

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ: МЕТОДОЛОГИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ТАКСОНОМИЯ, РУКОВОДСТВА И ПРАВИЛА

Научный руководитель: Арипов Назиржон Мукарамович,

т.ф.д., Профессор,
aripov1110@gmail.com

Таянч-докторант: Шабонова Дилноза Бахридин кизи.

dilishabon16@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Искусственный интеллект (ИИ) становится все более распространенным в большинстве инженерных областей, и железнодорожный транспорт не является исключением. Однако из-за множества различных новых терминов и значений, связанных с ними, существует риск того, что работники железнодорожного транспорта, как и некоторые другие категории, потеряются в этой двусмысленности и нечетких границах и, следовательно, не смогут уловить реальные возможности и потенциал машинное обучение, искусственное зрение и анализ больших данных — это лишь некоторые из наиболее многообещающих подходов, связанных с ИИ. Целью данной статьи является ознакомление академиков и практиков железнодорожного транспорта с основными концепциями и возможными применениями ИИ. С этой целью в данной статье представлена структурированная таксономия, которая поможет исследователям и практикам понять техники искусственного интеллекта, области исследований, дисциплины и системы как в общих чертах, так и в тесной связи с железнодорожными системами, такими как автономное вождение, техническое обслуживание и управление движением. Также представлены важные аспекты этики и объяснимости использования ИИ на железных дорогах. Связь между концепциями искусственного интеллекта и железнодорожными подобластями была подтверждена соответствующими исследованиями, посвященными существующим и планируемым системам, чтобы дать некоторые указания на перспективные направления.

Ключевые слова — искусственный интеллект, железнодорожный транспорт, машинное обучение, компьютерное зрение, управление дорожным движением, прогнозное обслуживание.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RAILWAY TRANSPORT: METHODOLOGY, DEFINITION, TAXONOMY, GUIDELINES AND RULES

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is becoming increasingly common in most engineering fields, and rail transport is no exception. However, due to the many different new terms and meanings associated with them, there is a risk that railway workers, like some other categories, will get lost in this ambiguity and unclear boundaries and therefore will not be able to grasp the real opportunities and potential of machine learning, artificial vision and big data analytics are just some of the most promising approaches related to AI. The purpose of this article is to introduce railway academics and practitioners to the basic concepts and possible applications of AI. To this end, this article presents a structured taxonomy that will help researchers and practitioners understand artificial intelligence techniques, research areas, disciplines and systems both generally and in close relation to railway systems such as autonomous driving, maintenance and traffic control. Important aspects of the ethics and explainability of AI use in railways are also presented. The connection between artificial intelligence concepts and railway subfields has been supported by relevant studies on existing and planned systems to provide some indications of future directions.

Keywords - artificial intelligence, railway transport, machine learning, computer vision, traffic management, predictive maintenance.

1. ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время широко признано, что искусственный интеллект (ИИ) влияет практически на все сферы нашей жизни. Опрос Economic Intelligent Unit (проведенный в конце 2016 года) показал, что 44% руководителей заявили, что отсрочка внедрения ИИ сделает их бизнес уязвимым для новых, прорывных технологических стартапов [1]. Железная дорога не является исключением. Хотя ИИ все еще находится в зачаточном состоянии в железнодорожном секторе, есть определенные свидетельства того, что его потенциал не следует недооценивать. Например, Торсино и др. [2] перечислили несколько аспектов железных дорог, где ИИ может играть важную роль: обслуживание клиентов, оптимизация сложных железнодорожных систем и повышение безопасности городских железнодорожных сетей. Они пришли к выводу, что «очевидно, что системы ИИ могут быть мощными и решать проблемы критические проблемы, с которыми сегодня сталкиваются железные дороги». Гилберт и др. [3]

подчеркнули важность искусственного интеллекта для будущей железнодорожной отрасли и полагают, что вскоре искусственный интеллект станет распространенным инструментом, используемым во всей железнодорожной отрасли. Обсуждаются несколько тем, в которых ИИ должен изменить правила игры в железнодорожном секторе, например, управление пропускной способностью, стоимость жизненного цикла, техническое обслуживание, снижение ошибок как со стороны людей, так и компьютеров, автоматизация высокого уровня и авто адаптивные системы. По сути, многие эксперты по искусственному интеллекту и практики железнодорожного транспорта полагают, что роль искусственного интеллекта в железнодорожном секторе будет становиться все более и более влиятельной, и в будущем наступит поворотный момент, когда искусственный интеллект будет использоваться в качестве общего инструмента.

В последние годы термин «искусственный интеллект» все чаще становится неотъемлемой частью повседневной жизни в виде смартфонов, интеллектуальных голосовых помощников и т. д. Однако из-за его широкого использования термин «ИИ» часто неправильно используется как синоним близкородственных понятий. Такие концепции, как машинное обучение (Machine learning), глубокое обучение (Deep Learning) и большие данные (Big Data). Таким образом, существует тенденция отсутствия четкого консенсуса относительно того, что представляет собой ИИ, и поэтому среди исследователей и практиков существует много путаницы и непонимания как в академической литературе, так и в общественных коммуникациях [4], [5].

Таксономия – это средство классификации объектов в соответствии с их естественными отношениями. Он предоставляет общий словарь для обсуждения и обмена информацией по конкретной теме. Мы находим примеры статей по таксономии в различных областях, включая цепочки поставок [6], авиацию [7] и производство [8], а также на железных дорогах: по таксономии выполнения железнодорожных операций [9], сбору механической энергии [10], развитие систем общественного транспорта [11] и ошибки связи при техническом обслуживании [12]. Аналогичным образом, исследователи обычно фокусировались на конкретных областях ИИ и предлагали таксономии в различных областях. Например, таксономия была определена для сетей связи 6G (адресующихся, среди прочего, ITS) [13], контролируемого регрессионного обучения для прогнозирования дорожного движения [14], контролируемого обучения для систем обнаружения вторжений в средах SCADA [15], эволюционных алгоритмов в дорожном движении. на транспорте [16] и, в

частности, на железных дорогах, таксономия машинного обучения и прогнозирования технического обслуживания железнодорожных путей с глубоким обучением [17], [18]. Однако целостного представления об искусственном интеллекте на железных дорогах до сих пор не существует. Кроме того, отсутствует общая таксономия ИИ, подходящая для железнодорожного транспорта и транспорта в целом. Мы утверждаем, что важным применением таксономии ИИ является информирование исследователей и практиков о том, какие методы подходят для принятия решений в железнодорожной сфере.

Целью данной статьи является определение ИИ, введение таксономии и установление необходимых связей между ИИ и железнодорожным транспортом. Целью документа является объединение двух областей и соответствующих экспертов из области ИИ, и железных дорог и определение ИИ для железнодорожной отрасли. С одной стороны, это проложит путь к лучшему пониманию терминологии и концепций ИИ в железнодорожной отрасли, а также познакомит экспертов по ИИ с железнодорожными подобластями. Эта подробная классификация ИИ дополняется обзором ИИ, используемого на железных дорогах. Кроме того, основное внимание уделяется исследовательским нишам, которые до сих пор не изучены сообществами в различных подобластях железнодорожного транспорта. Также обсуждаются открытые вопросы и направления исследований по внедрению железных дорог, наделенных искусственным интеллектом. Фактически, мы не только даем общие направления на будущее, но и поддерживаем их некоторыми существующими исследованиями в аналогичных (транспортных) областях, где это возможно.

II. МЕТОДОЛОГИЯ

Мы стремимся раскрыть возможности использования искусственного интеллекта в железнодорожных системах с целью освещения уже существующих, а также потенциальных статьи. В этом разделе описывается прикладная методология для отображения текущих применений и будущих возможностей ИИ на железных дорогах. Основное внимание уделяется подобластям железнодорожного транспорта, включая 1) техническое обслуживание и проверки, 2) надёжность и безопасность, 3) автономное вождение и контроль, 4) транспортное планирование и управление, 5) управление доходами, 6) транспортную политику и 7) мобильность пассажиров. Кроме того, чтобы выявить многообещающие потенциальные исследования, мы

также изучили смежные области, такие как другие виды транспорта (например, автомобильный и воздушный), цепочки поставок (энергосбережение, энергоснабжение) и производство. Чтобы продемонстрировать структурированный обзор этих текущих и потенциальных исследований, мы сопоставляем железнодорожные подобласти с различными классами ИИ на основе таксономии ИИ, представленной в разделе IV.

Чтобы найти соответствующие статьи, мы провели поиск статей в журналах и конференциях, используя базу данных Scopus. Кроме того, мы обогатили поиск успешными практическими применениями в профессиональных журналах и технических отчетах, для чего использовалась поисковая система Google. Тем не менее научные статьи составляют подавляющее большинство рецензируемых документов. Используемые ключевые слова были разработаны как комбинация термина из контекста AI и термина из контекста железнодорожного областа, при необходимости также добавляется слово «железная дорога» или другой область. Например, использовалась строка, состоящая из «экспертных систем», «пассажирской мобильности» и «железной дороги». Иногда для одного контекста AI или железной дороги ключевые слова могут быть разделены при поиске, например. «надёжность» и «безопасность» использовались отдельно. Кроме того, рассматривались такие термины, как «этика» и «объяснимость».

Для картирования мы строим матрицы, показывающие пересечения железной дороги и ИИ. Для каждой ячейки мы определяем ее текущее состояние, показывающее, признана ли она в научных исследованиях и/или на практике. Для этого каждая ячейка получает определенное (Y), потенциальное (P) или неопределенное (U) на основе соответствующего совпадения. При необходимости в подтверждение заключения ячейки предоставляются соответствующие документы, т.е. от железных дорог или других сфер. Мы определяем, принадлежит ли запись в трех таблицах Y, P или U, по следующим правилам:

Y: Системы с точным совпадением можно найти в академических журналах/материалах конференций и/или успешные реальные системы можно найти в журналах/новостях или других средствах массовой информации.

P: Подобные применения совпадения можно найти в академических журналах/материалах конференций и/или в реальных системах. Например, применение ИИ в другом секторе, кроме железнодорожного, но принципы, возможно, можно перенести.

У: В базы данных невозможно найти никакой конкретной литературы/отчета/статьи, даже из других смежных областей. Кроме того, мы используем наше суждение, основанное на знаниях и опыте авторов.

По сути, ячейки, отмеченные буквой У, представляют собой существующие исследования искусственного интеллекта на железных дорогах. Вместо этого ячейки с Р и U представляют будущие направления исследований, которые стоит рассмотреть для более детальных исследований, некоторые из которых, возможно, можно было бы с большей легкостью перенести из связанных доменов (Ps), чем другие (Us). Результаты такого картирования представлены в разделе VI.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Чтобы подчеркнуть потенциал ИИ на железных дорогах, важно дать комплексное определение того, что представляет собой ИИ, и обосновать, почему ожидается, что будущие интеллектуальные железные дороги будут отличаться от традиционных систем железнодорожной автоматизации, включая автоматическую защиту поездов и устаревшие системы без водителя. Базовое определение связывает ИИ с любой машиной, действующей разумно [19] или проявляющей характеристики, типичные для человеческого мышления. Другими словами, согласно этому общему определению, исследования ИИ направлены на создание интеллектуальных агентов, которые думают и действуют как люди. Основным ограничением такого определения является отсутствие общепринятого определения «интеллекта». Концептуально говоря, интеллект относится к способности агента (например, человека) учиться, понимать, рассуждать, планировать и решать проблемы. Эти аспекты очень сложно измерить, описать и измерить количественно. Поэтому в контексте области искусственного интеллекта одно из наиболее распространенных определений интеллекта основано на способности агента пройти «игру в имитацию», также известную как тест Тьюринга [20]: машина считается разумной, если она неотличима от человека при взаимодействии с беспристрастным наблюдателем.

С годами были введены более структурированные и подробные определения, например. [19], [21], [22], [23]. Интересно, что они очень похожи в некоторых аспектах (например, способность учиться на собственном опыте или принимать самостоятельные решения), но, как правило, различаются, когда дело доходит до определения того, в какой «форме» ИИ может быть развернут (например, робот, программное обеспечение, электронный компьютер и т. д.).

Эти существующие определения пытались отразить широкую природу ИИ и его потенциальный охват различных областей и сферах. При этом для некоторых областей такие определения могут оказаться слишком абстрактными, их будет трудно понять и, следовательно, они не будут широко приняты. Таким образом, эти аспекты таких общих определений имеют тенденцию снижать его понимание, что приводит к отсутствию общего согласия относительно того, что представляет собой ИИ.

Чтобы решить эту проблему, нам нужно определение ИИ, подходящее для поддержки железнодорожного транспорта и организации дорожного движения нового поколения. С этой целью нам необходимо подчеркнуть некоторые аспекты, которые имеют решающее значение при рассмотрении систем ИИ в железнодорожной сфере: 1) Возможность учиться на опыте и адаптироваться к окружающей среде (например, вождение с оптимизацией энергопотребления и обнаружение препятствий с помощью искусственного зрения и других датчиков), адаптация к изменяющимся условиям окружающей среды и обучение на поведении водителя и прошлых реакциях); 2) Принимать автономные решения в неопределенных сценариях путем взаимодействия с другими интеллектуальными объектами (например, совместное вождение, включая виртуальное сцепление, посредством связи между поездами); 3) Выполнение задач, которые потребовали бы критически важных аналитических данных, если бы их выполнял человек (например, объединение информации из нескольких источников на основе репутации для принятия решений по безопасности); 4) Исключить тривиальную автоматизацию, которая не учитывает неопределенности и/или неожиданные сценарии (например, незащитные и ненадежные подходы к автоматизации железных дорог, которые не поддерживают целостную отказоустойчивость, отказоустойчивость и самодиагностику/самовосстановление); и 5) Подходит для аппаратного, программного или гибридного внедрения на нескольких уровнях периферийных, туманных и облачных вычислений (например, цифровые двойники, реализующие модели машинного обучения для прогнозного обслуживания на основе данных путем мониторинга большого количества аналогичной железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава).

Одним из возможных определений, учитывающих эти аспекты, является следующее: ИИ — это дисциплина, объединяющая все аспекты, которые позволяют организации определять, как выполнять задачу и/или принимать решение на основе опыта, накопленного путем наблюдения за образцами и/или взаимодействия с окружающей средой, возможно, конкурирующей с другими

объектами или сотрудничающая с ними. Термин «аспекты» относится к алгоритмам, теоретическим формулировкам и вычислительным технологиям (как аппаратным, так и программным), прямо или косвенно предназначенным для того, чтобы заставить объект выполнить задачу, которая потребовала бы интеллекта, если бы ее выполнил человек. Термин «субъект» относится как к чисто программному обеспечению, так и к чисто аппаратному обеспечению, а также к любым гибридным вариантам того и другого (например, программному обеспечению, роботу или виртуальному агенту). Фраза «зрелый опыт» явно предназначена для включения как концепций обучения (т. е. новых знаний из некоторых примеров), так и умозаключений на основе данных (т. е. вывода следствий из некоторых предшествующих событий).

Все факторы, которые мы подчеркнули выше, существенны для характеристики ИИ на железных дорогах, поскольку позволяют исключить из класса будущих интеллектуальных железных дорог все распространенные подходы, использующие закодированный (т. е. запрограммированный кем-то) автоматизм. Примером этого являются нынешние беспилотные поезда, в которых реализована автоматическая работа поезда (АТО) вместе с автоматической защитой поезда (АТР) для безопасного выполнения ряда четко определенных действий в соответствии с некоторыми заранее определенными правилами и графиками [24]. Согласно предоставленному определению ИИ, эти беспилотные поезда не могут считаться интеллектуальными системами, поскольку они не могут принимать автономные решения в условиях неопределенности или неожиданных сценариев, учиться на опыте, адаптироваться к изменениям в окружающей среде, таким как препятствия на пути и т. д. Вместо этого Предоставленное определение ИИ включает в себя все алгоритмы, предназначенные для решения проблем и принятия решений на основе данных, которые, как ожидается, будут иметь огромный потенциал и влияние на будущие железные дороги.

Кроме того, железные дороги, поддерживаемые искусственным интеллектом, могут извлечь выгоду из других «умных» областей, таких как «умные города» [25] и «умный транспорт/ИТС» [26], [27]. Например, прогнозирование потребительского спроса и других условий дорожного движения в режиме реального времени может обеспечить более эффективное, своевременное и устойчивое предоставление услуг. Кроме того, это позволит лучше взаимодействовать с другими видами общественного транспорта, включающими общие системы по требованию (например, общие такси, гибкий каршеринг, общие велосипеды), для более удобных поездок от двери до двери.

В то же время «умные города» и ИТС могут работать на базе железнодорожных систем искусственного интеллекта. Например, более умные железные дороги помогут понять целостное движение и городские условия как в нормальных условиях, так и во время чрезвычайных ситуаций (перебои в работе, аварии, неблагоприятные погодные условия). Например, он может предоставлять информацию об инцидентах на железнодорожной сети, чтобы повысить оперативность транспортной системы умного города. Кроме того, это повысит мобильность и динамичность городских потоков будущих взаимосвязанных умных городов и приведет к беспрепятственному соединению и более быстрым поездкам.

Сосредотачиваясь на ИИ как дисциплине, нам необходимо определить набор средств, методов, систем и т. д., взаимосвязанных друг с другом, чтобы определить ИИ в целом. Поэтому в разделе IV представлена таксономия ИИ, включая основные компоненты и их взаимосвязи.

Кроме того, некоторые области исследований, связанные с ИИ, имеют тенденцию смешиваться с ИИ и/или представляться как равные. Некоторые примеры — цифровые двойники (Digital Twins), большие данные (Big Data) и дополненная реальность (Augmented Reality). **Цифровые двойники** представляют собой набор инструментов, средств и процедур, созданных с помощью систем автоматизированного проектирования (CAD) для реализации цифровой версии анализируемого объекта. **Дополненная реальность (AR)**¹ (1 Приведенные соображения также касаются виртуальной и смешанной реальности.) — это сектор, в котором наблюдается растущий интерес как к развлекательным (например, видеоиграм), так и к профессиональным (например, удаленной медицине) системам. **Большие данные** представляют собой дисциплину, связанную со сбором, манипулированием и анализом огромных, разнообразных, ценных и разнородных (обычно неструктурированных) объемов данных.

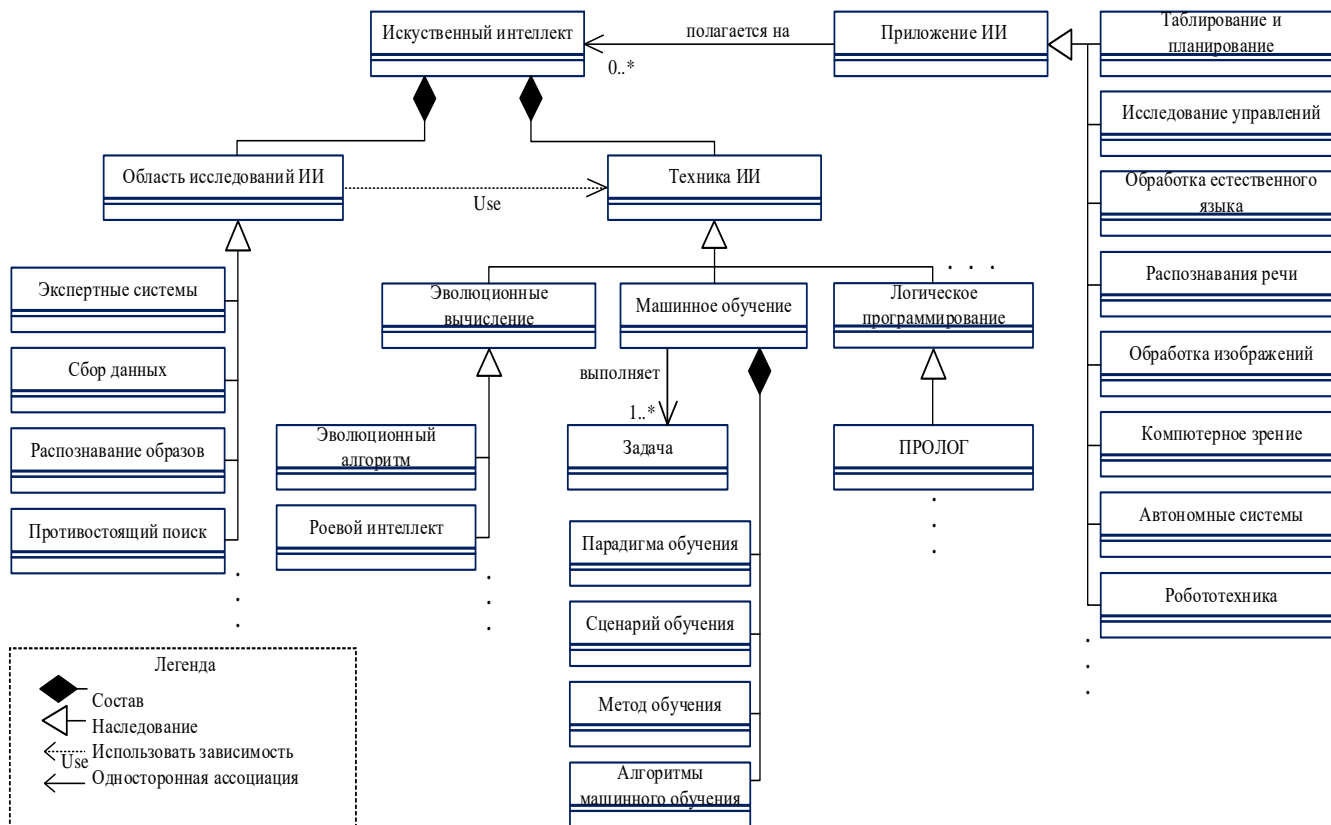


Рис. 1: Диаграмма классов таксономии искусственного интеллекта.

IV. ТАКСОНОМИЯ ИИ

Введя наше определение ИИ в железнодорожной сфере, а также приняв во внимание основные требования будущих интеллектуальных железных дорог, в этом разделе дается определение таксономии ИИ с целью сформулировать сложность терминологии ИИ. Таксономия представлена диаграммой классов UML, которая обеспечивает более формальное и эффективное представление [28].

Предлагаемая таксономия состоит из трех основных понятий:

- **Техника искусственного интеллекта**, представляющая методы, алгоритмы и подходы, позволяющие системам выполнять задачи обычно связанный с интеллектуальным поведением, например машинное обучение, эволюционные вычисления;

- **Область исследований искусственного интеллекта**, представляющая области исследований, которые полагаются о методах искусственного интеллекта и не существовало бы без них, например, экспертные системы, интеллектуальный анализ данных, распознавание образов;

•**Система искусственного интеллекта.** Представляющие межобластные системы которые используют ИИ для повышения производительности и удобства использования, например компьютерное зрение, распознавание речи, планирование и таблирование.

Диаграмма классов изображена на рисунке 1, где классы представляют концепции нашей таксономии. Примерами классов, согласно приведенным выше определениям, являются искусственный интеллект, область исследований ИИ, техника ИИ и применение ИИ.

Между понятиями могут существовать различные виды отношений. Черные ромбы обозначают композиции, представляющие собой отношения целое/часть, где при удалении композиции удаляются все другие связанные с ней части. Примером может служить композиция между искусственным интеллектом и техникой искусственного интеллекта с целью подчеркнуть тот факт, что без искусственного интеллекта последняя не может существовать. Полные стрелки со сплошными линиями обозначают наследования, которые моделируют концепции с помощью иерархии обобщений. Например, существует наследование ПРОЛОГА от логического программирования, чтобы указать, что первый наследует все свойства (включая связи с другими элементами) от второго, добавляя к ним свои собственные характеристики. Пунктирные линии представляют зависимости (слабые связи), а сплошные линии указывают ассоциации (сильные связи), где направление навигации представлено самой стрелкой. Например, зависимость использования между областью исследований ИИ и техникой ИИ указывает на то, что первая может использовать вторую для достижения своих целей. Аналогичным образом, связь между системами ИИ и искусственным интеллектом указывает на то, что первое сильно зависит от второго. В обоих случаях числа по бокам линии представляют мощность отношения. Например, $0..*$ в левой части поля «полагается на ассоциацию» указывает на то, что могут существовать (или нет) системы ИИ, использующие ИИ, т. е. использующие преимущества любой области исследований ИИ или технологии ИИ. Например, согласно такому определению, математическая модель оптимизации железнодорожного движения (например, полученная в результате исследования операций) сама по себе может считаться не «интеллектуальной». Вместо этого он станет «интеллектуальным» в сочетании с технологией искусственного интеллекта.

Стоит подчеркнуть, что мы в первую очередь фокусируемся на потенциальном железнодорожном применении, основываясь на определении, которое мы предоставили в предыдущем разделе. Более того, поскольку ИИ

постоянно развивается и, возможно, потребуется добавлять новые концепции по мере их появления, предлагаемая таксономия является гибкой и предназначена для включения новых концепций. Далее в этом разделе подробно описаны основные классы нашей таксономии ИИ. Более подробное описание классов ИИ дано в [29].

Техники ИИ. Определение искусственного интеллекта обычно подразумевает создание машины, способной делать что-то, что потребовало бы интеллекта, если бы это делали люди. В Техники ИИ мы собираем все средства, алгоритмы и дисциплины, которые позволяют искусственному объекту выполнять такие интеллектуальные задачи. Есть три основных подкласса: 1) эволюционные вычисления (Evolutionary Computing) фокусируются на алгоритмах и методах, вдохновленных биологической эволюцией, таких как, например, эволюционные алгоритмы и роевой интеллект. 2) логическое программирование (Logic Programming) представляет собой набор парадигм программирования, основанных на логике первого порядка, позволяющих выводить новые знания, исходя из некоторых априорных данных, таких как ПРОЛОГ. 3) машинное обучение (ML) представляет собой интегрированную концепцию, которая удовлетворяет следующему обоснованию: ML может выполнять заданную задачу с использованием определенного алгоритма машинного обучения (ML Algorithm), обученного с использованием определенной парадигмы обучения (Learning Paradigm), в определенном сценарии обучения (Learning Scenario) и с учетом фиксированной модальности обучения (Training Modality). Следовательно, класс Task определяет цель, которую хочет достичь пользователь, например классификацию, регрессию и кластеризацию. Алгоритм ML представляет собой последовательность операций, используемых для обучения конкретной модели, такой как машины опорных векторов, древовидные, байесовские и искусственные нейронные сети. Парадигма обучения относится к стратегии, используемой для управления алгоритмом в процессе обучения, например, обучение с учителем, без учителя и обучение с подкреплением. Сценарий обучения описывает отличительные характеристики анализируемой задачи, такие как многозадачность, однозадачность и однократность. Наконец, модальность обучения указывает, как реализуется этап обучения как передача знаний из другой задачи/области (перенос обучения) и обучение с нуля.

Области исследований ИИ. Термин «Область исследований ИИ» относится к областям, дисциплинам или областям исследований, созданным под эгидой ИИ или под его эгидой и которые не могут существовать без него. В

частности, этот термин относится к тем областям, в которых использование ИИ является не вопросом производительности или эффективности, а сутью самой области. Некоторыми примечательными примерами, представленными в виде классов UML, являются экспертные системы (Expert Systems), отрасль искусственного интеллекта, специализирующаяся на программном обеспечении, предназначенном для имитации процесса принятия решений, принимаемого экспертами в некоторых областях (например, врачом для медицинской визуализации); Data Mining (DM), набор процедур, предназначенных для извлечения информации из необработанных данных; Распознавание образов (Pattern Recognition) — дисциплина, изучающая, как распознавать, обнаруживать и различать образцы, используя закономерности в данных; Состязательный поиск (Adversarial Search) — исследование сред, в которых агенты действуют в среде, населенной другими противниками. DM является важным шагом в обнаружении знаний из процесса обработки данных и направлен на извлечение информации из данных (потенциально объемных и гетерогенных наборов данных [30]) с использованием интеллектуальных методов [31] (например, ML). В нашей таксономии мы сохранили DM отдельно от ML, поскольку DM больше фокусируется на «обнаружении» и «извлечении» знаний из данных, в то время как ML фокусируется на «обучении» на данных для выполнения действий.

Системы ИИ. В предложенной диаграмме классов (рис. 1) система ИИ подключено к ИИ с помощью односторонней ассоциации, то есть первое использует второе (а не наоборот). В этом классе мы собираем все области, области исследований, темы и т. д., которые не связаны строго с ИИ. Тем не менее, они все больше полагаются на ИИ, вплоть до того, что их (ошибочно) начинают считать осуществимыми только с ИИ. Набор систем ИИ чрезвычайно широк. Среди них наиболее распространенными являются планирование и планирование, набор инструментов, использующих ИИ для организации действий и операций, исследование операций и, в частности, его подобласти, использующие ИИ для улучшения процедур оптимизации, обработка естественного языка и распознавание речи, способность системы понимать и воспроизводить неструктурированные тексты или голоса, обработка изображений и компьютерное зрение, включая получение, обработку, выводы и т. д. изображений, с использованием алгоритма искусственного интеллекта, робототехника — набор алгоритмов, предназначенных для управления роботом.

V. РУКОВОДСТВА И ПРАВИЛА

Этика и объяснимость в ИИ представляют собой две темы, которые вызывают больше беспокойства у граждан ЕС. По этой причине существующие руководящие принципы по этим темам необходимо рассмотреть и обсудить со ссылкой на семь подобласти железных дорог, представленных в Разделе III.

Согласно руководящим принципам, представленным Экспертной группой AI High Level [32], заслуживающий доверия ИИ должен быть **законным**, то есть он должен уважать все применимые законы, нормы и правила; **этический**, что означает, что он должен уважать этические принципы и ценности; **надежный** как с технической точки зрения, так и с учетом социальной среды. Более того, чтобы считаться заслуживающими доверия, системы ИИ должны следовать человеко-ориентированному подходу, а это означает, что окончательные решения должны быть оставлены за людьми, цепочка командования и ответственности должна быть реконструируемой, системы ИИ должны быть отказоустойчивыми и приносить пользу людям, включая будущие поколения.

Из-за развития технологий результаты, полученные в системах, критически важных для безопасности, таких как железные дороги, нелегко интерпретировать [33]. Новые инициативы в области объяснимого ИИ (Explainable AI) (XAI) [34] растут и становятся все более важными. XAI относится к методам и технологиям, позволяющим сделать результаты понятными для людей. XAI имеет дело с тремя конкретными и различными концепциями: **Интерпретируемость** (также называемая **прозрачностью**) — это характеристика модели, которая находится на уровне, который имеет смысл для человека-наблюдателя, что позволяет осуществлять вмешательства, направленные на принятие беспристрастных решений и повышение надежности; **Объяснимость** — это свойство модели предпринимать действия и процедуры для разъяснения своего поведения; **Понятность** — это свойство модели представлять полученные знания в понятной человеку форме.

Очевидно, что транспорт и железные дороги, как правило, являются важными секторами, в которых следует учитывать этические аспекты и аспекты объяснимости. Однако не все заявки представляют собой риски такой значимости, чтобы оправдать законодательное вмешательство. Таким образом, необходимо сосредоточить внимание на конкретном применении, оценив его потенциальные риски и воздействие на людей, здоровье и окружающую среду. В целом, что касается подобласти железнодорожного транспорта, мы могли бы сказать, что в большинстве из них ИИ может оказывать в основном

незначительное/среднее влияние на благополучие людей и окружающую среду и существенное только в некоторых подобластях. Незначительное влияние можно ожидать во всех подобластях, за исключением тех, которые непосредственно влияют на безопасность людей, а именно надёжность и безопасность, а также автономное вождение и управление [35]. Например, система ИИ, направленная на сокращение замены расходных компонентов (например, рельсов, стрелочных переводов, подвижного состава), не требует значительного законодательного вмешательства, даже если оно может принести пользу в плане специальной утилизации отходов и загрязнения окружающей среды. На среднем уровне также возникают этические проблемы в связи с применением ИИ для планирования работы персонала, такого как водители, бригада и обслуживающий персонал. В идеальном штатном расписании, основанном на искусственном интеллекте, эффективность оперативного плана и права на благополучие персонала, такие как наличие соответствующих перерывов и графика работы, должны быть хорошо сбалансированы. Точно так же мы можем представить себе несколько применений ИИ во всех этих подобластях с незначительным/средним воздействием на благополучие людей и окружающую среду, но при которых сохраняются этические проблемы, связанные с применением ИИ.

Наконец, в двух упомянутых выше подобластях потребуются сильное воздействие на этику и значительное законодательное вмешательство. Например, решение о торможении при приближении к препятствию автоматизированных систем вождения является типичным целевым применением, когда баланс между высочайшей безопасностью и комфортом пассажиров нестабилен. Могут возникнуть следующие вопросы: какое решение будет правильным для системы искусственного интеллекта, например, применяемой при обнаружении препятствий, чтобы смягчить эффект ложных срабатываний? И каково правильное решение той же системы при обнаружении на пути животного или дорожного транспортного средства? Это лишь два из возможных вопросов, которые могут возникнуть, когда вы начинаете задумываться о потенциале ИИ на железных дорогах. Например, в автомобильном транспорте [36] освещаются ключевые этические проблемы использования ИИ в автоматизированном вождении; в то время как [37] обсуждает опасности эксперимента «Моральная машина» (Moral Machine) (ММ) в автономных транспортных средствах, предостерегая как от его использования в нормативных целях, так и против всего подхода, на котором он основан для решения этических проблем. Дальнейшие уроки по этическим проблемам ИИ

можно извлечь из других секторов, таких как здравоохранение [38] и робототехника [39].

Что касается объяснимости ИИ, то ее следует учитывать при разработке моделей и систем на всем железнодорожном транспорте, без различия между подобластями. До сих пор ХАИ не получил широкого распространения на железнодорожном транспорте, за исключением [40]. В [40] исследована проблема различения различных причин возникновения опозданий поездов. В частности, методы ХАИ помогают классифицировать, в какой степени первичные и вторичные признаки способствуют конкретному прогнозу модели. Что касается других областей, всесторонний обзор ХАИ в различных секторах бизнеса и промышленности приведен в [41], где представлены тематические исследования в области рекомендательных систем, продаж, кредитования и обнаружения мошенничества. В статье [42] на сайте Supply Chain Brain обсуждается проблема ХАИ в цепочках поставок. Их можно использовать для развития и определения важного аспекта ХАИ для железных дорог.

В целом, мы могли бы сказать, что, безусловно, подобласти безопасности и автоматического вождения и контроля должны получить большее и немедленное внимание с законодательной точки зрения, в то время как этические проблемы могут возникнуть также из-за систем ИИ во всех других подобластях, например, контроль и управление. штатное расписание. Наконец, аспекты объяснимости должны быть рассмотрены во всех подобластях [43].

III. ВЫВОДЫ

В этом документе определена таксономия ИИ на железных дорогах. Он дает всеобъемлющее определение ИИ, которое актуально и очень полезно для ученых и практиков железнодорожного транспорта. Чтобы разобраться в сложном мире ИИ и применить его к железным дорогам, мы классифицируем ИИ на три основных класса: области исследований, методы и системы, а также объясняем их основные характеристики. Кроме того, в отличие от предыдущих исследований, в этой статье рассматриваются железнодорожные системы в целом, включая техническое обслуживание, безопасность и безопасность, автономное вождение, транспортное планирование, управление доходами, транспортную политику и мобильность пассажиров. Таким образом, это первый шаг к признанию ИИ в железнодорожной сфере.

Мы сопоставили текущие исследования железных дорог с таксономией ИИ и признали, что техническое обслуживание стало причиной большинства исследований, связанных с ИИ, где распознавание образов, машинное обучение,

компьютерное зрение и обработка изображений являются наиболее часто используемыми областями ИИ в исследовательских областях, методах и системы соответственно. Другие железнодорожные подобласти почти не привлекли внимания к документам, найденным в СМИ. Примечательно, что надёжность и безопасность имеют те же категории искусственного интеллекта, что и те, которые встречаются в техническом обслуживании и проверке, возможно, потому, что многие проблемы безопасности и защиты по своей сути связаны с обслуживанием и проверкой. Использование искусственного интеллекта в автономном вождении и управлении, а также в планировании и управлении дорожным движением стало более популярным, чем раньше. В частности, последний получил все «Да» в области исследований в области искусственного интеллекта. Мы также отмечаем, что исследование операций, мощный традиционный инструмент в железнодорожных операциях, тесно пересекается с планированием и управлением. Управление доходами, транспортная политика и пассажирская мобильность — наименее населенные подобласти с точки зрения, что может означать, чего-либо существует большой потенциал в применении ИИ к некоторым из них, либо некоторые из них просто не являются подходящими областями для внедрения ИИ на данный момент. Также стоит помнить, что логическое программирование никогда не использовалось ни в каких железнодорожных подобластях. Наконец, этика ИИ и объяснимый ИИ продолжают набирать популярность во всех подобластях железнодорожного транспорта [43].

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

- [1] The Economist Intelligence Unit, “Artificial intelligence in the real world: the business case takes shape,” 2016, The Economist Intelligence Unit Limited, London, United Kingdom.
- [2] M. Trosino, J. Cunningham, and A. Shaw, “Automated track inspection vehicle and method,” March 2002, US Patent 6,356,299.
- [3] X. Gibert, V. M. Patel, and R. Chellappa, “Deep multitask learning for railway track inspection,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 153–164, Jan. 2017.
- [4] J. McCarthy, “What is artificial intelligence?” 1998, stanford University, Stanford, USA.
- [5] A. Agrawal, J. Gans, and A. Goldfarb, What to expect from artificial intelligence. *MIT Sloan Management Review*, 2017.

[6] C. Chandra and A. Tumanyan, “Supply chain system taxonomy: A framework and methodology,” *Human Systems Management*, vol. 24, no. 4, pp. 245–258, 2005.

[7] S. Wilke and A. Majumdar, “Critical factors underlying airport surface accidents and incidents: A holistic taxonomy,” *Journal of Airport Management*, vol. 6, no. 2, pp. 170–190, 2012.

[8] N. Grant, T. Cadden, R. McIvor, and P. Humphreys, “A taxonomy of manufacturing strategies in manufacturing companies in Ireland,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 24, pp. 488–510, 04 2013.

[9] M. Kyriakidis, A. Majumdar, G. Grote, and W. Y. Ochieng, “Development and assessment of taxonomy for performance-shaping factors for railway operations,” *Transportation research record*, vol. 2289, no. 1, pp. 145–153, 2012.

[10] P. Lopez D´ıez, I. Gabilondo, E. Alarcon, and F. Moll, “Mechanical energy harvesting taxonomy for industrial environments: Application to the railway industry,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 7, pp. 2696–2706, 2020.

[11] S. Tang and H. K. Lo, “Taxonomy of public private partnership on mass railway transit development - a benchmark with Hong Kong experience,” *Transportation Systems: Engineering & Management*, pp. 665–674, 2007.

[12] W. H. Gibson, E. Megaw, M. S. Young, and E. Lowe, “A taxonomy of human communication errors and application to railway track maintenance,” *Cognition, Technology & Work*, vol. 8, no. 1, p. 57, 2006.

[13] K. Sheth, K. Patel, H. Shah, S. Tanwar, R. Gupta, and N. Kumar, “A taxonomy of AI techniques for 6G communication networks,” *Computer Communications*, vol. 161, pp. 279–303, 2020.

[14] J. S. Angarita-Zapata, A. D. Masegosa, and I. Triguero, “A taxonomy of traffic forecasting regression problems from a supervised learning perspective,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 68 185–68 205, 2019.

[15] J. Suaboot, A. Fahad, Z. Tari, J. Grundy, A. Mahmood, A. Almalawi, A. Zomaya, and K. Drira, “A taxonomy of supervised learning for IDS in SCADA environments,” *ACM Computing Surveys*, vol. 53, no. 2, 2020.

[16] J. Del Ser, E. Osaba, J. J. Sanchez-Medina, and I. Fister, “Bioinspired computational intelligence and transportation systems: a long

road ahead,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 466–495, 2019.

[17] J. Xie, J. Huang, C. Zeng, S.-H. Jiang, and N. Podlich, “Systematic literature review on data-driven models for predictive maintenance of railway track: Implications in geotechnical engineering,” *Geosciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 11, pp. 1–24, 2020.

[18] M. Chenariyan Nakhaee, D. Hiemstra, M. Stoelinga, and M. van Noort, “The recent applications of machine learning in rail track maintenance: A survey,” in *Reliability, Safety, and Security of Railway Systems. Modelling, Analysis, Verification, and Certification*, S. CollartDutilleul, T. Lecomte, and A. Romanovsky, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 91–105.

[19] A. Przegalinska. (2019) State of the art and future of artificial intelligence. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-singlemarket/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

[20] A. M. Turing, “Computing machinery and intelligence,” in *Parsing the Turing Test*. Springer, 2009, pp. 23–65.

[21] European Commission, “Communication from the commission to the european parliament, the European council, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions,” *Artificial Intelligence for Europe*. Brussels, 2018.

[22] A. Annoni, P. Benczur, P. Bertoldi, B. Delipetrev, G. De Prato, C. Feijoo, E. Fernandez Macias, E. Gomez, M. Iglesias, H. Junklewitz, M. Lopez Cobo, B. Mertens, S. Nascimento, S. Nativi, A. Polvora, I. Sanchez, S. Tolan, I. Tuomi, and L. Vesnic Alujevic, “Artificial intelligence: A european perspective,” *Joint Research Centre (Seville site), Tech. Rep.*, 2018.

[23] B. Copeland. (2019) Artificial intelligence. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>

[24] C. Di Meo, M. Di Vaio, F. Flammini, R. Nardone, S. Santini, and V. Vittorini, “Ertms/etcs virtual coupling: Proof of concept and numerical analysis,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 6, pp. 2545–2556, 2019.

[25] K. Kuru and D. Ansell, “Tcitysmartf: A comprehensive systematic framework for transforming cities into smart cities,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 18 615–18 644, 2020.

- [26] B. Jan, H. Farman, M. Khan, M. Talha, and I. U. Din, “Designing a smart transportation system: An internet of things and big data approach,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 4, pp. 73–79, 2019.
- [27] F. Zantalis, G. Koulouras, S. Karabetsos, and D. Kandris, “A review of machine learning and iot in smart transportation,” *Future Internet*, vol. 11, no. 4, p. 94, 2019.
- [28] C. Larman, *Applying UML and patterns: an introduction to object oriented analysis and design and iterative development*. Pearson Education India, 2012.
- [29] RAILS Project, “Deliverable 1.1 Definition of a reference taxonomy of AI in railways,” 2020. [Online]. Available: <https://rails-project.eu/wp-content/uploads/sites/73/2020/08/RAILS D11 v25.pdf>
- [30] S. K. Pal and P. Mitra, *Pattern recognition algorithms for data mining*. CRC press, 2004.
- [31] J. Han, J. Pei, and M. Kamber, *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 2011.
- [32] HLEG, “Ethics guidelines for trustworthy AI,” 2019.
- [33] R. Hamon, H. Junklewitz, and I. Sanchez, “Robustness and explainability of artificial intelligence,” *Publications Office of the European Union*, 2020.
- [34] A. B. Arrieta, N. D’iaz-Rodríguez, J. D. Ser, A. Bennetot, S. Tabik, A. Barbado, S. García, S. Gil-Lopez, D. Molina, R. Benjamins, R. Chatila, and F. Herrera, “Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxonomies, Opportunities and Challenges toward Responsible AI,” 2019.
- [35] M. Niestadt, A. Debyser, D. Scordamaglia, and M. Pape, “Artificial intelligence in transport: Current and future developments, opportunities and challenges,” *European Parliamentary Research Service*, Tech. Rep., 2019.
- [36] B. W. Smith, *The Oxford Handbook of Ethics of AI*. Oxford Press, 2020, ch. Ethics of Artificial Intelligence in Transport.
- [37] H. Etienne, “When ai ethics goes astray: A case study of autonomous vehicles,” *Social Science Computer Review*, 2020.
- [38] J. Morley, C. C. Machado, C. Burr, J. Cows, I. Joshi, M. Taddeo, and L. Floridi, “The ethics of ai in health care: A mapping review,” *Social Science & Medicine*, vol. 260, p. 113172, 2020.
- [39] A. Winfield, “Ethical standards in robotics and ai,” *Nature Electronics*, 2020.

[40] D. Roeßler, J. Reisch, F. Hauck, and N. Kliewer, “Discerning primary and secondary delays in railway networks using explainable ai,” *Transportation Research Procedia*, vol. 52, pp. 171–178, 2021. SUBMITTED TO THE IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS 12

[41] K. Gade, S. C. Geyik, K. Kenthapadi, V. Mithal, and A. Taly, “Explainable ai in industry,” in *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, 2019, pp. 3203–3204.

[42] N. Duckworth, “Ai in supply chain: Six barriers to seeing results,” *Supply Chain Brain*, Tech. Rep., 2019. [Online]. Available: <https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/30051-sixbarriers-to-getting-results-with-ai-in-supply-chain-management>

[43] N. Bešinovi´c, L. De Donato, F. Flammini, Rob M.P. Goverde, Z. Lin, R. Liu, S. Marrone, R. Nardone, T. Tang, V. Vittorini, “Artificial Intelligence in Railway Transport: Taxonomy, Regulations and Applications”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* · November 2021, DOI: 10.1109/TITS.2021.3131637.