

Предметно-ориентированная информационная модель объектов железнодорожной автоматики на базе архитектуры OPC UA как способ снижения сложности конфигурации и повышения функциональной безопасности

An OPC UA-based subject-oriented information model of railway signalling assets as a way of reducing configuration complexity and improving functional safety

Змиев Т.Б.¹, Радковский С.А.¹, Трунаев А.М.^{2*}
Zmiyov T.B.¹, Radkovsky S.A.¹, Trunayev A.M.^{2*}

¹ Донецкий институт железнодорожного транспорта, Донецкая Народная Республика, Донецк

² Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, Ростов

¹ Donetsk Institute of Railway Transport, Donetsk People's Republic, Donetsk

² Rostov State Transport University, Russian Federation, Rostov

* andrey.trunayev@mail.ru



Змиев Т.Б.



Радковский С.А.



Трунаев А.М.

Аннотация. В статье рассматривается проблема интеграции микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и систем диспетчерского контроля (SCADA). Традиционные сетевые протоколы с плоской адресацией памяти порождают семантический разрыв между физическим оборудованием и абстракциями управления движением, что увеличивает алгоритмическую сложность конфигурации и снижает уровень функциональной безопасности. Целью исследования является разработка предметно-ориентированной информационной модели базовых объектов напольного оборудования (стрелочный перевод, путевая секция, светофор) на основе стандарта IEC 62541 (OPC UA). В работе предложен метод инкапсуляции логики технологических блокировок централизации непосредственно в сетевой стек протокола с использованием программных вызовов (методов) и динамического управления системным атрибутом разрешения выполнения. Теоретически обосновано, что применение механизмов наследования свойств и машинного самоописания объектов контроллером позволяет снизить алгоритмическую сложность настройки автоматизированных рабочих мест с линейно-мультипликативной размерности $O(N \times M)$ до $O(N)$. Результаты исследования подтверждают повышение защищенности систем от логических атак и ошибок оператора. Предложенная иерархия типов данных может служить прототипом для создания унифицированной отраслевой спецификации взаимодействия систем железнодорожной автоматики.

Abstract. The paper addresses the problem of integrating computer-based railway signalling systems with supervisory control and data acquisition (SCADA) systems. Conventional network protocols with flat memory addressing create a semantic gap between physical equipment and traffic control abstractions, which exponentially increases the algorithmic complexity of configuration and diminishes cyber-physical security. The aim of the study is to develop a domain-specific information model for basic trackside assets (railway switch, route section, signal) based on the IEC 62541 (OPC UA) standard. The paper proposes a method for encapsulating the fail-safe interlocking logic directly into the protocol's network stack using software calls (methods) and dynamic management of the execution permission system attribute. It is mathematically proven that applying property inheritance and machine self-description mechanisms allows reducing the algorithmic complexity of operator workstation configuration from a linear-multiplicative dimension of $O(N \times M)$ to $O(N)$. The findings confirm an improved system protection against logical attacks and operator errors. The proposed data type hierarchy can serve as a prototype for creating a single industry specification for the interaction of railway signalling systems.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика, микропроцессорная централизация, информационная модель, семантический разрыв, функциональная безопасность, информационная совместимость, OPC UA.

Keywords: railway signalling, computer-based interlocking, information model, semantic gap, functional safety, information compatibility, OPC UA.

Для цитирования: Змиев Т.Б., Радковский С.А., Трунаев А.М. Предметно-ориентированная информационная модель объектов железнодорожной автоматики на базе архитектуры OPC UA как способ снижения сложности конфигурации и повышения функциональной безопасности // *Надежность*. 2026. №2. С. 59-65. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2026-26-2-59-65>

For citation: Zmiyov T.B., Radkovsky S.A., Trunayev A.M. An OPC UA-based subject-oriented information model of railway signalling assets as a way of reducing configuration complexity and improving functional safety. *Dependability* 2026;2: 59-65. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2026-26-2-59-65>

Поступила: 11.02.2026 / **После доработки:** 25.03.2026 / **К печати:** 25.05.2026

Received on: 11.02.2026 / **Revised on:** 25.03.2026 / **For printing:** 25.05.2026

Введение

Современные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) переживают этап глубокой цифровой трансформации, основу которой составляет переход к микропроцессорным системам централизации (МПЦ). В архитектуре таких систем критически важным звеном является организация надежного информационного обмена между программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), выполняющими алгоритмы технологических блокировок, и системами верхнего уровня – автоматизированными рабочими местами (АРМ) дежурного по станции и электромеханика.

Традиционный подход к интеграции оборудования базируется на использовании сетевых протоколов с «плоской» адресацией памяти (например, Modbus TCP или ранние спецификации OPC Data Access). При таком подходе технологическая информация передается в виде неструктурированного массива битовых и аналоговых переменных (тегов). Это порождает фундаментальную проблему семантического разрыва: для сетевого стека и системы визуализации (SCADA) передаваемые данные лишены технологического смысла, связь между датчиками положения стрелки и командой на ее перевод существует только в проектной документации и сознании инженера-разработчика.

Наличие семантического разрыва приводит к двум критическим системным недостаткам. Во-первых, кратно возрастает трудоемкость конфигурации автоматизированных рабочих мест (АРМ дежурного персонала): для станции, содержащей N технологических объектов (каждый из которых имеет M параметров), инженеру требуется выполнить $N \times M$ операций ручной привязки переменных к графическим элементам мнемосхемы. При масштабировании станции сложность инжиниринга растет линейно-мультипликативно, однако вероятность внесения критических ошибок из-за человеческого фактора (при работе с неструктурированным массивом из сотен тегов) возрастает нелинейно. Во-вторых, снижается уровень функциональной безопасности: при плоской адресации управляющие переменные открыты для прямой записи. В случае программного сбоя АРМ или ошибочных действий оператора опасная команда транслируется напрямую в память ПЛК, и обеспечение безопасности движения полностью возлагается на внутренние алгоритмы контроллера.

Решением данных проблем является переход к структурному семантическому моделированию на базе международного стандарта IEC 62541 (OPC UA). Однако задача заключается не в простой замене транспортного протокола, а в разработке предметно-ориентированной информационной модели (онтологии), которая позволит транслировать строгие алгоритмы железнодорожной автоматики непосредственно в атрибуты адресного пространства сети, превратив контроллер в систему с функциями машинного самоописания.

1. Анализ последних исследований и публикаций

Анализ современной научно-технической литературы показывает устойчивый тренд на отказ от проприетарных протоколов связи в пользу открытых стандартов, обеспечивающих семантическую информационную совместимость между подсистемами автоматики и кибер-физическими системами в контексте Индустрии 4.0 и цифровой трансформации транспорта [1, 2]. Стандарт OPC Unified Architecture (OPC UA) рассматривается как ведущий механизм обмена данными и моделирования объектов в промышленности благодаря расширяемой объектно-ориентированной модели [1].

В работах по промышленной автоматизации указывается, что традиционные методы адресации данных на основе плоских таблиц тегов ограничивают масштабирование систем управления и конфигурацию SCADA-сред [1, 3].

Значительное внимание уделяется разработке цифровых двойников (Digital Twins) для мониторинга и предиктивного обслуживания элементов железнодорожной инфраструктуры [4, 5, 6]. Российские исследования также показывают интеграцию DT-подходов с методами оценки параметров готовности и управления надежностью технических систем с использованием цифровых моделей [5].

В отечественной научной литературе обсуждается развитие интеллектуальных транспортных систем с использованием BIM-моделирования, IoT-сетей и методов искусственного интеллекта (ИИ) для повышения надежности, и эффективности инфраструктуры железных дорог [7]. Материалы профильных журналов по железнодорожной автоматике подчеркивают перспективы внедрения цифровых технологий в системы управления

движением и эксплуатационную поддержку, а также необходимость унификации данных для интеграции различных подсистем [8].

Практические публикации в журнале *Автоматика, связь, информатика* поднимают вопросы внедрения сквозных цифровых технологий на железнодорожном транспорте и анализируют современные реалии цифровизации систем управления станциями и тех-процессами [9].

Однако анализ исследований по информационным моделям указывает на нехватку готовых практических шаблонов (Types) и правил именования для железнодорожной автоматики, что осложняет интеграцию оборудования разных производителей и разработку унифицированных рабочих мест операторов [1, 3, 6].

Таким образом, несмотря на активное обсуждение преимуществ OPC UA и цифровых двойников в научной среде, сохраняется необходимость разработки специализированных информационных моделей и стандартов данных, ориентированных на задачи контроля и управления в железнодорожной автоматике [1, 5, 7].

2. Цель работы

Целью данного исследования является разработка и теоретическое обоснование семантической информационной модели объектов железнодорожной автоматики (на базе архитектуры OPC UA), обеспечивающей встроенный механизм функциональной защиты и автоматизацию конфигурации подсистемы АРМ на базе SCADA.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

Разработка иерархии базовых типов данных (шаблонов) для ключевых элементов напольного оборудования (на примере стрелочного перевода, путевой секции и светофора), устраняющей семантический разрыв между физическими сигналами и логическими статусами объектов.

Снижение алгоритмической сложности конфигурации систем верхнего уровня с размерности $O(N \times M)$ до $O(N)$ за счет применения механизмов наследования свойств и автоматического обнаружения структуры объектов сервером.

Разработка метода повышения функциональной безопасности управления путем инкапсуляции технологических блокировок СЦБ в сетевой стек протокола с использованием программных вызовов (методов) и динамического управления правами исполнения, исключающего прямую модификацию памяти контроллера.

3. Основная часть

Первым и наиболее массовым объектом автоматизации на любой железнодорожной станции является стрелочный перевод. С точки зрения технологического процесса, он представляет собой не просто механизм с двумя дискретными состояниями, а сложный объект,

требующий строгого контроля переходных процессов, учета временных характеристик и разделения каналов мониторинга и управления.

Процесс семантического моделирования начинается с проектирования абстрактного шаблона – базового типа объекта. Для стрелочного перевода в адресном пространстве сервера формируется тип RailwaySwitchType (рис. 1). На уровне архитектуры закладывается фундаментальное правило пространственного именования: системные идентификаторы узлов (BrowseName) задаются строго на латинице для обеспечения программной совместимости сценариев автоматизации, в то время как атрибуты отображаемого имени (DisplayName) поддерживают локализацию и содержат понятное оператору описание на русском языке.

ATTRIBUTE	VALUE
NodeId	ns=2;i=1
NamespaceIndex	2
IdentifierType	Numeric
Identifier	1
NodeClass	ObjectType
BrowseName	2, "RailwaySwitchType"
DisplayName	"" , "RailwaySwitchType"
Description	"" , "RailwaySwitchType"
IsAbstract	false
WriteMask	0
UserWriteMask	0

Рис. 1. Информационная модель RailwaySwitchType в нотации UaExpert

Для обеспечения однозначного определения состояний «Плюс» или «Минус» системой визуализации в модель введены две независимые булевы переменные: SensorPlus (контроль плюсового положения) и SensorMinus (контроль минусового положения). Дополнительно тип включает аналоговую переменную MovementTime (время перевода) – диагностический параметр, позволяющий отслеживать механическую деградацию привода и формировать данные для подсистем предиктивного обслуживания.

Управление стрелочным переводом реализовано не через классическую запись значений в регистры памяти, а через встроенный механизм вызова программных процедур – методов (Methods). В структуре типа определены методы MoveToPlus и MoveToMinus. В отличие от изменения бита в плоской таблице тегов, вызов метода представляет собой атомарную сетевую транзакцию, которая гарантирует передачу команды как единого события и может возвращать диагностический код результата.

Переход от абстрактной модели к физической топологии станции осуществляется через механизм инстанцирования – создания экземпляров объектов на основе заданного типа. Рассмотрим этот процесс на примере стрелки № 7. В адресном пространстве сервера создается объект с системным именем Switch_07, который жестко связан с родительским типом RailwaySwitchType посредством ссылки определения типа (рис. 2). Благодаря этому механизму SCADA система при подключении к

контроллеру способна выполнить автоматическое обнаружение объекта и самостоятельно развернуть типовую экранную форму управления, снижая алгоритмическую сложность настройки АРМ.

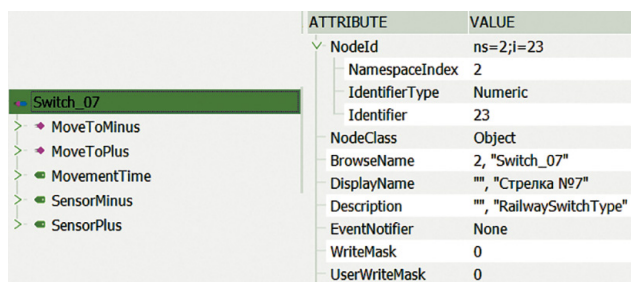


Рис. 2. Модель экземпляра «Стрелка № 7» в нотации UaExpert

При создании экземпляра модель адаптируется под параметры конкретного напольного оборудования. Например, если стрелка № 7 является пологой и оснащена несколькими приводами, время ее перевода может превышать стандартные значения. В модели это отражается путем переопределения свойства EURange внутри переменной MovementTime: устанавливается индивидуальный допустимый диапазон от 0 до 15 секунд. Это позволяет корректно масштабировать шкалы и уставки тревог на АРМ без изменения логики обработки остальных стрелок станции.

Ключевой особенностью предложенной модели является метод повышения функциональной безопасности посредством инкапсуляции технологических блокировок. В традиционных системах контроллер циклически принимает управляющие биты от АРМ и проверяет их безопасность в основном цикле программы. В случае компрометации системы визуализации или ошибки диспетчера опасная команда может передаться в память контроллера.

В разработанной архитектуре защита реализуется на уровне сетевого стека протокола за счет динамического управления атрибутом разрешения на выполнение – Executable. Внутренняя логика электрической централизации ПЛК непрерывно связывает состояние путевых блокировок с данным атрибутом методов управления. Если путевая секция, в которую входит стрелка № 7, занята подвижным составом или замкнута в маршруте, микропроцессорная логика динамически переводит атрибут Executable методов MoveToPlus и MoveToMinus в состояние «Ложь» (False).

Следствием данного архитектурного решения является то, что любая попытка несанкционированного или ошибочного вызова метода со стороны АРМ будет отклонена самим коммуникационным сервером (с возвратом кода ошибки Bad_NotExecutable) еще до передачи команды в прикладную программу контроллера. Таким образом, семантическая модель транслирует строгие правила безопасности железнодорожной автоматики непосредственно в свойства адресного пространства,

формируя дополнительный эшелон защиты от логических атак и ошибок человеческого фактора.

Наравне с исполнительными механизмами, критически важным элементом цифровой информационной модели станции являются логические объекты путевой топологии, в частности – **путевые секции**. Рассмотрим реализацию данного класса на примере экземпляра «Секция 7СП» (Section_7SP), топологически связанного с ранее рассмотренной стрелкой и созданного на базе родительского типа RouteSectionType. В отличие от стрелочного перевода, путевая секция обладает сложной логикой состояний, где физическая занятость пути подвижным составом и программное замыкание в маршруте могут существовать независимо друг от друга. В адресном пространстве созданного экземпляра эти сущности строго разделены: переменная IsOccupied отражает аппаратные данные от путевых приемников, а IsLocked – статус логической блокировки централизации (рис. 3).

Особое значение при моделировании секции приобретает реализация ответственных команд, таких как искусственная разделка (принудительное размыкание) секции маршрута. В предложенной модели данная процедура инициализируется исключительно через вызов защищенного метода SelectForRelease. Переменная, отображающая на АРМ статус выбора секции оператором (IsSelectedForRelease), имеет системный атрибут доступа только для чтения. Это архитектурное решение на уровне сетевого стека исключает возможность несанкционированной имитации действий диспетчера путем прямой модификации памяти контроллера извне, гарантируя, что индикация выбора появится на экране только после того, как логика блокировок действительно примет и верифицирует команду.

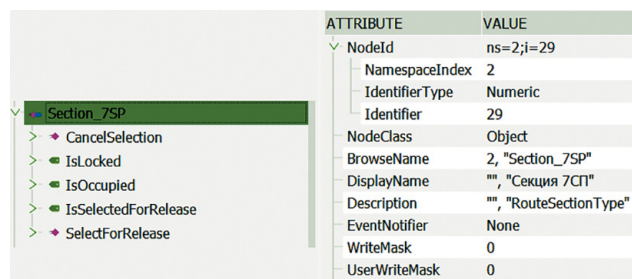


Рис. 3. Модель экземпляра «Секция 7СП» в нотации UaExpert

Завершает базовую архитектуру напольного оборудования класс объектов индикации – светофоры. Главной проблемой при их семантическом моделировании является высокая вариативность аппаратного исполнения: в пределах одной станции могут функционировать входные, выходные, маршрутные, маневровые и т.д. светофоры. Создание уникального типа данных под каждую возможную комбинацию линз привело бы к необоснованной избыточности программного кода.

Для решения этой задачи разработан универсальный шаблон, на примере выходного светофора (ExitSignalType), в полной мере использующий механизм опционального моделирования стандарта OPC UA (ModellingRule: Optional). Гибкость данного подхода наглядно демонстрируется на экземпляре выходного светофора H1 (рис. 4).

Поскольку физический светофор H1 является совмещенным (выполняет функции как поездного, так и маневрового), при инстанцировании данного объекта на сервере активируется расширенный набор заложенных в типе опций. В дереве экземпляра, помимо обязательных узлов поездного показателя (запрещающий сигнал IsStop и разрешающий IsOpen), создаются опциональные узлы маневрового сигнала (IsShuntingActive) и соответствующий метод задания маневрового маршрута (PressShuntingRouteButton).

ATTRIBUTE	VALUE
NodeId	ns=2;i=47
NamespaceIndex	2
IdentifierType	Numeric
Identifier	47
NodeClass	Object
BrowseName	2, "Signal_N1"
DisplayName	""
Description	""
EventNotifier	None
WriteMask	0
UserWriteMask	0

Рис. 4. Модель экземпляра «Светофор H1» в нотации UaExpert

Крайне важно подчеркнуть системный эффект от применения такой иерархии типов. Система визуализации при чтении адресного пространства сервера автоматически распознает структуру конкретного экземпляра на основе его ссылки на базовый тип. Если в объекте присутствует опциональный узел маневровой команды, на типовой экранной форме диспетчера динамически отрисовывается соответствующий элемент управления; если бы рассматривался простой светофор без маневровых показаний – эти узлы не создавались бы при инстанцировании, и интерфейс автоматически упростился бы.

Это на практике доказывает преодоление семантического разрыва: АРМ ДСП на базе SCADA обретает способность к автоматическому обнаружению функционала и адаптируется под технологическую конфигурацию напольного оборудования без необходимости ручного переписывания графических шаблонов и привязки тегов. Применение единого типизированного подхода позволяет существенно снизить вероятность алгоритмических ошибок при масштабировании систем управления движением поездов.

В традиционных архитектурах ЖАТ, использующих протоколы с плоской адресацией памяти (Modbus, OPC DA), контроллер выступает как пассивный массив неструктурированных данных. Для станции, содержащей

N технологических объектов (стрелок, светофоров, секций и т.д.), каждый из которых характеризуется набором из M параметров контроля и управления, инженеру для настройки АРМ необходимо вручную выполнить операцию привязки каждого отдельного тега к графическому элементу. Алгоритмическая сложность процесса конфигурации такой системы составляет $O(N \times M)$. При масштабировании станции или тиражировании программного обеспечения на другие объекты инфраструктуры трудоемкость растет линейно-мультипликативно, а вероятность внесения ошибок (человеческий фактор) возрастает нелинейно. В такой парадигме подсистема АРМ лишена возможности машинного понимания технологического контекста: для нее управляющий бит перевода стрелки ничем не отличается от бита включения освещения.

Внедрение разработанной предметно-ориентированной информационной модели кардинально меняет парадигму интеграции, наделяя ПЛК функцией семантического самоописания. Использование базовых типов (например, RailwaySwitchType) и механизмов объектного наследования позволяет оптимизировать сложность инжиниринга.

Разработка графического шаблона (типовой экранной формы) для класса объектов выполняется в SCADA-системе однократно, что имеет алгоритмическую сложность $O(1)$. Дальнейшая привязка сводится лишь к указанию корневого узла экземпляра, что снижает общую сложность конфигурации до $O(N)$.

Предложенная архитектура позволяет реализовать концепцию автоматического обнаружения оборудования. Алгоритм взаимодействия клиент-сервер при этом выглядит следующим образом:

SCADA-система при первичном подключении иницирует службу навигации по адресному пространству (сервис Browse).

Выполняется фильтрация узлов по признаку системной ссылки HasTypeDefinition с указанием искомого типа (например, ExitSignalType).

Контроллер возвращает структурированный массив всех выходных светофоров на станции.

Поскольку структура каждого возвращенного экземпляра строго соответствует априори известной информационной модели (включая как обязательные, так и активированные опциональные узлы), подсистема АРМ способна автоматически сгенерировать интерфейсы оператора без ручной переадресации тегов.

Выводы

В ходе проведенного исследования разработана и теоретически обоснована предметно-ориентированная информационная модель объектов железнодорожной автоматики на базе стандарта IEC 62541 (OPC UA). Переход от традиционной плоской адресации переменных к семантической иерархии базовых типов данных (стрелочный перевод, путевая секция,

светофор) позволил решить ряд фундаментальных проблем интеграции микропроцессорных систем централизации:

Повышение функциональной безопасности. Показано, что применение механизма вызова программных процедур (методов) вместо прямой записи управляющих значений в память контроллера формирует дополнительный эшелон защиты. Инкапсуляция логики технологических блокировок посредством динамического управления системным атрибутом разрешения выполнения (Executable) отсекает ошибочные или несанкционированные команды со стороны верхнего уровня непосредственно на границе сетевого стека.

Снижение алгоритмической сложности инжиниринга. Теоретически обосновано, что использование механизмов наследования свойств и машинного самоописания объектов контроллером снижает алгоритмическую сложность настройки подсистемы АРМ с линейно-мультипликативной размерности $O(N \times M)$ до $O(N)$. Это минимизирует влияние человеческого фактора и полностью исключает ошибки перекрестной адресации.

Унификация и масштабируемость конфигураций. На примере модели выходного светофора подтверждена эффективность применения правил опционального моделирования. Разработанный подход позволяет использовать единый базовый шаблон для описания напольного оборудования различной аппаратной комплектации, обеспечивая автоматическую адаптацию типовых экранных форм оператора под конкретный набор функций объекта.

Локализация и стандартизация интерфейсов. Внедрение двухуровневой системы именования узлов разделяет программные идентификаторы и пользовательские интерфейсы, обеспечивая корректную работу скриптов автоматизации независимо от языка отображения мнемосхем.

Таким образом, предложенная архитектура решает проблему семантического разрыва между физическим оборудованием и абстракциями управления движением поездов. Разработанные информационные модели могут служить прототипом отечественной отраслевой спецификации для безопасной и унифицированной интеграции компонентов железнодорожной автоматики от различных производителей.

Список литературы

1. Busboom A. Combining OPC UA with Semantic Web Technologies and AI – State-of-the-Art and Future Research Directions // *Automatisierungstechnik*. 2025. Vol. 73. No. 7. DOI: 10.1515/auto-2024-0158 EDN: YYBUFI
2. Muñoz R., Ripa T. L. BIM-based Digital Twin for the Management of a Railway Station // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2025. Vol. 31. No. 7. P. 747-762. DOI: 10.3846/jcem.2025.24091 EDN: BAVIPU

3. Digitalization of railway transportation through AI-powered services: digital twin trains // *European Transport Research Review*. 2024. Vol. 16. Article 58. DOI: 10.1186/s12544-024-00679-5 EDN: TZAYXA

4. Revolutionizing Railway Systems: A Systematic Review of Digital Twin Technologies // *High-speed Railway*. 2025. Vol. 3. No. 3. P. 238-250. DOI: 10.1016/j.hspr.2025.05.005 EDN: WLXZFK

5. Gorelik A.V., Istomin A.V., Kuzmina E.V. Digital Twins and the Harrington Scale in Railway Automation and Telemechanics Reliability Management // *Transportation and Information Technologies in Russia*. 2025. Vol. 15. No. 3. (рус.: Результаты подхода к управлению надежностью через цифровые двойники). DOI: 10.12731/3033-5965-2025-15-3-379 EDN: TLAFNQ

6. Sintez AT LLC. Развитие интеллектуальных транспортных систем: цифровые двойники в железнодорожной отрасли // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2025. № 4. С. 33-46. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-444-33-46 EDN: BJMGDY

7. Ефанов Д.В. Технологии цифрового моделирования в железнодорожной отрасли // *Автоматика, связь, информатика*. 2020. № 2. С. 34-38. DOI: 10.34649/AT.2020.2.2.007 EDN: XIGZML

8. Дмитриев В.В., Гаранин М.А. Сквозные цифровые технологии на железнодорожном транспорте // *Автоматика, связь, информатика*. 2025. № 8. DOI: 10.62994/AT.2025.8.8.001 EDN: EQJOCK

9. Ларин А.Н., Ларина И.В. Цифровизация автотранспортной и железнодорожной отраслей как ключевой элемент цифровой экономики // *Известия Транссиба*. 2021. № 4(48). EDN: VWRXTL

References

1. Busboom A. Combining OPC UA with Semantic Web Technologies and AI – State-of-the-Art and Future Research Directions. *Automatisierungstechnik* 2025;73(7). DOI: 10.1515/auto-2024-0158 EDN: YYBUFI.
2. Muñoz R., Ripa T.L. BIM-based Digital Twin for the Management of a Railway Station. *Journal of Civil Engineering and Management* 2025;31(7):747-762. DOI: 10.3846/jcem.2025.24091 EDN: BAVIPU.
3. Digitalization of railway transportation through AI-powered services: digital twin trains. *European Transport Research Review* 2024;16:Article 58. DOI: 10.1186/s12544-024-00679-5 EDN: TZAYXA.
4. Revolutionizing Railway Systems: A Systematic Review of Digital Twin Technologies. *High-speed Railway* 2025;3(3):238-250. DOI: 10.1016/j.hspr.2025.05.005 EDN: WLXZFK.
5. Gorelik A.V., Istomin A.V., Kuzmina E.V. Digital Twins and the Harrington Scale in Railway Automation and Telemechanics Reliability Management. *Transportation and Information Technologies in Russia* 2025;15(3). DOI: 10.12731/3033-5965-2025-15-3-379 EDN: TLAFNQ.

6. Sintez AT LLC. Development of Intelligent Transport Systems: Digital Twins in the Railway Industry. *Intelligent Technologies in Transport* 2025;4:33-46. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-444-33-46 EDN: BJMGDY.

7. Efanov D.V. Digital Modeling Technologies in the Railway Industry. *Automation, Communication, Informatics* 2020;2:34-38. DOI: 10.34649/AT.2020.2.2.007 EDN: XIGZML.

8. Dmitriev V.V., Garanin M.A. End-to-End Digital Technologies in Railway Transport. *Automation, Communication, Informatics* 2025;8. DOI: 10.62994/AT.2025.8.8.001 EDN: EQJOCK.

9. Larin A.N., Larina I.V. Digitalization of Motor Transport and Railway Industries as a Key Element of the Digital Economy. *Proceedings of Transsib* 2021;4(48). EDN: VWRXTL.

Сведения об авторах

Змиев Тимофей Богданович – магистрант кафедры «Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника», ФГБОУ ВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта», 283018, Россия, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Горная, 6, e-mail: timophev37a@gmail.com

Радковский Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, кафедры «Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника», ФГБОУ ВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта», 283018, Россия, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Горная, 6, e-mail: serj_rsa@mail.ru

Трунаев Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», 344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, e-mail: andrey.trunayev@mail.ru

About the authors

Timofey A. Zmiyov, Master's Student, Department of Automation, Remote Control, Telecommunications, and Computer Engineering, Donetsk Institute of Railway Transport, 6 Gornaya St., Donetsk, 283018, Russia, Donetsk People's Republic, e-mail: timophev37a@gmail.com

Sergey A. Radkovsky, Candidate of Engineering, Senior Lecturer, Department of Automation, Remote Control, Telecommunications, and Computer Engineering, 6 Gornaya St., Donetsk, 283018, Russia, Donetsk People's Republic, e-mail: serj_rsa@mail.ru

Andrey M. Trunayev, Candidate of Engineering, Senior Lecturer, Department of Railway Signalling, Rostov State Transport University, 2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia, e-mail: andrey.trunayev@mail.ru

Вклад авторов в статью

Радковский С.А. – постановка задачи исследования, определение методологии объектно-ориентированного проектирования в среде OPC UA, общее научное руководство и редактирование финального текста статьи.

Змиев Т.Б. – Разработка архитектуры адресного пространства и базовых типов данных (RailwaySwitchType, ExitSignalType). Реализация механизма опционального моделирования для светофоров различной комплектации, разработка принципов разделения логики и физических состояний.

Трунаев А.М. – сбор и анализ литературных источников, обзор существующих протоколов обмена данными в системах ЖАТ. Разработка информационной модели путевой секции (RouteSectionType) и алгоритмов безопасного управления через методы. Подготовка аннотации, введения и выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.