 характеризуется наличием единственного сотрудника, ответственного за выполнение необходимых задач, связанных с обработкой поезда. Это достигается с помощью передовых технологических систем, интегрированных в тяговый модуль, таких как системы технического зрения, используемые во время движения вагонов, особенно в тех случаях, когда поле зрения оператора на пути впереди закрыто. Кроме того, технические решения, связанные с инфраструктурой, способствуют бесперебойной работе системы. В этом режиме роль оператора в основном сводится к инициированию движения тягового модуля в определенных условиях эксплуатации и вмешательству исключительно в ситуациях, представляющих опасность. Необходимо отметить, что маневровый тяговый модуль (беспилотный маневровый локомотив) спроектирован таким образом, чтобы работать автоматически и управляться системой САУСС.

YA MO 4 устанавливает цель необслуживаемых грузовых маневровых операций, при которых на



РИС. 5

территории сортировочной станции полностью отсутствует персонал. Сотрудники следят за деятельностью САУСС, как правило, с диспетчерского пункта и вмешиваются только в тех случаях, когда возникает опасный сценарий. На этом эксплуатационном уровне маневровый тяговый модуль работает автономно, без непосредственного вмешательства человека, что является примером высокоавтоматизированного и самодостаточного режима работы.

Уровни автоматизации в зависимости от процессов выполнения и контроля операций на сортировочной станции представлены на рис. 4. Здесь показано, как должны выполняться основные этапы процесса, контролируемые соответственно для достижения определенного уровня автоматизации. Левая буква обозначает режим выполнения, правая – режим управления, тем самым разъясняя, должны ли задачи выполняться/контролироваться вручную или автоматически. Например, для достижения УА МО 3 действия в рамках основного этапа процесса «Манипулирование вагоном» требуют автоматического выполнения и контроля, облегчаемого системой поддержки. Графическое представление уровней автоматизации маневровой станции приведено на рис. 5.

Автоматизация сортировочных станций – важный процесс развития железных дорог. Для эволюционного развития необходимо иметь классификацию уровней автоматизации, поэтому логичным представляется разработка отечественного стандарта, определяющего уровни классификации сортировочной станции. Как и в случае разработки ГОСТ 70059 необходимо не копировать европейский стандарт IEC62290, а адаптировать уровни автоматизации в соответствии с особенностями сортировочного процесса на российских железных дорогах. За основу автоматизации целесообразно взять Типовой технологический процесс работы сортировочной станции ОАО «РЖД» [5] и в зависимости от режима выполнения операции установить критерии для классификации. Например, возможно рассмотрение уровня автоматизации следующих процессов:

выполняемых до прибытия поезда;
закрепления и ограждения состава;

обработки состава по прибытию;
расформирования состава;
обработки состава по отправлению.

В качестве дополнительных и более детальных критериев могут использоваться следующие параметры:

уровень автоматизации маневровых локомотивов;
уровень автоматизации расцепки вагонов.

Дискуссионным параметром является включение критерия вида сцепки вагонов для классификации уровня автоматизации.

Основным и базовым подходом при формировании критериев автоматизации должно стать количество людей, задействованных в работе сортировочной станции. С повышением уровня количество задействованных специалистов должно неизменно уменьшаться. На максимальном уровне автоматизации персонал выполняет только основные функции, а именно удаленный контроль работы сортировочной станции (возможно из другого места), выполнение ремонтных работ в случае выхода из строя оборудования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Цифровая железнодорожная станция – от концепции к реальному внедрению. Андреев В.Е., Долгий А.И., Кудюкин В.В., Хатламджиян А.Е., Гришаев С.Ю., Ольгейзер И.А. // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 9. С. 2–6. DOI: 10.34649/AT.2023.9.9.001. EDN: WYCVAE.

2. D2.3 Reference Freight System Architecture/FP5-TRANS4M-R/Submission date 29.02.2023

3. Introducing the concept of grades of automation for shunting operation / M. Reichmann, G. Himmelbauer, A. Wagner, J. Zajicek, B. Stadlmann, H. Wancura, N. Furian, S. Vossner // Journal of Rail Transport Planning & Management. 2025. Vol. 33., № 3. DOI:10.1016/j.jrtpm.2024.100500.

4. Development of a concept for the EU-wide migration to a digital automatic coupling system (DAC) for rail freight transportation / M. Hecht, M., Leiste, S. Discher etc / German Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI). 2020.

5. Типовой технологический процесс работы сортировочной станции : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2023 №1588/р (в ред. от 24.10.2025 №2229/р).

6. Концепция «Цифровая железнодорожная станция» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 07.11.2018 № 1049 (в ред от 05.06.2020 № 1217/р).

Москва, ул. Пётрички Бабушкина, вл. 1, стр. 2
Тел.: +7 (495) 901-15-20
www.1520signal.ru

Создаем Цифровое Будущее

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



ЧЕСАЛОВ
Александр Юрьевич,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
эксперт по стратегии,
канд. техн. наук,
г. Тверь, Россия

Ключевые слова: цифровая трансформация, искусственный интеллект, промышленный интернет вещей, прогнозируемое обслуживание

Аннотация. В статье проводится анализ ключевых трендов, определяющих траекторию цифровой трансформации на ближайшее десятилетие. Выявлены три взаимосвязанных вектора развития: технологическая конвергенция, фундаментальная перестройка производственных моделей и ответ на макровызовы. Выделены и проанализированы пять фундаментальных технологических направлений развития цифровой трансформации промышленного комплекса РФ до 2035 г. Обоснована ключевая роль промышленного искусственного интеллекта, формируемая необходимостью обеспечения технологического суверенитета и трансформации кадрового потенциала. Проанализирован опыт и данные ОАО «РЖД», которое является масштабным драйвером развития цифровой трансформации промышленности страны и демонстрирует путь эффективной и комплексной технологической модернизации в сфере железнодорожных перевозок.

■ Цифровая трансформация перестала быть перспективой будущего и превратилась в актуальную реальность, детерминирующую конкурентоспособность национальной экономики и отдельных корпораций. Если предыдущее десятилетие было эпохой пилотирования и экспериментов, то период до 2035 г. станет фазой массового масштабирования и глубокой интеграции цифровых технологий во все звенья промышленной цепочки. Этот процесс будет проходить на фоне ужесточения конкуренции за технологии и таланты, а также императивов устойчивого развития со стороны государственного управления.

Цифровая трансформация промышленности России движется по собственному пути принудительной адаптации, трансформируясь в стратегию построения технологического суверенитета, которая определяется, в том числе, Концепцией технологического развития на период до 2030 г. (утверждена Распоряжением Правительства РФ №1315-р от 20.05.2023). В центре этой стратегии – создание замкнутой, безопасной и интеллектуальной производственной экосистемы, где данные являются ключевым ресурсом, а искусственный интеллект (ИИ) – основным инструментом повышения эффективности. Реализация этой стратегии зависит от способности государства и бизнеса преодолеть ключевые системные ограничения: научные, технологические, инфраструктурные, образовательные, кадровые и инерционные [1].

Сегодня одним из трендов цифровой трансформации промышленности является глубокая конвергенция технологий, таких как искусственный интеллект

и автоматизированные системы, промышленный интернет вещей IIoT и периферийные вычисления, цифровые двойники и платформы.

Искусственный интеллект и автоматизированные системы. ИИ эволюционирует от инструмента анализа данных в ключевой драйвер принятия решений и автономных действий на разных уровнях производственных систем. Акцент смещается от прикладных моделей машинного обучения (ML) и генеративного ИИ (GenAI) к автономным системам на основе агентного ИИ (Agentic AI). Такие системы, функционирующие как «виртуальные помощники», способны с некой долей самостоятельности планировать и выполнять многошаговые рабочие процессы – от управления цепочками поставок до управления технологическими процессами и генерации инженерных решений, например, в системах прогнозируемого обслуживания [2, 3].

Промышленный интернет вещей и периферийные вычисления (Edge Computing). Развитие сетей 5G/6G и периферийных вычислений превращает IIoT из системы мониторинга в тесно связанную распределенную систему реального времени. Миллионы датчиков IIoT, установленных на оборудовании, будут генерировать непрерывные потоки разнородных данных для немедленного анализа непосредственно у их источника [4]. Это существенно снизит задержки (практически до мгновенной реакции), что критически важно для прогнозируемого обслуживания, адаптивного управления процессами технического обслуживания и ремонта оборудования, а также контроля качества, выпускаемой продукции.

Цифровые двойники и платформы. Цифровые двойники эволюционируют от статичных моделей к

динамическим самообучающимся виртуальным представлениям физических активов (например, промышленное оборудование или производственные линии), целых производств (например, промышленные объекты сетевых предприятий) или даже цепочек создания стоимости. В ближайшей перспективе они могут стать неотъемлемой функцией приложений IIoT – платформ для обеспечения жизненного цикла оборудования или производимого продукта, позволяя выполнять виртуальные испытания, оптимизировать эксплуатацию и моделировать различные сценарии производства в реальном времени, в том числе прогнозировать выход из строя оборудования при неопределенности данных, получаемых от устройств IIoT и подверженных внешним воздействиям [5].

Таким образом, основу цифрового двойника образует синергия передовых технологий, каждая из которых вносит свой вклад в его функциональность. Робототехнические комплексы и сенсоры IIoT выступают источниками данных, а ИИ – «мозгом» для их осмысления и принятия решений. Интерфейсы виртуальной и дополненной реальности обеспечивают наглядное взаимодействие с моделью, а распределенные реестры гарантируют неизменяемость и прослеживаемость информации. Все перечисленные компоненты тесно связаны в единый «организм» высокоскоростными беспроводными сетями, что и позволяет реализовать принципиально новые подходы к управлению современным производством.

К другим более классическим и не менее важным трендам цифровой трансформации промышленности, можно отнести те, что активно влияют на перестройку производственных моделей управления.

Цифровые платформы, как основа облачных экосистем. Отдельные решения и фрагментированные ИТ-ландшафты уступают место интегрированным промышленным платформам, объединенным в цифровые экосистемы сетевых предприятий. Эти облачные экосистемы объединяют системы управления производством (MES), управления активами предприятия (EAM) и качеством продукции (QMS), планирования ресурсов (ERP), управления техническим обслуживанием (CMMS) и инструменты для проектирования (CAE). Также в них входят производственные системы, обеспечивающие единую среду данных, масштабируемость и быстрый доступ к инновациям и изменениям. Объем рынка цифровой трансформации промышленности, по оценке аналитиков, к 2030 г. вырастет до 843 млрд долл., а среднегодовой темп роста составит 19,4 % [6].

Ускоренная автоматизация (гиперавтоматизация). Автоматизация выходит за рамки отдельных задач, охватывая сквозные процессы. Она объединяет роботизацию процессов, ИИ, low-code платформы и интеграцию промышленных систем. Параллельно развивается робототехника, на смену изолированным роботам-манипуляторам приходят коллаборативные и мобитивные автономные роботы, способные безопасно работать рядом с людьми, перемещать грузы и выполнять сложные манипуляции. Объем рынка гиперавтоматизации к 2030 г. вырастет до 38,43 млрд долл., а среднегодовой темп роста достигнет 19,73 % [7].

К указанным трендам цифровой трансформации промышленности необходимо добавить те, которые влияют не только на отдельные предприятия, но и на всю экономику.

Технологический суверенитет и локализация производств. Геополитическая нестабильность ускоряет тренд на технологический суверенитет. Страны и экономические блоки стремятся создать собственные контролируемые технологические экосистемы, обеспечивающие их полупроводниковыми и компьютерными продуктами, разработчиками собственных программных продуктов и промышленными системами автоматизации, а также суверенными облачными инфраструктурными решениями и сетями передачи данных. Это ведет к фрагментации глобального рынка и параллельному развитию региональных экосистем, где импортозамещение становится стратегической необходимостью, а затем и основой для технологического суверенитета и экспорта.

Кибербезопасность и «цифровой иммунитет». Рост связанности и автономии систем резко увеличивает поверхность для кибератак. В ответ формируется парадигма «цифрового иммунитета», предполагающая встраивание защиты на всех уровнях – от микросхемы до облачной платформы. Акцент смещается на прогнозируемую безопасность с использованием ИИ для обнаружения аномалий, защиту цепочек поставок ПО и обеспечение отказоустойчивости критической инфраструктуры. Ожидается, что мировой рынок кибербезопасности к 2030 г. вырастет до 423 млрд долл., а среднегодовой темп роста составит 12,45 % [8].

Трансформация труда и культура непрерывного обучения. Цифровая трансформация кардинально меняет ландшафт занятости. Согласно отчету Всемирного экономического форума к 2030 г. ожидается создание 170 млн новых и исключение 92 млн существующих рабочих мест (что приведет к чистому росту на 78 млн рабочих мест). При этом потребуется обновление 39 % навыков работников через непрерывное обучение, повышение квалификации и переквалификацию. На первый план выходит спрос на специалистов в области ИИ и больших данных, кибербезопасности, робототехники, а также на «зеленые» профессии. Ключевой становится стратегия переквалификации и перераспределения, причем большинство компаний видят в этом способ сохранить ценные кадры. Культура компании, готовность к изменениям и человекоцентричный подход, инвестирующий в благополучие и развитие сотрудников, становятся критическими факторами успеха.

Таким образом, анализ показывает, что цифровая трансформация промышленности к 2035 г. примет характер системной перестройки, движимой конвергенцией технологий и необходимостью ответа на глобальные вызовы. Магистральным трендом станет переход от автоматизированных фабрик Индустрии 4.0 к устойчивым, человекоцентричным экосистемам Индустрии 5.0, где технологический прогресс измеряется не только экономической эффективностью, но и социальным благополучием, устойчивостью и суверенитетом. Сравнительная характеристика парадигм Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0 приведена в табл. 1.

В новой реальности успех будет определяться не столько скоростью внедрения отдельных инноваций, сколько способностью организаций и обществ к комплексной адаптации, формированию гибких платформенных архитектур, инвестициям в непрерывное обучение персонала, построению доверия в условиях автономных систем и встраиванию устойчивых партнерств. Будущее за теми, кто сумеет гармонично

Т а б л и ц а 1

Аспект	Индустрия 4.0	Индустрия 5.0
Основной фокус	Автоматизация, киберфизические системы, цифровизация	Гармонизация взаимодействия человека и машины, устойчивое развитие
Роль человека	Оператор, контролер систем	Креативный соавтор, стратег, специалист по решению сложных задач
Ключевой принцип	Массовая эффективность и персонализация	Массовая кастомизация, человекоцентричность
Технологический базис	IIoT, облачные вычисления, ИИ, роботы	Конвергентные технологии, когнитивные системы, коллаборативные роботы и др.
Целевой результат	Повышение производительности и снижение затрат	Устойчивое благополучие общества, социальная и экологическая ответственность

соединить мощь конвергентных технологий с креативностью, адаптивностью и ценностями человека.

На сегодня можно выделить два системных аспекта, лежащих в основе текущих тенденций цифровой трансформации промышленности до 2035 г. Это – эволюция роли государства, бизнеса и образования, а также кадры и компетенции, как главный вызов.

Государство последовательно смещает роль с «главного заказчика» на «архитектора экосистемы» и «создателя правил». Его ключевыми задачами становятся:

формирование стандартов и правил, определение методик импортозамещения, требований к совместимости ПО, отраслевых моделей данных;

стимулирование спроса и предложения, налоговые льготы для внедряющих отечественное программное обеспечение, грантовая поддержка разработчиков программно-аппаратных комплексов, особенно в сфере ИИ;

создание инфраструктуры для кооперации, развитие индустриальных центров компетенций и консорциумов, причем бизнес и вузы берут на себя роль активных соисполнителей и источников инноваций.

Успех цифровой трансформации во многом зависит от «человеческого капитала». Потребуется ИТ-специалисты с гибридными навыками: инженеры-архитекторы промышленных систем автоматизации и цифровых экосистем; инженеры-программисты, работающие на стыке технологий IIoT и периферийного ИИ; специалисты по кибербезопасности автоматизации технологических процессов и др. Ключевые тенденции цифровой трансформации и их взаимосвязь представлены в табл. 2.

Таким образом, цифровая трансформация российской промышленности находится в процессе перехода от теоретического осмысления в практическую плоскость (от цифровой экономики к экономике данных), ускоряемого геополитическими вызовами, изменениями и императивами технологической независимости. На фоне смены глобальных цепочек создания стоимости и необходимости структурной перестройки экономики актуальным становится вопрос о ключевых технологических векторах, которые будут формировать конкурентные преимущества отечественной индустрии в следующем десятилетии.

На основании изложенного можно определить пять взаимосвязанных направлений, внедрение которых будет носить в ближайшее время стратегический характер для преодоления сырьевой зависимости, роста производительности и обеспечения национальной безопасности.

Промышленный искусственный интеллект и предиктивная аналитика. Искусственный интеллект трансформируется из инструмента для пилотных проектов в основу для принятия решений на всех уровнях – от станка до корпоративной стратегии. Алгоритмы машинного обучения будут повсеместно использоваться не только для визуального контроля качества или прогнозируемого обслуживания оборудования, но и для оптимизации сложных технологических параметров, генерации инженерных решений и управления производственными участками [9]. Появится специфическое применение генеративных моделей для проектирования деталей с заданными свойствами, автоматизации подготовки технической документации и планирования нестандартных про-

Т а б л и ц а 2

Тенденция	Сущность	Ключевые драйверы / Барьеры	Ожидаемый результат
От импортозамещения к цифровому суверенитету	Переход от замещения отдельных продуктов к созданию полной, замкнутой технологической экосистемы (ПО, оборудование, стандарты)	Драйвер: государственная политика, поддержка разработки «тяжелых» промышленных решений Барьер: незрелость отечественного оборудования, сложность миграции и интеграции разных систем	Доля российского ПО в ключевых отраслях более 80 %, создание конкурентоспособных отраслевых платформ
Данные как центральный актив	Системное использование данных для прогнозной аналитики и управления на основе моделей (цифровые двойники)	Драйвер: осознание ценности неиспользуемых данных, развитие ИИ, потребность в оптимизации Барьер: нехватка инфраструктуры и компетенций для работы с данными	Массовое внедрение прогнозных моделей, снижение затрат на обслуживание
Прагматичный и масштабируемый ИИ	Переход от пилотных проектов к промышленному внедрению ИИ, в первую очередь для решения конкретных задач с измеримой экономией	Драйвер: рост доступности технологий, господдержка проектов в сфере ИИ, давление на эффективность Барьер: кадровый дефицит, необходимость интеграции с устаревшими системами	Рост числа предприятий, применяющих Gen AI. ИИ становится стандартным инструментом в производственных автоматизированных системах
Приоритет устойчивости и безопасности	Формирование «цифрового иммунитета»: кибербезопасность как неотъемлемая часть архитектуры, а не надстройка	Драйвер: рост киберугроз, увеличение числа подключенных устройств Барьер: недостаток специалистов по информационной безопасности, сложность защиты устаревших систем	Внедрение концепции «безопасность по умолчанию». Создание отраслевых центров анализа угроз

изводственных операций. Это сократит время цикла «идея-изделие» и компенсирует дефицит высококвалифицированных инженерных кадров. Ключевым вызовом станет формирование культуры управления данными и создание «цифровых следов» – структурированных исторических данных, необходимых для обучения моделей. Успешные внедрения будут сконцентрированы там, где возможен быстрый экономический эффект (логистика и управление запасами, энергоэффективность, контроль качества).

Цифровые двойники, как ядро жизненного цикла продукта и актива. Цифровой двойник эволюционирует от текущей модели к динамической виртуальной копии, отражающей состояние, поведение и износ физического объекта в реальном времени. Для России это направление имеет особое стратегическое значение. В условиях ограниченного доступа к иностранному оборудованию и ПО оно позволит создавать более надежную и ремонтпригодную технику.

Промышленный Интернет вещей и периферийные вычисления. Развитие IIoT сместит фокус с подключения устройств на извлечение смысла из потоков данных в режиме реального времени. Будет происходить массовое оснащение нового и модернизируемого оборудования отечественными датчиками и контроллерами. Параллельно резко возрастут требования к кибербезопасности АСУ ТП, что станет отдельным направлением развития. Для снижения задержек, обеспечения отказоустойчивости и обработки конфиденциальных данных получат распространение периферийные вычисления. Анализ видеопотоков для контроля безопасности, базовая предиктивная аналитика будут выполняться на локальных Edge-серверах или Edge-датчиках, а не в центральном облаке. Развертывание сетей передачи данных на предприятиях станет инфраструктурным фундаментом для реализации проектов с беспроводными датчиками, мобильными роботами и дополненной реальностью.

Аддитивные и гибридные производственные технологии. 3D-печать перестанет быть инструментом для прототипирования и превратится в полноценную промышленную технологию, меняющую логистику, конструкцию изделий и подход к ремонту. В высокотехнологичных отраслях аддитивные технологии позволят изготавливать неразборные узлы со сложной внутренней геометрией, что невозможно при традиционной обработке. Это приведет к облегчению конструкций, повышению эффективности и возможности массовой кастомизации продукции. Один из самых значимых эффектов для России заключается в создании цифровых складов запчастей. Вместо физического хранения десятков тысяч наименований для устаревшего парка оборудования (например, в ЖКХ или на транспорте) станет храниться цифровая модель, а деталь печататься по требованию на месте или в региональных центрах. Это решит проблему зависимости от прекративших поставки иностранных вендоров. Будут развиваться гибридные станки, сочетающие в одном рабочем центре аддитивную (наплавку) и субтрактивную (фрезерование) технологии, что позволит изготавливать, ремонтировать или наращивать функциональность детали за одну итерацию.

Промышленные платформы и экосистемы. Фрагментированные ИТ-ландшафты, состоящие из разрозненных плохо интегрируемых систем, станут главным тормозом трансформации. Будущее за ин-

теграцией. Ключевым направлением явится развитие отечественных промышленных сервисных платформ и цифровых экосистем на их основе. Эти платформы будут объединять функционал многих систем, о которых упоминалось ранее, а также аналитических, прогнозных и экспертных систем. Платформы станут ядром для формирования открытых промышленных экосистем, где производители, разработчики, интеграторы и другие специалисты предприятия смогут обмениваться цифровыми моделями и приложениями. Это ускорит распространение лучших практик и создаст рынок для отечественных промышленных ИТ-решений. При этом критически важным будет разработка и принятие единых отечественных стандартов обмена данными и протоколов, обеспечивающих совместимость разнородных систем.

Внедрение указанных технологий неизбежно столкнется со следующими барьерами, преодоление которых, во многом, является обязательным условием успеха: кадровый дефицит, инфраструктурные ограничения, нормативно-правовое регулирование, инвентизионная модель.

Таким образом, цифровая трансформация промышленности России к 2035 г. будет определяться не одной «прорывной» технологией, а синергией пяти выделенных направлений. Искусственный интеллект станет, условно говоря, «мозгом», цифровые двойники – «виртуальным отражением», промышленный интернет вещей и сети передачи данных – «нервной системой», аддитивные технологии – «новыми руками», а платформы – «единой цифровой средой» для цифровой промышленности, как единого «организма».

Относительно ОАО «РЖД» следует отметить, что в компании утверждена Стратегия цифровой трансформации, которая представляет собой комплексный документ, отражающий не только корпоративную, но и национальную технологическую повестку в рамках реализации программы «Цифровая экономика» с перспективой перехода к «экономике данных». Стратегия базируется на анализе мировых тенденций, оценке цифровой зрелости и детальной дорожной карте внедрения конкретных решений.

Цифровая трансформация ОАО «РЖД» является не изолированным кейсом, а прообразом будущего цифровой промышленной России, где технологический суверенитет и операционная эффективность становятся двумя сторонами одной медали. Эти технологии не существуют изолированно, а образуют синергетический контур – цифровую экосистему, в которой данные, полученные от устройств промышленного интернета вещей, обрабатываются алгоритмами искусственного интеллекта в цифровых двойниках, а результаты транзакционно оформляются через смарт-контракты на безопасной отечественной технологической платформе. При этом можно выделить пять сквозных технологий, оказывающих системное влияние на цифровую трансформацию.

Искусственный интеллект и большие данные, как ядро предиктивной аналитики и принятия решений. ИИ позиционируется не как экспериментальная технология, а как основа для создания систем поддержки принятия решений. Акцент сделан на предиктивной аналитике для перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию. Например, предусматри-

вается прогнозирование отказов объектов инфраструктуры и локомотивов на основе анализа больших массивов данных с датчиков, истории ремонтов и условий эксплуатации. Это ведет к радикальному сокращению незапланированных простоев, оптимизации запасов запчастей и повышению безопасности.

Цифровые двойники для управления полным жизненным циклом промышленных активов. Активное инвестирование в создание цифровых двойников производится как для физических активов (пути, подвижного состава и др.), так и для процессов, например, транспортировки. Цифровой двойник становится единой виртуальной средой для проектирования (BIM-технологии), строительства, эксплуатации и ремонта. Он позволяет моделировать сценарии, проводить «что, если» анализ без риска для реальных объектов, например, оптимизировать графики движения поездов или планировать ремонтные «окна».

Распределенные реестры и смарт-контракты для формирования доверенной цифровой экосистемы. Блокчейн-платформа рассматривается не в спекулятивном, а в сугубо практическом ключе – как основа для «единой доверительной среды» участников транспортного рынка. Ключевая инициатива – внедрение смарт-контрактов для автоматического заключения, исполнения и взаиморасчетов по договорам перевозки. Это устраняет операционные задержки, снижает транзакционные издержки и минимизирует риски неисполнения обязательств. В кросс-отраслевом контексте эта технология способна революционизировать логистику, цепочки поставок и межкорпоративное взаимодействие, создавая прозрачные и самоисполняемые деловые экосистемы, что критически важно для развития кооперации в условиях импортозамещения.

Промышленный интернет вещей, как сенсорная система реального времени. Стратегия предполагает масштабное развертывание IIoT для сбора данных с более 25 млн объектов инфраструктуры. Это основа для всех вышеперечисленных технологий: ИИ и цифровые двойники работают на «сырых» данных, поступающих в режиме реального времени с датчиков вибрации, износа, температуры, видеокамер и систем геолокации. Примеры: мониторинг состояния пути, загрузки вагонов, параметров работы локомотивов.

Экосистема импортозамещенного ПО и критических ИТ-компонентов как основа технологического суверенитета. Данное направление выделяется не как классическая «сквозная» технология, а как фундаментальный организационно-технологический приоритет. Целью ставится переход на преимущественное использование отечественного ПО, включая офисное, инженерное и системное, развитие собственных ERP-решений, внедрение отечественных микропроцессоров, таких как «Эльбрус» и «Байкал», а также средств криптографической защиты. Создание «Национального центра компетенций по импортозамещению ERP-систем» на базе РЖД свидетельствует об отраслевой и системообразующей роли компании.

В заключение следует подчеркнуть, что опыт ОАО «РЖД» служит масштабируемой моделью для других системообразующих отраслей российской экономики. Он важен как с точки зрения выстраивания аналогичных технологических стеков, так и в аспекте управления изменениями цифровых компетенций ка-

дров, трансформации корпоративной культуры и построения гибкой архитектуры управления проектами.

Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» является масштабным проектом, демонстрирующим путь комплексной технологической модернизации крупнейшего промышленного актива страны. Внедрение представленных технологических направлений образует взаимосвязанный каркас новой промышленной парадигмы, что ведет к переходу от дискретных, часто рутинных процессов к интеллектуальным, автономным и сетевым моделям работы, где ценность создается за счет скорости, точности и адаптивности.

Успех будет принадлежать тем предприятиям и отраслям, которые смогут органически интегрировать эти технологии в перепроектированные бизнес-процессы, построить новую культуру принятия решений на основе данных и сформировать вокруг себя кооперационные цифровые экосистемы. Реализация этого сложного пути является основным условием для достижения технологического суверенитета РФ, перехода к экономике знаний и обеспечения долгосрочной конкурентоспособности страны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кочина С.К. Диагностика уровня технологического суверенитета отраслей российской промышленности // Экономическое развитие России. 2023. Т. 30, № 10. С. 32–40. EDN: ZDZSRO.
2. Палюх Б.В., Чесалов А.Ю. Роль современных технологий искусственного интеллекта в создании и развитии автоматизированных систем прогнозируемого и предписывающего обслуживания в промышленности // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2025. № 5. С. 147–155. DOI: 10.37882/2223-2966.2025.05.29. EDN: ЕТКРПА.
3. Чесалов А.Ю. Анализ возможности применения модели OpenThinker2-32В в автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания для малых и средних промышленных предприятий // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2025. Т. 27, № 5. С. 56–70. DOI: <https://doi.org/10.18127/j19998554-202505-07>. EDN: TRJQUR.
4. Чесалов А.Ю. Тенденции развития периферийного искусственного интеллекта в автоматизации технологических процессов // Автоматизация в промышленности. 2025. № 7. С. 9–14. EDN: VPXFYE.
5. Чесалов А.Ю. Математическая модель снижения неопределенности на основе теории свидетельств Демпстера–Шафера на уровне сбора данных в автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания // Динамика сложных систем. 2025. Т. 19, № 4. С. 62–74. DOI: 10.18127/j19997493-202504-07. EDN: BNQZRC.
6. Digital transformation in manufacturing market size & share analysis – growth trends and forecast (2025–2030) // Mordor Intelligent: site. 2025. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/digital-transformation-market-in-manufacturing> (дата обращения: 14.12.2025).
7. Hyperautomation market size & share analysis - growth trends and forecast (2025–2030) // Mordor Intelligent: site. 2025. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hyperautomation-market> (дата обращения: 14.12.2025).
8. Cybersecurity market size & share analysis – growth trends and forecast (2025–2030) // Mordor Intelligent: site. 2025. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cyber-security-market> (дата обращения: 14.12.2025).
9. Чесалов А.Ю. Применение искусственного интеллекта для реализации алгоритмов потенциала негативности рассогласования в промышленных автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания // Открытое образование. 2025; 29(3): 11–21. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2025-3-11-21>

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРИКЛАДНЫХ ИИУС



ЗВЯГИН
Леонид Сергеевич,
Финансовый университет
при Правительстве РФ,
доцент, канд. экон. наук,
Москва, Россия

Ключевые слова: теория измерений, метрологическое обеспечение, информационно-измерительные системы, управляющие системы, погрешность, неопределенность, прослеживаемость, топологическое пространство

Аннотация. В статье рассматривается роль теории измерений как фундаментальной основы для эффективного проектирования и постоянного совершенствования метрологического обеспечения современных информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС). Представлена математическая модель процесса измерений на основе топологического пространства, позволяющая формализовать и анализировать метрологические характеристики ИИУС на различных этапах их жизненного цикла. Систематизированы основные понятия и методы теории измерений, проанализировано влияние современных технологий на метрологию, а также предложена новая модель для повышения качества метрологического обеспечения.

■ В условиях цифрового развития общества информационно-измерительные и управляющие системы заняли важное место во всех сферах деятельности. Надежность, точность и достоверность данных, получаемых этими системами, напрямую зависят от качества их метрологического обеспечения. Однако без строгого и научно обоснованного подхода к измерениям невозможно гарантировать безопасность, эффективность и экономическую целесообразность функционирования сложных технических комплексов [1].

Интенсивное развитие ИИУС предъявляет все новые требования к метрологии. С одной стороны, стремительное увеличение объемов измеряемой информации и скорости ее обработки требует автоматизации и интеллектуализации метрологических процессов [2]. С другой – появление новых физических принципов измерений (например, в квантовой метрологии), миниатюризация измерительных средств и интеграция их в распределенные сети создают уникальные возможности для традиционных метрологических подходов [3].

Для рассмотрения теории измерений и метрологического обеспечения ИИУС как взаимосвязанных и эволюционирующих систем в исследовании применены методы системного анализа, а также принципы абстрагирования и моделирования для разработки математической модели процесса измерений. Анализ влияния современных технологий на метрологию проводился методами сравнения и прогнозирования.

Теория измерений составляет основу любой метрологической деятельности, обеспечивая единое понимание и интерпретацию результатов измерений.

Существуют оценки стандартной неопределен-

ности по типу А – статистическая и Б – нестатистическая.

В соответствии с классификационными признаками, отражающими область применения, задачи функционирования и конструкцию, получим классификацию информационно-измерительных систем (ИИС) по функциональному назначению; виду и характеру входных величин; виду выходной информации; виду структурно-функциональной схемы ИИС; принципам построения.

В зависимости от функционального назначения и решаемых задач ИИС подразделяются на классы: измерительные системы (ИС); системы контроля (СК); системы диагностики (СД); системы распознавания образов (СРО); системы идентификации (СИ); телеметрические ИИС (ТИИС); полиметрические ИИС (ПИИС) [4]. Теории измерений метрологического обеспечения современных информационно-измерительных и управляющих систем представлены в таблице.

Измерительные шкалы классифицируются по уровню информации, которую они предоставляют: номинальные, порядковые, интервальные и относительные. Каждая шкала имеет свои особенности и ограничения при обработке данных. Правильный выбор и понимание измерительной шкалы гарантируют адекватную интерпретацию результатов.

Поддержание и развитие Международной системы единиц СИ, а также ее недавний пересмотр обеспечивает согласованность и прослеживаемость измерений [5].

Рассмотрим, каким образом и методом проводятся фактические измерения.

При прямом измерении искомое значение величины получается непосредственно из показаний измерительного прибора.

Аспект теории измерений	Описание	Применение в ИИУС	Вызовы для ИИУС
Основные понятия	Величина, единица измерения, погрешность, неопределенность Базис для количественного описания явлений и оценки достоверности данных	Проектирование сенсоров, выбор измерительных каналов, оценка точности выходных данных Формулирование требований к ИИУС и ее компонентам	Точность и стабильность показаний в динамических режимах Корректная оценка неопределенности в распределенных системах с разнородными источниками данных
Измерительные шкалы и системы единиц	Номинальные, порядковые, интервальные, относительные шкалы Международная система единиц (СИ) как основа сопоставимости измерений	Стандартизация форматов данных, обеспечение совместимости различных измерительных модулей и программного обеспечения Унификация измерений в глобальных сетях	Гармонизация шкал и единиц в разнородных ИИУС, работающих в различных предметных областях Интеграция данных из систем, использующих нестандартные единицы
Методы измерений	Прямые, косвенные, совместные, совокупные Основа для выбора измерительных процедур и алгоритмов обработки данных	Разработка алгоритмов обработки сигналов, методов калибровки и коррекции Оптимизация измерительных схем для достижения требуемой точности	Повышение эффективности алгоритмов обработки данных для получения более точных результатов Автоматизация выбора оптимального метода измерения в зависимости от условий
Метрологическое обеспечение	Калибровка, поверка, оценка неопределенности, прослеживаемость Комплекс мероприятий для поддержания требуемой точности измерений	Разработка процедур поверки и калибровки встроенных датчиков и измерительных каналов Создание систем удаленной метрологической поддержки	Необходимость в режиме реального времени проводить метрологический контроль и корректировку Обеспечение прослеживаемости в условиях высокой динамики изменений в ИИУС
Влияние современных технологий	Квантовая метрология, большие данные, ИИ, цифровые двойники, нано- и биометрология Новые возможности и вызовы для метрологии	Интеграция ИИ-алгоритмов для оптимизации измерений Использование цифровых двойников для моделирования метрологических характеристик системы	Адаптация метрологических стандартов к новым технологиям Обеспечение достоверности данных, обрабатываемых ИИ Создание эталонов для новых физических величин

В случае косвенного измерения искомое значение определяется на основе измерений других величин, связанных с ним известной математической зависимостью:

$$y = f(x^1, x^2, \dots, x^N), \quad (1)$$

где y – измеряемая величина;

x^i – прямо измеряемые величины (для определения y используются результаты прямых измерений x^i).

Совместные и совокупные измерения применяются для определения нескольких величин путем обработки результатов множества измерений с учетом влияния некоторых факторов.

Метрологическое обеспечение ИИУС МО приобретает особую значимость, поскольку ошибки измерений могут привести к серьезным последствиям в управляющих процессах [1, 4, 6]. Для сложных ИИУС, содержащих множество измерительных каналов, важна комплексная калибровка всей системы. Так как данные в таких системах поступают от множества сенсоров и обрабатываются сложными алгоритмами, оценка неопределенности становится нетривиальной задачей. Необходимо учитывать не только инструментальные неопределенности, но и неопределенности, связанные с влиянием окружающей среды, алгоритмами обработки данных, дрейфом характеристик компонентов и взаимодействием между подсистемами. Распространение неопределенности через функциональные зависимости между измеренными и вычисленными величинами является важным аспектом. Для данной цели широко используются методы Монте-Карло и метод GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [7].

Обязательное требование для ИИУС – обеспечить

прослеживаемость всех измерительных каналов к государственному эталону. Это гарантирует сопоставимость результатов измерений, полученных в различных местах и в разное время [3].

Развитие ИИУС неразрывно связано с автоматизацией метрологических процессов, таких как: калибровка и поверка, дистанционный мониторинг метрологических характеристик, обнаружение и коррекция дрейфа сенсоров, а также интеллектуальный анализ данных о метрологическом состоянии системы [2, 8]. Автоматизация помогает сократить время и трудозатраты, повысить оперативность метрологического обеспечения и снизить влияние человеческого фактора.

Современные технологии оказывают влияние на развитие теории измерений. Квантовые стандарты частоты (атомные часы), магнитометры, сенсоры гравитации уже сегодня превосходят традиционные аналоги по точности. Развитие квантовой метрологии ведет к переопределению основных единиц СИ и открывает возможность производить измерения на фундаментальном уровне [5].

Кроме этого, революционное воздействие на метрологию оказало появление концепции больших данных (Big Data) и развитие искусственного интеллекта (ИИ), в частности машинного обучения. Внушительные объемы измерительных данных, обработанные ИИ, позволят:

повысить точность измерений за счет выявления скрытых закономерностей в шумах, дрейфе и систематических погрешностях;

прогнозировать отказы, анализируя временные ряды измерительных данных;

автоматизировать процесс калибровки, оптимизи-

ровать параметры измерительных систем и диагностировать неисправности на основе анализа данных [2]; эффективно обрабатывать неструктурированные и многомерные данные, что особенно важно для систем распознавания образов и диагностики.

Для формализации и анализа процесса измерений в ИИУС предлагается использовать аппарат топологического пространства. Топология исследует свойства пространств, которые остаются неизменными при непрерывных деформациях, что делает ее эффективным инструментом для описания взаимосвязей и структур, не привязанных к конкретным числовым значениям или метрическим расстояниям.

Представим процесс измерения как отображение между двумя фундаментальными пространствами. При этом X – множество всех возможных истинных значений измеряемой величины или пространство состояний измеряемой величины; M – множество всех возможных показаний (выходных сигналов) измерительного прибора или пространство показаний измерительной системы.

В идеальном случае процесс измерения мог бы быть представлен как точное отображение $\phi: X \rightarrow M$. Однако в реальном мире любое измерение неразрывно связано с погрешностями и неопределенностями.

Для того, чтобы адекватно учесть эти характеристики, введем топологии на пространствах X и M . Определим:

(X, \mathcal{F}_X) как топологическое пространство истинных значений, где \mathcal{F}_X – семейство открытых множеств в X , которые интуитивно можно интерпретировать как допустимые диапазоны или интервалы истинных значений (открытые множества формируют базовые «шарики» или «интервалы», внутри которых истинное значение может варьироваться);

(M, \mathcal{F}_M) как топологическое пространство показаний, где \mathcal{F}_M – семейство открытых множеств в M , представляющих собой диапазоны показаний прибора (множества также формируют базовые «шарики» или «интервалы» в пространстве, где фиксируются результаты измерений).

Хорошо функционирующая измерительная система характеризуется непрерывностью измерений. При этом малые изменения в истинном значении приводят к малым изменениям в показаниях прибора, что критично для стабильности и предсказуемости измерительной системы, т.е. если контролировать выходной диапазон прибора, можно точно определить, в каком диапазоне находилось истинное значение.

В рамках топологической модели погрешность измерения δ формализована как элемент, принадлежащий пространству погрешностей Δ . Пространство оснащено своей собственной топологией \mathcal{F}_Δ , отражающей характеристики погрешности (например, плотность распределения). Тогда наблюдаемый результат измерения m для истинного значения x можно выразить как:

$$m = \phi(x) + \delta, \quad (2)$$

где $\phi(x)$ – представляет собой идеальное отображение; δ – учитывает все отклонения (систематические или случайные).

Для учета неопределенности используют понятие окрестности. Окрестность $V(x)$ истинного значения x представляет диапазон, в котором с определенной вероятностью находится истинное значение. Анало-

гично, окрестность $V(m)$ показания m представляет диапазон, в котором, с учетом неопределенности измерения, находится истинное значение. Формально, для каждого $x \in X$, существует открытое множество $U \in \mathcal{F}_X$, при котором $x \in U$. Открытое множество $\phi(U) \in \mathcal{F}_M$ представляет диапазон показаний, соответствующий этой истинной области.

Тем не менее, для анализа неопределенности на пространствах X и M введены не просто топологии, а вероятностные меры. Пусть (X, B_X, P_X) будет измеримым пространством истинных значений, где X – сигма-алгебра подмножеств X , а P_X – вероятностная мера, описывающая распределение истинного значения (например, априорное распределение). Тогда (M, B_M, P_M) будет измеримым пространством показаний, где P_M – вероятностная мера на M , индуцированная процессом измерения.

Таким образом, процесс измерения становится стохастическим отображением (ядром перехода вероятностей):

$$K: X \times B_M \rightarrow [0, 1], \quad (3)$$

где $K(x, A)$ – вероятность того, что показание m попадет во множество $A \in B_M$ при условии, что истинное значение равно x , т.е. $K(x, A) = P(m \in A | x)$.

Математически это выражается через плотность вероятности $p(m | x)$:

$$P(m \in A | x) = \int_a^b p(m|x) dm. \quad (4)$$

При этом функция $p(m | x)$ описывает характеристики измерительного канала, его шумы и погрешности.

Реальные ИИУС функционируют в динамичной среде, где на результаты измерений влияют многочисленные внешние и внутренние факторы. Для отражения этого в модели расширено пространство определения отображения. Допустим S – пространство состояний ИИУС, которое имеет такие параметры, как температура окружающей среды, влажность, электромагнитные помехи, а также внутренние характеристики измерительных приборов (например, дрейф сенсоров, износ компонентов и др.). Пространство S также может быть топологическим S, \mathcal{F}_S или измеримым (S, B_S, P_S) .

В этом случае стохастическое отображение измерения становится функцией, зависящей от истинного значения и состояния системы: $K: X \times S \times B_M \rightarrow [0, 1]$, или плотности вероятности $p(m | x, s)$. Это значит, что показания измерительного прибора зависят не только от измеряемой величины, но и от текущего состояния всей измерительной системы и окружающей среды.

Для интегрированных ИИУС введено понятие «пространство информации I ». Оно включает все доступные данные о системе, показания множества сенсоров M_1, M_2, \dots, M_k , вспомогательные параметры P_1, P_2, \dots, P_l , а также контекстуальные данные (временные метки, местоположение и др.). Процесс формирования информации в таких системах можно рассматривать как сложное отображение:

$$F: M_1 \times \dots \times M_k \times P_1 \times \dots \times P_l \rightarrow I. \quad (5)$$

Топологическая и вероятностная модели позволяют по-новому взглянуть на метрологическое обеспечение, используя математический аппарат

(калибровка, оценка неопределенности, прослеживаемость).

При этом калибровка интерпретируется как процесс построения или уточнения отображения ϕ (или ядра перехода вероятностей K), с целью минимизации «расстояния» между пространствами X и M (в некотором смысле, «сжатие» неопределенности), или как уточнение топологий \mathcal{F}_X и \mathcal{F}_M (или распределений вероятностей P_X и P_M) для обеспечения требуемой степени непрерывности и точности отображения. В идеале калибровка стремится отобразить ϕ как можно более гомеоморфным (взаимно-однозначным и взаимно-непрерывным). Когда ϕ является биекцией, выполняется структурное соответствие между истинными значениями и показаниями. В вероятностном смысле калибровка направлена на минимизацию энтропии распределения $p(m | x)$ или максимизацию взаимной информации $I(X; M)$.

В топологической модели оценка неопределенности заключается в нахождении размера и формы окрестностей $V(m)$ в пространстве M , которые соответствуют заданным вероятностным уровням для X .

Таким образом, прослеживаемость измерений представляет собой непрерывную цепь отображений (топологических или стохастических) между различными топологическими пространствами, от первичного эталона до конечного измерительного прибора. Каждое такое отображение в цепи должно сохранять определенные топологические свойства и иметь известную «метрику» неопределенности, подтверждая непрерывную связь с эталоном. Это означает, что для каждого шага в цепи прослеживаемости имеется определенное ядро перехода вероятностей K_i , а общая прослеживаемость определяется композицией этих ядер.

Предлагаемая математическая модель на основе топологического пространства и дополненная вероятностными мерами, вносит новизну и обладает преимуществами для проектирования и совершенствования метрологического обеспечения ИИУС. Модель фокусируется на структурных свойствах измерений, отношениях между величинами и влияниях различных воздействий, что крайне важно при анализе сложных, многомерных и распределенных ИИУС. При этом различные измеряемые параметры взаимосвязаны.

Явное включение пространства состояний S и рассмотрение отображения $p(m | x, s)$ систематически учитывает и анализирует влияние окружающей среды и внутренних параметров измерительной системы на процесс измерения. Более того, при помощи динамических топологий или стохастических процессов (например, марковских цепей) появляется возможность моделировать эволюцию метрологических характеристик системы во времени, что важно для долгосрочного прогнозирования и предиктивного обслуживания.

Топологическая структура, обогащенная вероятностными мерами, предоставляет единую концептуальную основу для интеграции различных источников неопределенности, и дает возможность применять методы типа теории Байесовских сетей для комплексного управления неопределенностью в сложных ИИУС.

Топологические свойства отображений позволяют разрабатывать более адекватные количественные

показатели качества метрологического обеспечения. Они более соответствуют сложностям и динамике современных ИИУС, чем традиционные статистические погрешности, например, в случае оценки «метрического искажения», вносимого измерительной системой.

Применение топологической и вероятностной моделей на этапе проектирования способно предсказывать метрологические характеристики системы до ее реализации, оптимизировать расположение сенсоров, выбирать наиболее эффективные алгоритмы обработки данных и разрабатывать стратегии калибровки, исходя из требуемых топологических свойств измерений. Кроме того, модель открывает новые горизонты для создания робастных, интеллектуальных и самоадаптирующихся систем. Они способны функционировать в условиях высокой неопределенности и динамично меняющихся требований, а также предоставлять достоверную информацию для принятия критически важных решений.

Цифровые технологии открывают грандиозные перспективы для метрологии, будь то анализ огромных объемов измерительной информации, выявление скрытых закономерностей и оптимизация процессов. При этом возникают и проблемы, связанные с прозрачностью и интерпретируемостью результатов, полученных с помощью ИИ. Необходимы инструменты для оценки достоверности «интеллектуальных» измерений и обеспечения прослеживаемости даже в условиях использования сложных алгоритмов машинного обучения. Таким инструментом могут стать цифровые двойники, применяемые для проектирования, тестирования и мониторинга метрологических характеристик ИИУС на протяжении всего их жизненного цикла. Они позволят сократить затраты на физические испытания, ускорить процесс разработки и повысить надежность систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев Е.Б., Желнов В.А., Насонов А.Ю. Требования к метрологическому обеспечению технической эксплуатации цифровых транспортных систем // Т-Comm: телекоммуникации и транспорт. 2011. № S3. С. 28–31. EDN: OPIKQV.
2. Ануфриев В., Ануфриев С. Интеллектуальные датчики в информационно-управляющих системах: развитие, элементная база и ПО // Компоненты и технологии. 2017. № 9. С. 38–49. EDN: YPPVYI.
3. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений в аэрокосмической отрасли // Мир измерений. 2017. № 4. С. 8–11. EDN: ZVRATH.
4. Знаменская А.М., Лимар П.С., Шведов В.П. Информационно-измерительные системы для летных испытаний самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1984. 151 с.
5. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) / Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). 2008. 134 p.
6. Захаров В.А., Волегов А.С. Метрологическое обеспечение измерительных систем : учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1. Принципы построения и вопросы стандартизации автоматизированных измерительных систем. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018. 165 с.
7. Чернышенко А.А. Развитие системы метрологического обеспечения в области вакуумных измерений: на примере ВНИИМ ИМ. Д. И. Менделеева // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. Т. 18, № 2. С. 73–88. EDN: OZFQAU.
8. Мустафа М.Н.М. Информационно-измерительная система вибродиагностики объектов с электромагнитным подвесом : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 2.2.11 / Место защиты: ВГТУ. Волгоград, 2022. 16 с.



ЖДАНОВ
Алексей Владимирович,
ОАО «РЖД», Юго-Восточная
дирекция инфраструктуры,
Воронежская дистанция
сигнализации, централизации
и блокировки, начальник
производственно-технического
отдела, г. Воронеж, Россия

СПЛОЧЕННЫЙ КОЛЛЕКТИВ – ГАРАНТИЯ УСПЕХА

По итогам работы трудовых коллективов дистанций СЦБ в конкурсе отраслевых и внутрипроизводственных соревнований ОАО «РЖД» за 2025 г. первое место занял коллектив Воронежской дистанции СЦБ Юго-Восточной дирекции инфраструктуры.

■ На сегодняшний день оснащенность Воронежской дистанции – одна из самых высоких на Юго-Восточной дороге и составляет 251 техн. ед. В зоне ее обслуживания находятся 32 станции и сортировочная горка, более 418 км автоблокировки. Устройствами АЛС оборудованы 423 км приемо-отправочных путей и перегонов. В электрическую централизацию включены 945 стрелок. Из 64 действующих переездов 34 оборудованы устройствами заграждения. Для контроля состояния буксовых узлов подвижного состава используются 38 комплектов КТСМ. Контроль схода подвижного состава осуществляется с помощью 110 основных комплектов УКСПС и 23 дублирующих.

В 2019 г. после укрупнения границы дистанции значительно расширились. При этом после реор-

ганизации участки обслуживания находятся в двух территориальных управлениях.

С 2016 г. дистанцию возглавляет А.Е. Жуков. Умение конструктивно мыслить и оперативно принимать решения позволяют ему правильно выбирать направления приложения усилий коллектива для достижения нужного результата. Александр Евгеньевич внимательно оценивает организаторские способности и творческий потенциал своих подчиненных, которые смогли поднять организацию обслуживания устройств на новый, более высокий уровень.

На предприятии ведутся активные организационно-технические мероприятия для минимизации рисков вмешательства посторонних лиц в деятельность инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД». Так, в границах дистанции

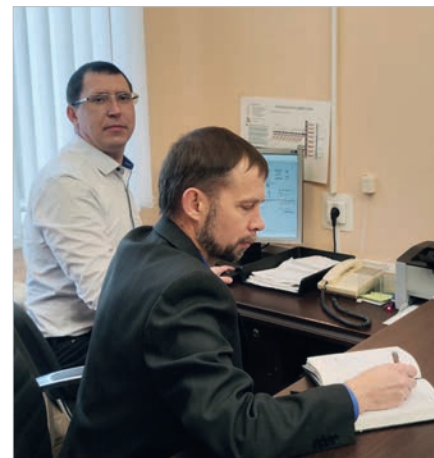
проведена большая работа по антивандальной защите устройств СЦБ:

на все типы релейных шкафов на железнодорожных линиях всех классов установлены усиленные запорные устройства;

организовано внедрение устройств пожаротушения в релейных шкафах в виде самосрабатывающих огнетушителей типа ОСП, а также вывод контроля вскрытия дверей в систему технической диагностики и мониторинга;

на все релейные шкафы нанесены предупреждающие трафареты с разъяснениями об административной и уголовной ответственности за причинение ущерба ОАО «РЖД»;

в сжатые сроки выполнен монтаж, настройка и пуск в эксплуатацию 89 фотоловушек, информация с которых передается на элек-



Трудовые будни коллектива дистанции

тронную почту диспетчерского персонала ведомственной охраны железнодорожного транспорта.

Данный комплекс мероприятий позволил в значительной степени снизить риски вмешательства в работу железнодорожного транспорта, в том числе и число поджогов релейных шкафов автоблокировки.

Большой объем технической работы по эксплуатации и модернизации устройств автоматики выполняют заместители начальника дистанции Е.С. Костин и С.В. Жужлов. Под их руководством проведен комплекс мероприятий для повышения безопасности движения на железнодорожных переездах, в том числе обновлены устройства (релейные и батарейные шкафы, щиты управления, кабельные коммуникации) на переездах, а также проведена модернизация переездной автоматики с заменой напольного оборудования на переездах 463 км перегона Грязи-Воронежские – Песковатка и 553 км перегона Тресвятская – Графская.

На сортировочной горке станции Придача под руководством старшего электромеханика А.В. Сиротинкина силами эксплуатационного штата дистанции выполнен капитальный ремонт трех звеньев вагонного замедлителя с полной их разборкой и заменой оснований (деревянных брусьев), изготовлением болтов крепления захватов рельсов и ремонтом металлических частей (рычагов, продольных и поперечных тяг, пружинных комплектов).

В 2023 г. на станции Сомово работники дистанции при участии

представителей АО «ЭЛТЕЗА» заменили центральный процессор микропроцессорной централизации стрелок и светофоров на базе системы EBIoLock-950 на систему отечественной разработки МПЦ-ЭЛ.

В прошлом году к 300-летию со дня образования Воронежской губернии на станции Воронеж-1 была выполнена замена мачтовых и карликовых светофоров с линзовыми комплектами на светофоры со светодиодными светооптическими системами, установка новых электроприводов, замена дроссель-трансформаторов и дроссельных перемычек с расширкой к железобетонной шпале.

Группой технической документации под руководством О.Н. Дыбовой и А.П. Тонких ведется большая работа по внесению изменений в принципиальные и монтажные схемы, направленная на повышение надежности устройств ЖАТ и безопасности движения. В состав группы входят специалисты И.В. Сычева, В.П. Трофимова, М.Ф. Харьковская, М.С. Скачкова. Активную помощь им оказывают работники дорожной лаборатории, входящие в штат дистанции, М.А. Шпилев, Н.А. Ирхина, О.А. Шевырева.

Сегодня численность дистанции составляет 165 человек. Следует отметить, что в последнее время коллектив дистанции заметно помолодел, средний возраст составляет 40 лет.

Как показывает практика, чтобы стать настоящими профессионалом, начинающим СЦБистам требуется не один год. Опытные наставники Д.А. Новиков, Ю.А. Ляхов, В.И. Плохих, А.В. Гузенко,

Р.С. Формальнов и С.Н. Лазукин с готовностью делятся с молодежью своими знаниями и обучают тонкостям профессии.

В дистанции особое внимание уделяется техническому обучению персонала. В результате растет уровень профессиональной подготовки специалистов, снижается количество браков в работе и нарушений требований охраны труда. Для занятий в кабинете имеются современные тренажеры, такие как виртуальный модуль-тренажер электронной погрузки для изучения технологии выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств ЖАТ, тренажер тональных рельсовых цепей, а также АРМ, на которых установлена автоматизированная обучающая система АОС-ШЧ.

Для вовлечения молодых специалистов дистанция тесно взаимодействует с Воронежским колледжем железнодорожного транспорта, оказывая всестороннюю поддержку в расширении обучающей базы. К примеру в прошлом году инженером по эксплуатации технических средств А.А. Сухаревым, электромехаником А.П. Ворониным и старшим электромехаником Р.В. Баркаловым был полностью модернизирован обучающий полигон, позволяющий студентам приобретать и оттачивать знания и навыки в техническом обслуживании устройств СЦБ. А начальник участка производства Д.М. Рогозин и технолог Н.П. Бровченко активно занимаются преподавательской деятельностью в колледже и учебном центре профессиональных квалификаций.



Награждение коллектива памятным знаком за победу в соревновании трудовых коллективов



Контрольная проверка устройств СЦБ



Во время решения рабочих вопросов

В дистанции реализуются современные методы соблюдения работниками требований охраны труда. Так, внедрение аудиофиксации целевых инструктажей по охране труда позволяет повысить их качество и благоприятно влияет на развитие культуры безопасности при производстве работ. В рамках повышения санитарно-бытовых условий в производственные цеха приобретается новая офисная мебель и бытовая техника.

Важное значение придается бережливому производству. Например, проект «Сокращение потерь в процессе обслуживания рельсовых цепей на горке за счет изготовления держателей для перемычек к путевым ящикам» позволяет уменьшить производственные издержки и повысить качество рабочих операций по обслуживанию закрепленного оборудования.

Работники цеха на станции Придача самостоятельно изготавливают промежуточные держатели, используя пластиковый контейнер в качестве формы и пескоцементный раствор с добавлением щебня. Общий экономический эффект от реализации проекта достигает 698 тыс. руб.

На главном пассажирском направлении Москва – Адлер расположена одна из крупнейших станций Отрожка, оборудованная устройствами блочной маршрутно-релейной централизации. Она реализована на двух постах ЭЦ, увязанных между собой станционной кодовой централизацией, введенной в эксплуатацию в 1966 г. Несмотря на то, что устройства СЦБ морально и физически изношены, эксплуатационному штату удается поддерживать их содер-

жание на должном уровне благодаря огромному опыту старшего электромеханика Л.С. Петрина, который является «старожилом» дистанции. Карьерный путь Леонида Сергеевича начал в 1976 г. с должности электромонтера по обслуживанию устройств СЦБ на станции Отрожка и за годы работы дошел до должности заместителя начальника дистанции.

В составе нашего предприятия функционирует Центр технической диагностики и мониторинга устройств ЖАТ, возглавляемый С.Ю. Барашковым. В настоящее время Центр работает на программном обеспечении КЗ Мониторинг АСДК «Сектор», получая диагностические данные со 130 станций с прилегающими перегонами Юго-Восточной дороги. Коллектив ЦТДМ выполняет все поставленные задачи, работает без браков, нарушений технологической дисциплины и охраны труда. Высокой профессиональной квалификацией и добросовестным отношением к труду его сотрудника заместителя начальника центра А.А. Мязин и старший электромеханик А.Н. Мацокин на постоянной основе улучшают показатели работы центра.

В дистанции поддерживается преемственность поколений. На сегодняшний день общий железнодорожный стаж династии «Ждановы», в которую входит начальник производственно-технического отдела А.В. Жданов, составляет 187 лет. Кроме того, железнодорожные династии продолжают главный инженер А.П. Бабкин, ведущий инженер И.Ю. Звонарева, старшие электромеханики Д.А. Новиков, А.В. Телков и А.А. Комарова, электромеханики А.В.

Селезнев, С.А. Старых, технолог Е.А. Денисова.

Многие работники отмечены высокими званиями и наградами. Знаком «Почетный железнодорожник» награждены электромеханик А.П. Воронин и инженер А.Г. Бакланов, знаком «За заслуги перед Юго-Восточной железной дорогой» II степени – электромеханик Е.А. Алтухов. Благодарностью Министра транспорта Российской Федерации отмечены главный инженер А.П. Бабкин, старший электромеханик Д.А. Новиков и электромеханик В.М. Беленов.

Дистанция гордится спортивными достижениями своих сотрудников. Инженер по эксплуатации технических средств ЦТДМ А.А. Сенцов многократно представлял предприятие на спортивных мероприятиях по плаванию и бильярдному спорту как на дорожном уровне, так и на чемпионатах ОАО «РЖД». Он – 12-ти кратный чемпион Юго-Восточной дороги по плаванию. В конце прошлого года к своим достижениям Александр прибавил чемпионство в бильярдном спорте по свободной пирамиде с продолжением. Еще одним ярким представителем дистанции, пропагандирующим здоровый образ жизни, является старший электромеханик Н.В. Урюпин, занявший третье место в категории мужчин старше 40 лет в лыжных соревнованиях.

В дистанции уверены, что одним из ключевых факторов успеха в работе является сплоченный коллектив. Команда, где каждый чувствует себя важным и нужным, где присутствует уважение и поддержка, готов к достижению больших результатов и преодолению любых трудностей.



ОРЛЮК
Анатолий Алексеевич,
канд. экон. наук,
Москва, Россия

ОПЫТ ПРОШЛОГО ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО

Прорыв, который произошел в последние годы в развитии искусственного интеллекта (ИИ) благодаря появлению нейронных сетей позволяет перейти от общих рассуждений к его практическому применению. В статье рассматриваются вопросы создания интеллектуальных агентов, способы их обучения, а также возможность применения мультиагентного ИИ на железнодорожном транспорте с учетом многолетнего опыта эксплуатации АСУ.

■ Сегодня технологии ИИ используются во всех сферах нашей жизни. Широкое распространение получили интеллектуальные помощники чат-боты, голосовые ассистенты и др. Они, как правило, создаются на основе нейронных сетей, а иногда и на основе традиционного ИИ.

В настоящее время более сложным является проектирование интеллектуальных агентов, в том числе мультиагентных систем. Интеллектуальные агенты – это автономные системы, способные решать задачи без участия человека. Они строятся на больших языковых моделях с обязательным обучением на определенном наборе данных. Ввиду высоких требований к интеллектуальному агенту в плане большой ответственности за принятое управленческое решение очень важен выбор метода его обучения. Одним из наиболее эффективных считается метод обучения с подкреплением, который обеспечивает высокую адекватность обученной модели.

Для создания интеллектуального агента необходимо определить цели и задачи, которые он должен решать. Затем выбрать платформу (набор инструментов и библиотек) для реализации приложений на основе ИИ. Важно подобрать и разметить данные для обучения с последующей возможностью самообучения. На завершающем этапе провести тренировку агента на собственных примерах и его тестирование. При этом необходимо предусмотреть интеграцию агента в существующие информационные системы посредством гибких программных интерфейсов приложений.

Существуют готовые средства разработки агентов, например, GPT Builder на базе Chat GPT, а также готовые агенты от GPT. Аналогично создаются мультиагентные системы, представляющие собой набор независимых, но взаимосвязанных и взаимодействующих агентов. В них также могут предусматриваться датчики и сенсоры для сбора данных, при необходимости – исполнительные механизмы и координатор работы всех агентов. На мультиагентные системы накладываются жесткие требования по безошибочной работе. Поэтому они строятся не на универсальных больших языковых моделях, а на DSLM (domain specific language models) предметно-ориентированных или специфических языковых моделях, предназначенных для большего понимания предметной области. Это достигается за

счет дообучения предобученной модели на массиве предметно-специфических данных, что позволяет почти на треть повысить надежность и точность модели. Необходимо подчеркнуть, что DSLM не просто новый подход или инструмент, а новая парадигма взаимопонимания человека и ИИ. Кроме того, данный подход позволит детально отразить специфику отрасли, что, например, важно при использовании ИИ на железнодорожном транспорте.

На железных дорогах РФ ведется большая работа по использованию ИИ по многим направлениям. В настоящее время искусственный интеллект применяется в 38 автоматизированных системах РЖД (компьютерное зрение с распознаванием объектов, анализ и синтез речи и др.). Предпринимаются попытки оптимизации плана формирования грузовых поездов на базе технологии мультиагентного обучения с подкреплением, разработан интеллектуальный помощник маневрового диспетчера и многое другое. Во ВНИИЖТе создан Центр по внедрению искусственного интеллекта, что активизирует отраслевую науку в части исследований по ИИ и подготовке РЖД к его внедрению.

Для разработки поездного интеллектуального диспетчера имеется возможность использования массивов данных из автоматизированной системы управления перевозками (АСОУП) [1]. Источником таких данных является поездная модель дороги, которая в основном востребуется для выдачи различных справок. Представляется целесообразным создать на ее базе имитационную поездную модель дороги (включающую имитацию возможных непредвиденных ситуаций) с помощью, например, платформы AnyLogic. При этом у ОАО «РЖД» появится инструмент для опробования и определения возможности осуществления идеи, которая сейчас прорабатывается на железных дорогах Германии. Ее суть в применении мультиагентного ИИ в диспетчерском управлении движением поездов как ключевого элемента цифровизации и полной автоматизации железных дорог [2].

Можно с уверенностью сказать, что ОАО «РЖД» добилось определенных успехов в освоении технологий ИИ и имеет готовность для дальнейшего их внедрения. Вместе с тем, было бы не лишним наличие документа, предусматривающего основные вопросы, возникающие при разработке и внедрении

искусственного интеллекта в отрасли. В этой связи имеет смысл вернуться к истории создания АСУЖТ. Бесспорно, системы с ИИ и АСУ отличаются, и прежде всего тем, что первые более высокого уровня. Так, АСУ может лишь предсказывать некоторые управленческие ситуации, а ИИ предлагает методы их решения или решает задачи в реальном времени. АСУ основаны на поиске алгоритмов формализации процесса и написании по ним программ, а ИИ – на подборе и разметке данных под конкретную задачу и обучении на них модели.

В начале 70-х гг., когда в стране развернулось повсеместное внедрение АСУ, первым шагом на железнодорожном транспорте была разработка Технического проекта АСУЖТ. Документ был утвержден МПС как руководство к действию. Учитывая опыт разработки и внедрения АСУЖТ, в новом документе, аналогичном Техническому проекту, целесообразно предусмотреть цели, задачи, этапы и возможно примерные сроки завершения работ, необходимые ресурсы, ответственных исполнителей.

Рассмотрим основные пункты предлагаемого документа.

Цели и задачи. Конечная цель на сегодня – цифровизация и полная автоматизация железных дорог на основе ИИ, а одна из главных и первоочередных задач – построение интеллектуальной системы диспетчерского управления перевозочным процессом. Тогда стояла задача автоматизации рутинного труда, связанного с оформлением и логическим контролем документов, что являлось тормозом в управлении транспортом. Были определены подсистемы АСУЖТ как отдельные направления автоматизации, некоторые из них так и остались нереализованными.

Этажность в реализации – определяется актуальностью задачи на данный момент для отрасли, наличием необходимых ресурсов, в том числе вычислительных. Ранее приоритетной была подсистема управления перевозками, сегодня же в дополнение к этому решаются задачи, связанные с привлечением клиентов, улучшением сервиса и др. Опыт АСУЖТ показал, что основным сдерживающим фактором в разработке и реализации было отсутствие вычислительных мощностей. К сожалению, внедрение ИИ также сопряжено с отсутствием отечественных ускорителей ИИ, мощных компьютеров. Поэтому нужно исходить из существующих возможностей. Например, в отсутствии отечественных графических ускорителей или карт памяти, лучше сосредоточиться на единичном объекте или задаче, акцентируя глубокую научно-техническую проработку, что позволит в дальнейшем успешно масштабировать систему.

Проведение инвентаризации всех действующих систем с анализом входных/выходных данных и выявлением степени готовности их для последующего использования в разрабатываемых системах ИИ. Нужна ли очистка от мусора, каков уровень их специализации, достаточно ли этих данных для решения поставленных задач.

Техническая реализация проекта определяет успех или неудачу его в целом. Опыт АСУ показал, что технические возможности являются не только сдерживающим фактором, но могут привести к дискредитации проекта в целом. Наличие огромного числа программно-аппаратных средств порождает проблему выбора и существенно затрудняет на-

хождение оптимальной конфигурации программно-аппаратного комплекса. Кроме того, необходимо добиться максимальной готовности системы, в том числе за счет дублирования и резервирования программных и аппаратных средств на случай возникновения непредвиденных экстремальных ситуаций. При этом важно найти оптимальное соотношение централизации и децентрализации искусственного интеллекта, обезопасить систему от хакерских атак, исключить утечку и искажение данных, проработать возможность применения облачных платформ и др. Потребность в дополнительных ресурсах могут вызвать требования по обеспечению надежности и технической обоснованности проектов с ИИ, так как их функционирование связано с безопасностью движения поездов.

Комплексность и взаимная увязка систем. Опыт АСУ показывает, что не всегда удается добиться системного подхода при проектировании. Отдельные АСУ были замкнуто-автономными, что приводило к дублированию при сборе и хранении информации. Из одного источника в дорожный ИВЦ несколько раз передавались одни и те же данные для использования в разных подсистемах, что перегружало каналы связи и приводило к сбоям, потере и искажению данных. В случае ИИ такое обращение с данными недопустимо, поскольку полнота, качество и надежная их защита – основа успешного функционирования ИИ-систем.

Кадры и организация работ. Стоит подчеркнуть, что сегодня дефицит квалифицированных кадров является основным препятствием в освоении и применении систем ИИ. Так, для разработки АСУ специально собрали коллектив из высококвалифицированных работников, благодаря чему в короткие сроки были созданы и внедрены АСОУП, АСУСС и другие автоматизированные системы.

Сопровождение и эксплуатация. Ввод ИИ в постоянную эксплуатацию не означает завершения работы. Технологические системы нуждаются в постоянной доработке или сопровождении на протяжении жизненного цикла, что вызвано изменениями в технологии работы объектов, появлением современных программно-технических средств, необходимостью устранения ошибок и др. За время работы АСОУП было выпущено несколько ее версий, что вызвано в основном изменением программно-аппаратного комплекса, а также другими причинами. В случае с ИИ не потребуются значительных ресурсов разработчиков, так как высокую готовность будут обеспечивать специалисты по эксплуатации, которые знают специфику объекта и хорошо владеют общими методами обучения моделей.

Данные предложения обозначили некоторые вопросы, возникающие при внедрении технологий ИИ и путях их решения с учетом имеющегося опыта освоения информационных технологий в отрасли. Их проработка в определенной степени сможет повысить качество проектирования, позволит уменьшить число возможных ошибок и избежать неоправданных затрат ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Орлюк А.А. Еще раз об искусственном интеллекте // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 7. С. 31–33
2. Мультиагентный ИИ в диспетчерском управлении движением поездов // Железные дороги мира. 2025, № 5. С. 49–52.

ЗЕЛЕНЫЙ СВЕТ ИННОВАЦИЯМ

Москва вновь стала местом проведения международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед–2026». В мероприятии ежегодно принимают участие инноваторы со всего мира. В этом году участниками Салона стали представители 254 организаций из 25 государств и 30 регионов России.

■ Изобретатели продемонстрировали широкой научно-технической общественности около 500 инновационных проектов и изобретений, 170 из которых представили зарубежные авторы. Самыми активными иностранными участниками стали делегации из Китая, Сербии, Ирана и стран Балканского полуострова.

Приветствуя гостей и участников выставки, заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности В.В. Калинин подчеркнул важность инновационных разработок для реализации обозначенной Президентом РФ национальной цели по достижению технологического лидерства России. Также он напомнил, что одна из ключевых задач Роспатента – содействие правовой охране результатов интеллектуальной деятельности.

За последние годы Роспатент упростил подачу заявок, запустил сервис на портале «Госуслуги». Это расширило возможности взаимодействия с ведомством онлайн. Кроме того, сокращены сроки рассмотрения заявок, что помогает изобретателям и разработчикам быстрее получать защиту своих технологий.

ОАО «РЖД» представило около десятка инновационных разра-

боток. Специальное покрытие для предупреждения перехода железнодорожных путей в неполюженных местах получило золотую медаль Салона. По замыслу разработчиков, использование такого покрытия снизит количество случаев травмирования на железной дороге. Оно представляет собой прямоугольную резиновую панель с пятью рядами четырехгранных пирамид высотой 12 см. Особая геометрия поверхности делает невозможным размещение стопы в основании панели.

Дополнительные конструктивные решения позволяют обеспечить подогрев панелей для эффективной эксплуатации в зимних условиях. Кроме того, их могут покрыть специальным световозвращающим материалом, который предупреждает о потенциально опасных зонах в ночное время.

Приспособление по обточке контактных колец у преобразователя без снятия его с электропоезда удостоилось серебряной медали Салона.

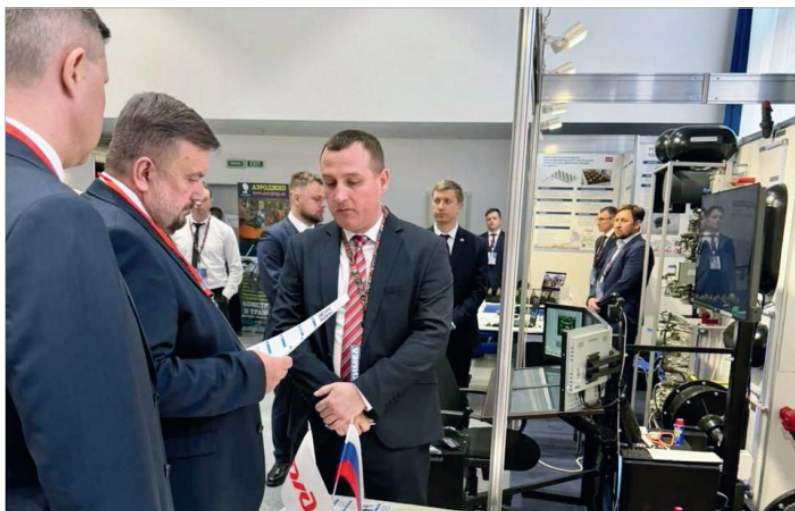
Большой интерес посетителей вызвало устройство для контроля ударных нагрузок подвижного состава, применяющееся для контроля сохранности подвижного состава и перевозимого груза, а также самого груза при перевозке

железнодорожным и автомобильным транспортом. Работа устройства заключается в контроле значений ускорения подвижного состава и в случае превышения порогового значения записи в память устройства вместе с датой и временем превышения значения, широтой и долготой.

Кроме того, среди решений компании были: крепежный ложемент для транспортировки колесных пар автомобильным транспортом; устройство для проверки и настройки плат выдержки торможения и реле выдержки запуска компрессора, установленных на электропоездах переменного тока, и многое другое.

Холдинг «Высокоточные комплексы» Госкорпорации Ростех представил разработки для авиатранспорта и контроля воздушной обстановки. Так, был продемонстрирован первый отечественный пассажирский телетрап. Он оснащен современными электрогидравлическими и электромеханическими приводами, системой управления и безопасности и совместим со всеми типами воздушных судов – от региональных самолетов до дальнемагистральных авиалайнеров.

Посетители ознакомились с системой контроля воздушного пространства, радиолокационной



Представление разработок главному инженеру ОАО «РЖД» В.Ф. Танаеву



На стенде ОАО «РЖД»



Открытие выставки



Участники Салона

станцией обзора воздушного пространства ближней зоны и мобильной РЛС ОВП. Система не только фиксирует, но и точно отслеживает широкий спектр воздушных объектов, включая беспилотные летательные аппараты, умеет определять их точные координаты и распознавать цели, движущиеся с минимальной скоростью. РЛС ОВП ближней зоны отличается небольшими габаритами и легким весом, что делает ее идеальным решением для быстрого и простого развертывания.

Специалисты Военной академии связи имени С.М. Буденного проде-

монстрировали новую систему расширения зоны радиопокрытия, в основе которой лежит радиофотонный модуль. Этот модуль обеспечивает передачу радиочастотного спектра через оптическое волокно без необходимости в аналогово-цифровых преобразованиях.

Основополагающий принцип работы модуля заключается в использовании лазерного диода и фотодетектора в передатчике и приемнике. Они осуществляют непосредственное преобразование оптического излучения в радиосигнал и наоборот. Благодаря этому удалось организовать передачу

радиочастотного спектра по оптическим волокнам на расстояния до 20 км без усиления. Это обеспечивает работу таких устройств, как радиостанции УКВ-диапазона, приемники навигационных сигналов, системы GSM/LTE и управления беспилотными летательными аппаратами даже в условиях радиоподавления. Такая возможность создает основу для дальнейших исследований в области эффективности системы связи и безопасности персонала. Модуль уже был испытан в зоне специальной военной операции.

НАУМОВА Д.В.

ИНФОРМАЦИЯ

ИДЕЯ ОАО «РЖД»

■ **Объявлен конкурс рационализаторских предложений «Идея ОАО «РЖД» – 2026», который проводится Центром инновационного развития – филиалом ОАО «РЖД». Конкурс направлен на активизацию массового технического творчества работников и развитие технических и технологических потенциалов компании.**

■ Заявки на участие в конкурсе от подразделений аппарата управления, структурных подразделений и филиалов ОАО «РЖД» принимаются Центром инновационного развития до **12 мая 2026 г.**

На конкурс принимаются рационализаторские предложения, зарегистрированные Заявителем в течение двух последних лет, и ранее не представленные на конкурс.

В соответствии с Положением о конкурсе заявленные на конкурс рационализаторские предложения оцениваются по таким критериям, как сложность технического решения, инновационность, перспективность использования, качество оформления материалов.

■ В 2026 г. конкурс проводится по следующим номинациям:

Лучшее техническое решение, направленное на повышение производительности труда;

Лучшее техническое решение, относящееся к обслуживанию железнодорожного пути и систем управления движением;

Лучшее техническое решение, относящееся к обслуживанию подвижного состава;

Лучшее техническое решение, относящееся к обслуживанию средств связи и передачи данных;

Лучшее техническое решение, относящееся к обеспечению безопасных условий труда работников железнодорожного транспорта;

Лучшее техническое решение, направленное на обеспечение потребностей пассажиров и повышение качества услуг по пассажирским перевозкам;

Лучшее техническое решение молодого рационализатора (в возрасте до 35 лет), относящееся к любой из номинаций;

Лучшее техническое решение рационализатора-женщины, относящееся к любой из номинаций.

■ Победителей конкурса определяет конкурсная комиссия.

Для победителей конкурса в каждой номинации установлены:

одно первое место с денежной премией 80 тыс. руб.;

одно второе место с денежной премией 40 тыс. руб.;

одно третье место с денежной премией 20 тыс. руб.

БИЗНЕС В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

В Москве прошла 30-я международная выставка транспортно-логистических услуг, складского оборудования и технологий «ТрансРоссия». На крупнейшем в России логистическом мероприятии посетители находили решения для любых задач бизнеса, а участники представляли свои услуги и продукцию целевой аудитории.



■ В рамках деловой программы состоялись сессии, конференции и дискуссии, посвященные грузоперевозкам, цифровизации, санкционной логистике, развитию международных маршрутов, беспилотному транспорту и др.

Глобальная нестабильность – так охарактеризовали условия, в которых сегодня существует бизнес, участники пленарной дискуссии. Причины этой неустойчивости кроются в сложной геополитической ситуации, особенно с учетом недавних событий на Ближнем Востоке; начавшемся в прошлом году охлаждении экономики и, как следствие, снижении объемов грузовой базы.

Нарастающая глобальная нестабильность существенно усложняет прогнозирование – и вместе с тем открывает новые «окна возможностей» для участников рынка. Ответом на эти вызовы, по мнению спикеров, станет глобальная перестройка логистики и переформатирование транспортно-логистических коридоров. Необходимо действовать сообща, в том числе, с поддержкой государства.

Тему диверсификации торговли с точки зрения европейского бизнеса поднял генеральный директор Ассоциации европейского бизнеса **Тадзио Шиллинг**. Он напомнил, что действующие ограничения носят временный характер, и подчеркнул: завтрашний день формируется решениями, которые принимаются сегодня.

Генеральный директор АО «ОТЛК ЕРА» **А.Н. Гром** сообщил о росте железнодорожных контейнерных перевозок по итогам марта на 1,5 %, а мировой объем контейнерных перевозок достиг

200 млн ДФЭ. По его мнению, отрасль демонстрирует уверенное состояние: «Это уже не окно, а витрина возможностей».

В ходе бизнес-диалога «Международная контейнерная логистика: запас прочности» заместитель генерального директора АО «РЖД Логистика» **Д.А. Крюков** обратил внимание, что общемировые тенденции (снижение потребления и рост денежной массы) напрямую отражаются на транспортной логистике. Компания, по его словам, работает над увеличением скоростных параметров перевозок.

На форуме также состоялся открытый диалог «Железная дорога vs автотранспорт: на чем основан выбор грузовладельца и логиста?». Участники дискуссии сошлись во мнении, что эти виды транспорта не столько конкурируют, сколько дополняют друг друга, а выбор определяется плечом доставки, типом груза, тарифами и требованиями к сервису.

Автотранспорт выигрывает за счет гибкости, тогда как железная

дорога сталкивается с инфраструктурными ограничениями. Если железнодорожная отрасль сегодня решает проблему лишних вагонов и пропускной способности, то автоперевозчики – задачу поиска дополнительных грузов.

Спикеры подчеркнули, что железная дорога эффективна на длинных плечах, а автотранспорт – на коротких. Наиболее острая конкуренция сосредоточена на расстояниях от 500 до 2200 км. Среди причин снижения погрузки на железной дороге они назвали замедление экономики, рост тарифов и разрыв между ожиданиями грузовладельцев по сервису и реальными возможностями инфраструктуры. При этом глобальный тренд заключается в постепенном снижении доли железнодорожных перевозок на фоне спроса на доставку «до двери» и роста доли штучных грузов.

В то же время было отмечено, что разные грузы требуют разных логистических решений: массовые сырьевые грузы рационально



В коридорах выставки



Экспонаты выставки



FESCO Katyusha Shuttle

перевозить по железной дороге, тогда как дорогу и чувствительную к срокам продукцию – автомобильным транспортом.

Подводя итоги дискуссии, докладчики подчеркнули важность железнодорожной инфраструктуры для международной конкурентоспособности России. При снижении грузооборота парк вагонов продолжает расти, а увеличение оборота вагона даже на одни сутки означает значительный прирост потребности в подвижном составе.

Участники панельной сессии «Цифровая трансформация логистики: тренды, вызовы, решения» обсудили, как меняются приоритеты отрасли: от технологических экспериментов – к решениям с быстрым и измеримым эффектом.

Директор департамента цифровой трансформации АО «РЖД Логистика» **Наталья Юркина** назвала 2026 г. точкой выхода на

технологическое плато, когда бизнесу нужны не демонстрационные проекты, а быстрый экономический эффект. Среди наиболее перспективных инструментов она выделила цифровые двойники, ИИ, датчики состояния груза, блокчейн и роботизацию.

На выставке компании представили логистические новинки. «Объединенная вагонная компания» презентовала полувагон нового поколения. За счет высокопрочной стали массу удалось сократить, а грузоподъемность увеличить на 2 т и довести до 77 т. Состав из таких вагонов позволяет перевозить на 550 т груза больше.

Еще одну новинку представила транспортная группа FESCO. Своему железнодорожному сервису между Москвой и китайским Чэнду компания дала новое имя: FESCO Katyusha Shuttle в честь первой большой панды, родившейся в

России. Сервис работает с осени прошлого года. С его помощью компания доставляет в Россию преимущественно товары народного потребления из провинции Сычуань и других регионов юго-запада Китая.

На полях выставки «ТрансРоссия» традиционно состоялось подписание соглашений о сотрудничестве. Например, такой документ подписали Центр фирменного транспортного обслуживания и Российский морской регистр судоходства. Документ определяет направления совместной работы на ближайшие четыре года. Его основная цель – цифровизация баз данных обеих организаций. Это позволит сделать информацию о состоянии контейнеров прозрачной и доступной. А значит, упростит мультимодальные перевозки и повысит их эффективность.

НАУМОВА Д.В.



Подписка на бумажную версию журнала «АВТОМАТИКА, СВЯЗЬ, ИНФОРМАТИКА» на первое полугодие 2026 г.



Для оформления подписки через Почту России (можно на 1 месяц) достаточно перейти по ссылке <https://podpiska.pochta.ru/press/P5063>, заполнить заявку на получение журнала на домашний адрес, до востребования или через почтовый ящик и оплатить подписку онлайн. Стоимость одного номера 505,92 руб., за 2 мес. 2026 г. 1011,84 руб.



Оформить онлайн подписку также можно через наш сайт www.asi-journal-rzd.ru в разделе «Подписка».

Наши авторы и читатели могут также приобрести номера журналов по перечислению **с самовывозом** из Центра научно-технической информации и библиотек – филиала ОАО «РЖД» (ул. Новая Басманная, д. 4–6, стр. 2).

Стоимость одного экземпляра для физ. лиц 408,10 руб. с учетом НДС
для юр. лиц 674,30 руб. с учетом НДС

Для оформления счета для покупки журналов обращайтесь в ЦНТИБ по телефонам:
+7 (499) 262-81-58, +7 (499) 262-54-29

ПАМЯТИ В.Н. АЛЁШИНА

21 марта 2026 г. на 76 году после продолжительной болезни ушел из жизни Владимир Николаевич Алёшин. По складу характера, мировоззрению, технической эрудиции и инженерной интуиции он был истинный СЦБист, талантливый инженер и руководитель. Вся его жизнь была тесно связана с развитием средств и систем ЖАТ, испытанием и внедрением новой техники.

Владимир Николаевич родился 4 июля 1950 г. Трудовую деятельность он начал в Московско-Киевской дистанции сигнализации и связи Московской дороги в должности электромеханика СЦБ по окончании Московского института инженеров железнодорожного транспорта.

Через несколько лет В.Н. Алёшина назначили начальником дорожной лаборатории автоматики и телемеханики. Под его руководством здесь осуществляли анализ работы устройств и подготовку мероприятий по повышению их надежности, принимали самое активное участие в пусконаладочных работах и устранении сложных отказов, а также проводили испытание новой техники при постоянном общении с разработчиками систем, занимались подготовкой технических советов,



выставок и конференций. Первыми начали разрабатывать системы диагностики.

В связи с проектированием, строительством и эксплуатацией устройств СЦБ Владимир Николаевич, начиная с 1988 г., совершил несколько длительных поездок в Гвинею Республику. Вернулся в Россию на прежнюю должность начальника лаборатории он в 1995 г., а через год перешел на работу в созданное на РЖД первое совместное российско-шведское предприятие «Бомбардье Транспортейшн (Сигнал)» на должность заместителя генерального директора.

Первоначально занимались адаптации западной системы МПЦ к работе на российских железных дорогах. Для управления электроприводом, сигналами и реле было

решено использовать новые контроллеры, впервые было применено устройство бесперебойного электропитания, которое затем нашло широкое распространение на сети. Совместно с ГТСС был разработан проект и написана программа для центрального процессора с использованием Sternot код. Система получила название EBILock 950, за двадцать лет ею оборудовано свыше 400 станций.

Знания, мудрость, опыт и умение бесконфликтно разрешать возникающие в процессе работы проблемы в значительной степени помогли В.Н. Алёшину в его производственной и руководящей деятельности.

На всех этапах трудового пути коллеги и подчиненные с глубоким уважением относились к Владимиру Николаевичу, ценили его и как высококлассного специалиста, и как справедливого руководителя. Его профессионализм и личные качества долго будут вспоминать все люди, кому довелось с ним работать. В.Н. Алёшин сотрудничал и с редакцией нашего журнала, писал статьи, посвященные реализации инновационных проектов.

Светлая добрая память о Владимире Николаевиче Алёшине сохранится на долгие годы в сердцах его близких, друзей и коллег.

ABSTRACTS

Automation of relay protection devices based on simulation of traction power supply system modes

MAXIM V. VOSTRIKOV, Zabaikal Railway Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Department of «Power Supply», Ph.D. (Tech.), Chita, Russia, aspirin1979@mail.ru, SPIN-код: 7487-0796

ALEXEY V. DIMOV, Irkutsk State Transport University, Vice-rector for Scientific Work, Ph.D. (Tech.), Irkutsk, Russia, dimov_av@irgups.ru, SPIN-код: 7754-5771

KONSTANTIN V. MENAKER, Zabaikal Railway Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Department of «Power Supply», Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Chita, Russia, menkot@mail.ru, SPIN-код: 7118-7648

Keywords: automation, traction power supply system, module and complex resistance argument, contact network feeder, selectivity, executed motion schedule, substitution scheme, traction load

Abstract. The article is a continuation of the presentation of the results of scientific research in the field of automation of microprocessor relay protection devices for AC contact network feeders. To increase the selectivity of these devices, it is proposed to conduct a joint analysis of the module and the argument of the complex resistance of the contact network with reference to the train situation, estimated through an automated system for maintaining and analyzing the schedule of completed movement (GID). According to the ratio of the module and the complex resistance argument, with known parameters of the current train situation, it becomes possible to identify critical modes of the traction power supply system associated with the movement of heavy trains, twin trains, and a batch schedule, as well as emergency modes in the form of short circuits and contact wire breaks at different distances from the traction substation. The results of the conducted studies can be used in the construction of new algorithms for the operation of relay protection devices in order to reduce the number of their triggers for unknown reasons.

Assessment of the impact of the grounding device condition on the reliability of telecommunication networks and automation devices

VALERY E. MITROKHIN, Omsk State Transport University, Professor, Dr.Sci. (Tech.), Russia, Omsk, mitrokhin@list.ru, SPIN-код 4123-7921

ALEXANDER S. NAUMOV, Omsk State Transport University, Postgraduate Student, Russia, Omsk, sommerboy@rambler.ru, SPIN-код: 8943-3224

Keywords: telecommunications networks, reliability, grounding device, monitoring

Abstract. This article examines the impact of the condition of grounding devices on the operational reliability of railway telecommunication networks in various climatic zones of the Russian Federation. Ground freezing factors that significantly affect soil resistivity and, consequently, the effectiveness of grounding devices are considered. A mathematical model is constructed demonstrating the direct relationship between the availability of a telecommunications network and the availability of grounding electrodes. Calculations show that ignoring the condition of grounding devices in reliability calculations significantly underestimates the actual risk of equipment failure. A prototype hardware and software system for continuous remote monitoring of grounding resistance was developed and tested. The test results confirmed the high sensitivity of the grounding device to changes in soil temperature. A multi-level network for monitoring the condition of grounding devices with integration into the existing communications infrastructure is proposed, allowing for the prompt detection of deviations in grounding parameters and ensuring the required reliability indicators of telecommunication networks.

Method for measuring the a-parameters of the equivalent four-terminal network of the track filter

RUSLAN R. IUSUPOV, Volga state transport university (SSTU), PhD in Engineering, Associate professor of the department «Automation, tele-

mechanics and communication on railway transport», Samara, Russia, r.iusupov@samgups.ru, SPIN-код: 1021-2530

ALEXEY S. KHOKHRIN, Volga state transport university (SSTU), PhD in Engineering, senior lecturer of the department «Automation, telemechanics and communication in railway transport», Samara, Russia, a.hohrin@samgups.ru, SPIN-код: 5077-9365

EVGENIY G. SHCHERBINA, 1520 Signal, Technical Director, PhD in Engineering, Associate professor, Moscow, Russia, evgeny.shcherbina@1520signal.ru

EVGENIY V. PAVLOV, ELTEZA, First Deputy General Director, PhD in Engineering, Moscow, Russia, ev.pavlov@elteza.ru, SPIN-код: 2552-3774

Keywords: digital twin, tonal track circuit, track filter, method of three known loads, methodology for measuring four-terminal network parameters

Abstract. Russian railway transport has entered a phase of digital transformation and intellectualization, which includes the development and practical application of digital twins for railway infrastructure objects. When developing and updating digital twins, the quality of methodological support for these processes is of great importance, and it must be adapted to modest university equipment. Digital transformation is at an initial stage; there is much work ahead, and it is necessary to train personnel already now. The article presents a methodology that allows measuring the A-parameter values of the four-terminal network of the FPM track filter of tonal track circuits (TTC), taking into account the conditions of its operation in a specific TTC, which will enhance the adequacy of the digital twin for this TTC.

Automation levels for a railway marshalling yard

PAVEL A. POPOV, RUT (MIIT), Research Institute of Transport, Advanced engineering school «Academy of VSM», deputy director, PhD in Engineering, Moscow, Russia, PopovPavelA@yandex.ru

SERGEY V. BUSHUEV, Ural State University of Railway Transport, Vice rector for scientific work, professor, Doctor of Technical Sciences, Ekaterinburg, Russia, SBushuev@usurt.ru

Keywords: digital railway station, FP5 – TRANS4M-R project, automation levels for shunting operations, digital automatic coupler

Abstract. The article discusses the issues of automation and digitalization of freight railway traffic, in particular, the automation of marshalling processes, the transition from the mechanization of individual operations to the creation of integrated cyber-physical systems capable of managing the entire technological cycle of the station with minimal human involvement. The FP5 – TRANS4M-R project on the creation of a digital freight train, which is being implemented in the European Union as part of the future freight transportation concept, has been analyzed. The project involves the creation of an intelligent system that integrates various stakeholders, processes, and technologies. The Concept of Automation Levels for Shunting Operations has been presented.

Key directions for digital transformation of industry and rail transport

ALEXANDER U. CHESALOV, Strategy Expert, Bauman Moscow State Technical University, Ph.D. (Tech.), Moscow, Russia, achesalov@mail.ru

Keywords: digital transformation, artificial intelligence, industrial internet of things, predictive maintenance

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of key global trends shaping the trajectory of digital transformation in industry and rail transport over the next decade. Three interrelated development vectors are identified: technological convergence (artificial intelligence, the Internet of Things, digital twins), a fundamental restructuring of production models (the transition to hyperautomated and human-centric systems), and a response to macro-challenges (technological sovereignty, cybersecurity, labor market transformation). Five fundamental technological trends are analyzed. The key role of industrial artificial intelligence, shaped by the need to ensure the technological sovereignty of the Russian Federation, is substantiated. The experience and data of Russian Railways, a major driver of the digital transformation of the country's industry, are analyzed. Russian Railways is a leading provider of effective and comprehensive technological modernization in rail transportation.

Development of metrological support for applied information, measurement and control systems

LEONID S. ZVYAGIN, Financial university under the government of the Russian Federation, PhD in economics sciences, associate professor, Moscow, Russia, sdimif@yahoo.com, ORCID-код: 0000-0003-4983-6012

Keywords: measurement theory, metrological support, information and measuring systems, control systems, error, uncertainty, traceability, topological space

Abstract. The article considers the role of the theory of measurements as a fundamental basis for the effective design and continuous improvement of metrological support for modern information, measuring and control systems (IMCS). It is determined that in the context of the increasing complexity and accuracy of modern technologies, a deep understanding of the principles of measurements, methods for estimating uncertainty and approaches to ensuring traceability is becoming critically important. A mathematical model of the measurement process based on a topological space has been developed, which allows formalizing and analyzing the metrological characteristics of IMCS at various stages of their life cycle. The results of the study are the systematization of the basic concepts and methods of the theory of measurements, the analysis of the influence of modern technologies on metrology, and the proposal of a new model for improving the quality of metrological support. The conclusions emphasize the need for further development of the theoretical foundations of metrology to adapt to the challenges of digital transformation and ensure the reliability and validity of measurements in dynamically developing technical systems.



АВТОМАТИКА СВЯЗЬ ИНФОРМАТИКА

Главный редактор: Филюшкина Т.А.

Редакционная коллегия:

Аношкин В.В.; Безродный Б.Ф., д-р техн. наук;
Воронин В.А.; Вохмянин В.Э.; Долгий А.И., канд. техн. наук;
Кайнов В.М., канд. техн. наук; Канаев А.К., д-р техн. наук;
Кобзев С.А.; Назимова С.А.; Насонов Г.Ф.;
Никитин А.Б., д-р техн. наук; Орехов Э.Г.; Перотина Г.А.;
Розенберг Е.Н., д-р техн. наук;
Розенберг И.Н., д-р техн. наук; Семион К.В.; Сиделев П.С.;
Танаев В.Ф.; Трясов М.С., канд. техн. наук;
Хромушкин К.Д., канд. техн. наук; Чаркин Е.И.

Редакционный совет:

Балакирев В.В.; Бубнов В.Ю.;
Гершвальд А.С., д-р техн. наук; Гоман Е.А.;
Горбунов А.Е., канд. техн. наук;
Горелик А.В., д-р техн. наук; Ефанов Д.В., д-р техн. наук;
Журавлёва Л.М., д-р техн. наук; Лисин С.Ю.; Петренко Ф.В.;
Петров А.И.; Поменков Д.М., канд. техн. наук;
Сансызбаев М.А.; Сергеечев Н.А.; Солдатенков Е.Г.;
Талалаев В.И., канд. техн. наук; Ушакова А.С.;
Черномазов А.В.; Шабельников А.Н., д-р техн. наук;
Шаманов В.И., д-р техн. наук;
Шубинский И.Б., д-р техн. наук

Журнал включен в базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, а также в актуальную версию Единого государственного перечня научных изданий – «Белый список»

Решением Президиума ВАК Минобрнауки России от 27 января 2016 г. журнал «Автоматика, связь, информатика» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий

Использование и любое воспроизведение на страницах интернет-сайтов, печатных изданий материалов, опубликованных в журнале, разрешается только с письменного согласия редакции

Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-21833 от 07.09.05

Адрес редакции: 107174, Москва, ул. Новая Басманная, д. 4–6, стр. 2

E-mail: asi-rzd@mail.ru, www.asi-journal-rzd.ru

Телефоны: +7 (985) 774-07-31; +7 (499) 262-16-44; 7 (499) 262-54-29.

Подписано в печать 31.03.2026. Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 6,84. Усл. кр.-отт. 8,00. Уч.-изд. л. 10,1. Зак. 26067

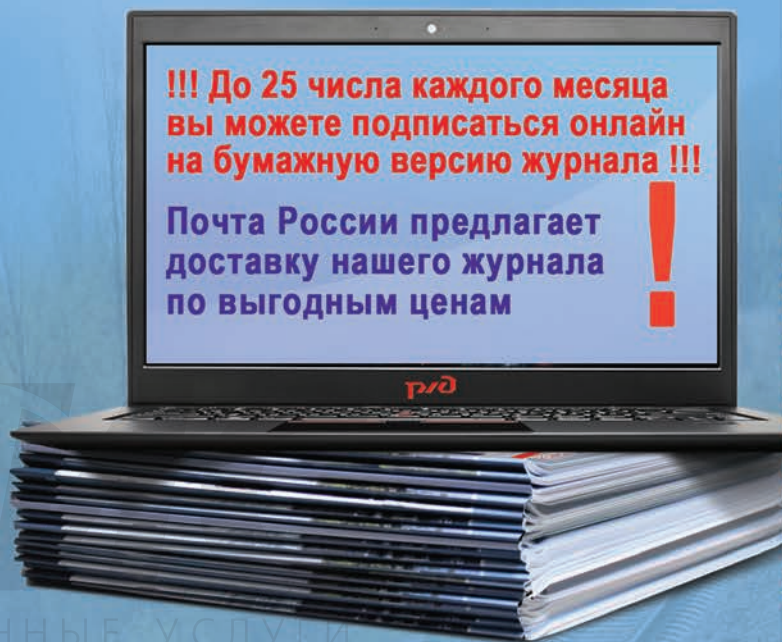
Отпечатано в типографии ЗАО «Алгоритм+» 420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36

© Москва «Автоматика, связь, информатика», 2026

ЖУРНАЛ «АСИ» приглашает к сотрудничеству!

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Журнал «Автоматика, связь, информатика» более 100 лет является единственным источником полезной информации в области железнодорожной автоматики, телемеханики, связи, вычислительной техники, информатизации транспорта.



Свидетельством его высокого научно-технического уровня является то, что он входит в перечень ведущих периодических изданий, публикация в которых учитывается при защите докторской и кандидатской диссертаций Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Министерства образования и науки РФ, а также в базу данных «Russian Science Citation Index» (RSCI), доступ к которой осуществляется через платформу Web of Science. Журнал включен в актуальную версию Единого государственного перечня научных изданий – «Белый список»

Адрес редакции:
107174, Москва,
ул. Новая Басманная,
д. 4–6, стр. 2

Телефоны:
+7 (985) 774-07-31
+7 (499) 262-16-44
+7 (499) 262-77-50



Для оформления онлайн-подписки достаточно перейти по ссылке <https://podpiska.pochta.ru/press/П5063>, заполнить заявку на получение журнала на домашний адрес, до востребования или через почтовый ящик и оплатить ее

Оформить онлайн-подписку также можно через наш сайт www.asi-journal-rzd.ru в разделе «Подписка»



Электронную версию отдельных статей журнала можно приобрести на сайте Научной электронной библиотеки http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7655

Оформить подписку на электронную версию журнала можно на сайте ООО «Агентство «Книга-Сервис» http://akc.ru/itm/avtomatika-svy_az-informatika/



Рекламно-информационное сотрудничество – эффективная поддержка в продвижении вашего бизнеса



Наши отраслевые журналы ориентированы на широкий круг читателей – от руководителей и специалистов до студентов и учащихся железнодорожных учебных заведений.

- Журнал «**Железнодорожный транспорт**» издается с 1826 г.
- Журнал «**Путь и путевое хозяйство**» издается с января 1957 г.
- Журнал «**Локомотив**» издается с 1957 г.
- Журнал «**Вагоны и вагонное хозяйство**» издается с 2005 г.
- Журнал «**Железные дороги мира**» издается с 1961 г.
- Журнал «**Автоматика, связь, информатика**» издается с 1923 г.

Нас читают во всех регионах России, в десятках стран ближнего и дальнего зарубежья, на предприятиях магистрального и промышленного железнодорожного транспорта.

Наше сотрудничество будет полезным для налаживания взаимовыгодных контактов, деловых партнерских отношений.

**По вопросам размещения рекламы
обращаться в ЦНТИБ ОАО «РЖД»**

Телефон: (499) 262-54-29

E-mail: berezinazhv@center.rzd.ru

Почтовый адрес: 107078, г. Москва, Новая Басманная, д. 4–6, стр. 2

