

Научная статья
УДК 504.064
doi: 10.46684/2687-1033.2025.1.104-109
EDN KNUTAI

Использование поезда на водородном топливе для снижения загрязнения окружающей среды

А.Н. Белевцева

Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта – филиал Ростовского государственного университета путей сообщения (ТТЖТ – филиал РГУПС); г. Тихорецк, Россия; anna.belyovceva@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Двигатель тепловоза является источником загрязнения атмосферы. Тепловоз устроен таким образом, при котором используется большое количество топлива и масла. Определенный тип дизельного двигателя (тепловоза) имеет очень большой расход масла, что нецелесообразно и нерентабельно с точки зрения экологии и экономики. Масло, которое омывает поршень, попадает в камеру сгорания и в виде гари и сажи выбрасывается в окружающую среду. Часть топлива расходуется не в полном объеме и выходит в выхлоп. Стоимость транспортируемого груза напрямую зависит от стоимости топлива, масла и протяженности пути.

Проведен анализ работы фильтров, установленных в тепловозе, который говорит о частичной очистке газов. Установлено, что количество выбрасываемых веществ в окружающую среду железнодорожным предприятием составляет 7–8 %.

Сделан вывод о том, что для снижения уровня загрязнения атмосферы необходимо внедрение современного оборудования, например водородного поезда, решающего вопросы экологии и экономики.

Ключевые слова: дизель; загрязнение воздуха; внедрение технологий; инновации; водород; экология; экономика; будущее

Для цитирования: Белевцева А.Н. Использование поезда на водородном топливе для снижения загрязнения окружающей среды // Техник транспорта: образование и практика. 2025. Т. 6. Вып. 1. С. 104–109. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2025.1.104-109>. EDN KNUTAI.

Original article

Using a hydrogen-fueled train to reduce environmental pollution

Anna N. Belevtseva

Tikhoretsk Technical College of Railway Transport – branch of Rostov State Transport University (TTZhT – branch of RSTU); Tikhoretsk, Russian Federation; anna.belyovceva@mail.ru

ABSTRACT

The engine of a diesel locomotive is a source of atmospheric pollution. The locomotive is designed in such a way that a large amount of fuel and oil is used. A certain type of diesel engine (diesel locomotive) has a very high oil consumption, which is impractical and unprofitable from the point of view of ecology and economics. The oil that washes the piston enters the combustion chamber and is released into the environment in the form of burning and soot. Some of the fuel is not consumed in full and goes out into the exhaust.

The cost of the transported cargo directly depends on the cost of fuel, oil and the length of the route. The analysis of the filters installed in the locomotive, which indicates partial gas purification, has been carried out. It has been established that the amount of substances released into the environment by a railway enterprise is 7–8 %.

It is concluded that in order to reduce the level of atmospheric pollution, it is necessary to introduce modern equipment, such as a hydrogen train, which solves environmental and economic issues.

Keywords: diesel; air pollution; technology introduction; innovation; hydrogen; ecology; economy; the future

For citation: Belevtseva A.N. Using a hydrogen-fueled train to reduce environmental pollution. *Transport technician: education and practice*. 2025;6(1):104–109. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2025.1.104-109>. EDN KNUTAI.

© А.Н. Белевцева, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Историческое развитие железнодорожного транспорта демонстрирует совершенствование техники и технологий, позволяющее снижать уровень воздействия на окружающую природную среду. Это связано с хорошим финансированием перспективных открытий и пониманием необходимости сохранения целостности экосистемы, как здоровой и благополучно развитой цивилизации.

Влияние человека на атмосферу происходит с ростом научно-технического прогресса. Добыча полезных ископаемых, открытие новых источников энергии, наращивание производственных мощностей прямо воздействуют и изменяют условия существования живых организмов. От этого зависит состояние озонового слоя и в целом жизнь всего живого на планете.

В проекте предлагается внедрение современного оборудования и решение вопросов снижения выбросов в атмосферу.

Для предприятия ОАО «РЖД», как источника загрязнения атмосферного воздуха, определены нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ), которые устанавливаются с учетом предельно допустимой концентрации (ПДК) фоновой загрязненности атмосферного воздуха. Данные нормативы разрабатываются Минприроды России в соответствии с ГОСТом. Выбросы в атмосферу вредных веществ (ВВ) тепловозами не должны превышать ПДК.

ПДК — это максимальная концентрация примесей в атмосфере, отнесенная к определенному временному отрезку, которая на протяжении всей жизни человека не сказывается на его здоровье и состоянии окружающей среды. ПДК определяется в $\text{мг}/\text{м}^3$ [1].

В боксах по ремонту и обслуживанию подвижного состава располагаются пункты экологического контроля выбросов в атмосферу вредных веществ. На основании нормативов ПДВ и ПДК устанавливается плата за превышение возможного выброса ВВ в атмосферу передвижными источниками. Внедрение водородного поезда решит проблему загрязнения окружающей среды.

Вредные вещества, выбрасываемые двигателем тепловоза, не должны превышать максимально разовую дозу ПДК от среднесуточной нормы на протяжении 20 минут.

Если в атмосферу попадает несколько видов различных веществ (формальдегид, фтористый водород, фенол, сероводород, сернистый ангидрид, аммиак, окислы азота), концентрация ПДК определяется в виде суммы относительных концентраций ПДК и равна не более единицы.

Наиболее обширные обобщения по загрязнению природной среды, приведенные в литературных источниках [2–5], позволяют сделать вывод

о степени воздействия железнодорожного транспорта на экосистему.

Часть загрязнения атмосферного воздуха на железной дороге приходится на линейные предприятия, на котельные — 90 %, на долю боксов по ремонту, мастерских, топливно-заправочных пунктов — 5 % выбросов. Для очистки воздуха на тепловозах используют фильтры. Всего в тепловозе насчитывается более 30 фильтров, расположенных в разных частях тепловоза. Воздух, подающийся в двигатель и в кабину машиниста, поступает снаружи тепловоза.

При работе двигателя тепловоза в атмосферу попадают твердые частицы сажи, оксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, пятиокись ванадия. В состав воздуха входят частицы пыли, которые могут привести к нарушению работы воздухоочистителя и попадать в органы дыхания машиниста. Для предотвращения попадания пыли в органы дыхания фильтры устанавливают на крыше холодильной камеры тепловоза, справа — четыре и слева — четыре. Количество фильтров зависит от модели тепловоза, каждый из которых имеет свою функцию, строение и место расположения.

Двигатель тепловоза устроен так, что система воздухоочистки, состоящая из двух частей (правая и левая), поглощает и фильтрует химические элементы. Имеющиеся изогнутые вертикальные пластины, которые дополнительно очищают воздух от капельной влаги, препятствуют проникновению снега и дождя, что сохраняет непрерывность работы и целостность оборудования. Сетчатые фильтры применяют для охлаждения тягового генератора и тяговых электродвигателей передней и задней тележек. Фильтры следует регулярно обслуживать, промывать и очищать. Очистка происходит с помощью погружения фильтра в ванну, заполненную керосином. После промывают в чистом керосине и просушивают сжатым воздухом. Чистый, высушенный фильтр заправляют дизельным маслом, и возвращают на место, предварительно удаляя излишки масла. Регулярное обслуживание сохраняет целостность фильтра, и производит качественную очистку выбросов в атмосферу. Установленные фильтры в тепловозах не дают полной защиты окружающей среды.

Главная задача ОАО «РЖД» работать в направлении снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха и сохранения озонового слоя. Необходимо сокращать количество выбросов путем внедрения современного оборудования, такого как водородный поезд, контролировать целостность оборудования, регулярно обслуживать технику, использовать альтернативные источники энергии.

В качестве объекта изучения выбран водородный поезд. Интерес автора к исследованию работы водородного поезда основывается на поиске эколо-

гически чистого вида транспорта для улучшения качества жизни человека.

Разработка подобных технологий решит ряд поставленных целей и задач ОАО «РЖД» в области снижения загрязнения окружающей среды. Цель исследования — изучение работы экологически чистого водородного поезда. Рассматриваются перспективы массового выпуска и поиска финансирования проекта.

В статье А.А. Андриющенко, А.А., Зерефьян (мл.), Н.В. Романченко, Т.З. Талахадзе, С.М. Талахадзе «Анализ вариантов тяговой системы маневрового контактно-аккумуляторного электровоза» [1] предлагается рассмотреть преимущество контактно-аккумуляторного электровоза как современного экологического вида транспорта, на смену которого уже пришли новые инновационные технологии и поезд, работающий на водороде [6–8].

Во многих современных научных трудах говорится о преимуществе водородного транспорта [9–12], отмечается, что данный проект водородного поезда будет прорывом в области науки и экологии, основанном на создании головного вагона с силовыми установками и накопителями энергии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Современные технологии позволяют контролировать фоновый уровень концентрации ВВ в атмосфере. Наряду с новейшим оборудованием стоят и технологии будущего (работа поездов на магнитных подушках, маневровый тепловоз, работающий на литиевых батареях, или атомный тепловоз).

Сегодня мир предлагает перевозку пассажиров на водородных поездах. В ОАО «РЖД» сообщили, что первый маневровый локомотив на водороде выпустят в 2026 г. Испытания компания планирует проводить на полигоне в Сахалинской области.

В России водородный поезд планируют запустить в 2028 г. Создание и внедрение данного вида поезда стало сложным, но перспективным проектом. Сложность состоит в строительстве заводов по производству топливно-заправочного водорода, в создании боксов по ремонту и обслуживанию. Разработкой проекта занимаются ОАО «РЖД», АО «ТМХ» и ГК «Росатом».

Забота о сохранении озонового слоя, благоприятной среде обитания человека требует больших капиталовложений. За открытием новых источников энергии водородной тяги — будущее не только железных дорог, но и автотранспорта. Япония уже отказывается от электромобилей в пользу водородного транспорта. Несмотря на то, что эта страна развита с точки зрения экономики и технологий, в области разработки водородного двигателя преимущества у Франции.

В 1806 г. во Франции был создан первый в мире двигатель, работающий на водороде. Позже с развитием научно-технического прогресса к вопросу усовершенствования водородного двигателя вернулись многие страны.

Это также связано с тем, что нефтепродукты, стоявшие на первом месте по выработке энергии, стали заканчиваться, начинается экологический кризис мирового характера, увеличились потребности населения, которые требуют открытия новых источников энергии. Глобальное потепление, изменение климата вынуждают человечество менять взгляды на происходящее и применять экологически чистые виды топлива. Идет переход от использования энергетического топлива к электрическому и водородному, который будет уменьшать количество выбросов в окружающую среду.

Исходным материалом для исследования технологии работы водородного поезда является соответствующий перечень технологических процессов (рис. 1) [7].

Самая высокая теплота сгорания. При сжигании одного килограмма бензина мы можем получить 45 МДж теплоты, а при сжигании такого же количества водорода — почти в три раза больше, 120 МДж теплоты. И это низшая теплота сгорания водорода

Широкие пределы воспламенения. Можно воспламенить, как очень бедную топливно-воздушную смесь, в которой по массе мало водорода, так и очень богатую. Предел воспламенения смеси водорода с воздухом — от 0,2 до 10 единиц. Для сравнения: у бензовоздушной смеси коэффициент избытка воздуха должен быть в диапазоне 0,7–1,2

Самая высокая скорость сгорания. Этот параметр очень важен с точки зрения достижения необходимых характеристик двигателя, в частности эффективной работы в цикле. В одном и том же двигателе скорость сгорания водорода будет примерно в три раза выше, чем скорость сгорания бензовоздушной смеси

Нулевые выбросы. Поскольку водородные поезда работают на водородных топливных элементах, они производят нулевые выбросы. Это делает их экологически чистым видом транспорта

Бесшумность. Поезда на водороде работают тише дизельных, что делает их идеальными для городских районов

Высокая эффективность. Водородные поезда отличаются высокой эффективностью, поскольку они с высокой степенью отдачи преобразуют водород в электричество

Дальность действия. Водородные поезда имеют больший радиус действия, чем поезда, работающие на батареях, поскольку они могут накапливать больше энергии в меньшем пространстве

Рис. 1. Характеристика водородного топлива

Работа водородного поезда будет включать определенный набор процессов, непосредственно связанных с целевым комплексом технических установок, ориентированных на решение оперативных задач по снижению негативного воздействия на окружающую природную среду.

Достоинства водородного поезда в том, что при сжигании водорода получают больше тепла, чем при сжигании бензина, водород имеет высокую скорость сгорания и нулевые выбросы в атмосферу.

Технологический процесс производства водорода заключается в том, что воду надо расщепить на водород и кислород, используя ископаемое топливо в качестве энергии (газ, уголь), но данный процесс не будет считаться экологически чистым из-за выделения CO_2 , а если производить водород методом электролиза из воды при помощи энергии ветра или солнца, то это, несомненно, самый экологический вид топлива.

Для хранения водорода на электропоезде есть специальные резервуары. Топливные элементы преобразуют водород в электричество и воду. Электричество подается в электродвигатель, а вода выводится через выхлопную трубу [8].

Использование водородной тяги на железной дороге обусловлено дополнительными расходами на инфраструктуру, что, конечно, отразится на стоимости билетов. В России идет работа по стандартизации бортовых и водородо-заправочных систем.

В настоящее время поезда на водороде напоминают обычные электропоезда, с той лишь разницей, что они получают энергию для движения не от воздушных линий передач, а от водородных топливных элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим ряд первоочередных задач, требующих научно-практического решения в области защиты окружающей среды и сохранения истощаемых природных ресурсов. Развитие промышленных комплексов привело к образованию и вы-

делению большого количества CO_2 в окружающую среду, поэтому подобные технологии (водородный двигатель) необходимы. В мире существуют технологии по переработке CO_2 в углеродно-нейтральное синтетическое топливо, но их очень мало, а процесс переработки и хранения может быть опасным и сложным. В отношении экологически чистого вида транспорта предстоит решить научно-практическую задачу по внедрению водородных поездов в повсеместном использовании всеми странами. Это комплекс мер по поиску финансирования проекта.

Водородный поезд имеет такое же строение, как и обычный поезд, за исключением силовых установок (рис. 2), накопителя энергии — аккумуляторные батареи преобразователи постоянного тока, резервуара для водорода и средств охлаждения. Для создания водородного поезда производят замену дизельной силовой установки на водородную в промежуточной секции и размещают на крыше концевых вагонов тяговую аккумуляторную батарею. Количество вагонов может быть от двух до четырех.

Силовое оборудование состоит из резервуаров для водорода, трубопровода и топливного элемента. Топливные элементы, как и двигатели внутреннего сгорания, имеют наиболее высокий КПД и большую энергоэффективность при средних нагрузках.

Пассажирский вагон будет иметь широкий проход, по бокам расположатся отсеки с водородом и машинное отделение с комплектом вертикального оборудования для электроснабжения поезда. С точки зрения безопасности пассажиров силовую установку изолируют, повышая комфортность. Резервуары с водородом рекомендовано располагать около машинного отделения для сокращения длины трубопровода водорода, что увеличит срок службы топливного оборудования и обеспечит доступ для монтажа и замены деталей. Все установленное оборудование должно быть в легком доступе, так как требует регулярного обслуживания.

Такой вид транспорта не рассчитан на большие нагрузки. Это связано с небольшим сроком службы



Рис. 2. Устройство водородного поезда

топливных элементов. А аккумуляторные батареи, напротив, могут интенсивно эксплуатироваться. Водородный транспорт может использоваться пока только для перевозки двух-четырех пассажирских вагонов малой комплектации.

Поезд на водороде вызвал большой резонанс из-за отсутствия выбросов в окружающую среду углекислого газа, разрушающего озоновый слой и приводящего к глобальному потеплению.

Можно сделать вывод, что для реализации данного проекта необходимы дальнейшие исследования. Эту разработку нужно развивать, финансировать и внедрять, как можно быстрее в повседневную жизнь, это «зеленая» революция в науке. Следующим шагом в России в 2028 г. будет разработка компанией «Роснефть» проекта по захвату углерода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Представленный новый вид водородного поезда станет прорывом в области экологии. За водородным транспортом будущее. Изучение свойств водорода позволило сделать вывод о том, что он легче газа в 14,5 раз, легко смешивается с другими газами, а добычу его производят из воды, поэтому это уникальное экологическое топливо. Затруднение возникает только по финансированию нового проекта.

Внедрение любых новых технологий всегда связано с большими финансовыми затратами, вспомним Tesla Roadster, который в 2017 г. стоил 200 тыс. долларов. Стоимость водородного поезда в России, который должен сконструировать «Трансмашхолдинг», составляет 3,7 млрд руб. (информа-

ция гендиректора «INFOLine-Аналитики» Михаила Бурмистрова). Это цена без учета затрат на инфраструктуру и топливно-заправочные комплексы. Для развития проекта и его обширного внедрения необходима государственная финансовая поддержка.

Внедрение проекта в урбанизированных экосистемах поможет решить ряд главных экологических и экономических задач, так как проект водородного поезда обладает нулевым уровнем загрязнения окружающей природной среды.

Ежегодно в окружающую природную среду от промышленных предприятий и транспорта попадает 9,795 Гт углерода, или 36 Гт углекислого газа. За счет природных процессов (фотосинтеза, круговорота воды) происходит поглощение углекислого газа и выделение O_2 и H_2O . Природа способна восстанавливать целостность окружающей среды, а человечество должно внедрять для очистки воздуха современные технологии, так как, если этого не делать, то 70 % CO_2 останется в атмосфере, что приведет к глобальному потеплению, таянию ледников, повышению уровня мирового океана и гибели многих видов.

Сегодня существуют технологии не только водородного поезда, самолета или автомобиля, но и технологии по переработке CO_2 , превращающие его в камень.

В Исландии на геотермальной станции Хедлисейди разработали и внедрили технологии, превращающие воздух в камень, запирая парниковый углекислый газ в порах вулканического базальта.

Можно сказать, что водородная революция только начинается и за водородным двигателем будущее, крупные предприятия инвестируют проекты в этой области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрищенко А.А., Зарифьян (мл.) А.А., Романченко Н.В., Талахадзе Т.З., Талахадзе С.М. Анализ вариантов тяговой системы маневрового контактно-аккумуляторного электровагона // Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов. Т. 2. 2020. С. 57–60. EDN LDBQYP.
2. Логвинова И.К. Экология на железнодорожном транспорте: учебное пособие. Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2017. 131 с.
3. Павлова Е.И. Экология транспорта. М.: Высшая школа, 2016. 344 с.
4. Попова И.М., Карнакова В.В. Обеспечение безопасности движения поездов путем внедрения инновационных систем // Техник транспорта: образование и практика. 2024. Т. 5.

- № 2. С. 217–222. DOI: 10.46684/2687-1033.2024.2.217-222. EDN WGNTWV.

5. Водородные поезда экономически неэффективны, но работать над ними нужно // РЖД-Партнер. 2024. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/vodorodnye-poezda-ekonomicheski-neeftivny-no-rabotat-nad-nimi-nuzhno/>

6. Поезд на водороде. Почему этот газ еще не стал заменой «грязного» топлива? // Onliner. 2020. URL: <https://tech.onliner.by/2020/11/18/poezd-na-vodorode>

7. Семенова М.А., Панкратов Д.А. Водородные поезда как условие благополучной экологической обстановки нашей страны // Молодой ученый. 2024. № 38 (537). С. 19–22. EDN HASNQH.

8. Новости Трансмашхолдинга: в России появятся поезда на водородных топливных элементах // Локомотив. 2019. № 10 (754). С. 10. EDN UILZUY.

9. Ключников И.С., Бучанова Я.А. Перспективы развития водородных поездов // Молодой ученый. 2021. № 28 (370). С. 34–36. EDN SHOGHW.

10. Стельмашенко К.В. Экономическая оценка эксплуатации пассажирских поездов на водородных топливных элементах // Вклад транспорта в национальную экономическую безопасность: труды VI Международной научно-практической конференции. 2021. С. 187–189. EDN PFVVHI.

11. Кривоногов Д.В., Иванова А.П. Скоростной поезд с водородным реактивным двигателем // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2021. С. 123–125. EDN ULOTWS.

12. Назаров Д.В. Российский поезд на водороде — далекая мечта или близкая реальность? // Транспорт на альтернативном топливе. 2020. № 2 (74). С. 39–45. EDN IJHTVN.

REFERENCES

1. Andryushchenko A.A., Zarifyan (jr.) A.A., Romanchenko N.V., Talakhadze T.Z., Talakhadze S.M. Analysis of options for the traction system of a shunting contact-battery electric locomotive. *Transport: science, education, production: collection of scientific papers*. Vol. 2. 2020;57-60. EDN LDBQYP. (In Russ.).

2. Logvinova I.K. *Ecology in railway transport: textbook*. Rostov-on-Don, FGBOU VO RGUPS, 2017;131. (In Russ.).

3. Pavlova E.I. *Ecology of transport*. Moscow, Higher School, 2016;344. (In Russ.).

4. Popova I.M., Karnakova V.V. Ensuring the safety of train traffic by introducing innovative systems. *Transport Technician: Education and Practice*. 2024;5(2):217-222. DOI: 10.46684/2687-1033.2024.2.217-222. EDN WGNTWV. (In Russ.).

5. Hydrogen trains are economically inefficient, but it is necessary to work on them. *RZD-Partner*. 2024. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/vodorodnye-poezda-ekonomicheskii-neeffectivnyi-no-rabotat-nad-nimi-nuzhno/> (In Russ.).

6. A hydrogen train. Why has this gas not yet become a substitute for "dirty" fuel? *Onliner*. 2020. URL: <https://tech.onliner.by/2020/11/18/poezd-na-vodorode> (In Russ.).

7. Semenova M.A., Pankratov D.A. Hydrogen trains as a condition for a prosperous ecological situation in our country. *Young Scientist*. 2024;38(537):19-22. EDN HASNQH. (In Russ.).

8. Transmashholding news: hydrogen fuel cell trains to appear in Russia. *Locomotive*. 2019;10(754):10. EDN UILZUY. (In Russ.).

9. Klyuchnikov I.S., Buchanova Ya.A. Prospects for the development of hydrogen trains. *Young Scientist*. 2021;28(370):34-36. EDN SHOGHW. (In Russ.).

10. Stelmashenko K.V. Economic assessment of exploitation of passenger trains on hydrogen fuel cells. *The Contribution of Transport to National Economic Security: proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. 2021;187-189. EDN PFVVHI. (In Russ.).

11. Krivonogov D.V., Ivanova A.P. High-speed train with hydrogen jet engine. *Youth science in the XXI century: traditions, innovations, vectors of development: materials of the International Research Conference of Young Scientists, postgraduates and students*. 2021;123-125. EDN ULOTWS. (In Russ.).

12. Nazarov D. Is the Russian hydrogen train a distant dream or a near reality? *Alternative Fuel Transport*. 2020;2(74):39-45. EDN IJHTVN. (In Russ.).

Об авторе

Анна Николаевна Белевцева — преподаватель высшей категории общеобразовательных дисциплин; **Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта — филиал Ростовского государственного университета путей сообщения (ТТЖТ — филиал РГУПС)**; 352120, г. Тихорецк, ул. Красноармейская, д. 57; anna.belyovceva@mail.ru.

Bionotes

Anna N. Belevtseva — lecturer of the highest category of general education disciplines; **Tikhoretsk Technical College of Railway Transport — branch of Rostov State Transport University (TTZhT — branch of RSTU)**; 57 Krasnoarmeyskaya st., Tikhoretsk, 352120, Russian Federation; anna.belyovceva@mail.ru.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.10.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 28.01.2025.
The article was submitted 10.10.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 28.01.2025.