

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ВОДОРОДНОЙ ТЯГЕ В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ



С.П. Вакуленко



К.А. Калинин

В статье рассмотрены перспективы применения железнодорожного подвижного состава на водородной тяге для перевозок железнодорожным транспортом, в том числе в пригородно-городских перевозках. Определены эффекты от внедрения водородных топливных элементов в пассажирские и грузовые локомотивы. Выделены наиболее подходящие для нового вида подвижного состава сферы применения.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, грузовые перевозки, экология, альтернативная энергия, водород, водородная тяга

EDN: YKWPXB

Поиск энергетических альтернатив для осуществления перевозочного процесса является значимой задачей в мировой практике железнодорожных перевозок. Наравне с совершенствованием конструкции тепловозов и электровозов, а также их гибридных версий развиваются проекты тягового подвижного состава на альтернативных источниках энергии, например, газотурбовозы [1;2], однако проблемой, возникающей при их массовом внедрении, становится их меньшая производительность по сравнению с тепловозами и электровозами (существующие проекты газотурбовозов обладают меньшей мощностью и коэффициентом полезного действия топлива по сравнению с современными аналогами на традиционной тяге).

Проблемой использования дизельного топлива является значительный объем выбросов загрязняю-

щих веществ, приводящий к образованию парникового эффекта и наносящий непосредственный вред здоровью человека. В некоторых случаях, при наличии кружности следования поездов с использованием тепловозной тяги, объем выбросов становится сопоставимым с выбросами автотранспорта, что дискредитирует железнодорожный транспорт как наиболее экологичный вид [3].

Проблемой использования электровозов на электрифицированных участках являются повышенные эксплуатационные расходы на содержание линии при небольших размерах движения поездов и повышенные капиталовложения в сооружение новых линий и участков. Мировая практика доказывает необходимость и эффективность применения для пассажирских и грузовых перевозок нового типа локомотивов,

Вакуленко Сергей Петрович, кандидат технических наук, профессор, директор Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: пропускные и перерабатывающие способности линий и станций, управление вагонными парками, логистика грузовых и пассажирских перевозок, мультимодальные перевозки, транспортные коридоры, техническое оснащение и технология работы станций (всех типов). Автор более 300 научных работ.

Калинин Кирилл Антонович, ассистент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация скоростного и высокоскоростного движения, моделирование работы транспортных систем, развитие пассажирской и грузовой инфраструктуры, внедрение инновационных технологий на железнодорожном транспорте. Автор 33 научных работ.

с использованием в качестве источника энергии свободного водорода [4–7].

Новый принцип работы тягового подвижного состава

Одним из наиболее современных и экологичных технических решений в конструировании систем тяги поездов является применение водородных топливных элементов [8;9].

Водородный топливный элемент — это устройство, работающее по принципу гальванического элемента, в котором подача активного вещества (водорода в газообразном виде) для химической реакции происходит поточно из соответствующих резервуаров, в которых хранятся запасы топлива (водород) в жидком, сжатом (компримированном) и твердом (металлогидридном) виде. При регулярной и своевременной подаче топлива система, основанная на применении экологичных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), может обеспечивать подвижной состав автономной бесперебойной подачей энергии, достаточной для движения поезда без использования электроэнергии из контактной сети.

Конкурентные преимущества предлагаемой технологии

1. Отсутствие необходимости электрификации участков железнодорожных линий с низкой интенсивностью движения грузовых и пассажирских поездов. Гибридный локомотив с использованием водородных элементов сможет преодолевать электрифицированные участки, используя пантографный токоприемник для получения энергии, а неэлектрифицированные участки — на энергии, вырабатываемой топливным элементом. Это преимущество позволит эффективно применять данные локомотивы на малонапряженных линиях [10;11] и участках с размерами движения не превышающими 40 пар поездов в сутки, электрификация которых нецелесообразна. В качестве примера такой линии может служить проект развития инфраструктуры Северный широтный ход, интенсивность движения грузовых поездов по которому не будет превышать 30 пар поездов в сутки.

2. Исчерпание или моральное устаревание существующих технологий добычи энергии из углеводородов, замещение их альтернативными источниками энергии.

3. Отсутствие шумового загрязнения окружающей среды, что в долгосрочной перспективе позволит улучшить качество жизни и здоровья населения агломераций, в которых используется подвижной состав на водородных топливных элементах.

4. Развитие водородной тяги отвечает задачам поставленным Правительством РФ в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, а именно переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике.

Существует несколько технологических решений производства свободного водорода, пригодного для транспортировки и получения энергии: серый, голубой, желтый, зеленый, каждое из которых имеет свои преимущества и недостатки, при этом наиболее вероятные способы получения топлива для России — это получение голубого и желтого типов водорода [12].

Принцип работы тягового подвижного состава с использованием водородных топливных элементов

Общий вид и принцип работы водородных топливных элементов, применяемых на водородном и гибридном подвижном составе приведены на рис. 1:

- на анод подается топливо (водород в газообразном состоянии), которое окисляется на его поверхности, в результате образуются ионы, переходящие на катод через электролит, и электроны, переходящие на катод по внешней цепи;
- на катод подается окислитель (кислород), который восстанавливается до воды; неиспользованный кислород, вода и выделяющееся в процессе химической реакции тепло отводятся от топливного элемента.

Принципиальные схемы расположения основных элементов и узлов на подвижном составе с использованием водородного топлива и гибридного подвижного состава с применением водородных элементов приведены на рис. 2. При разработке нового типа подвижного состава на водородной тяге или в гибридном исполнении в конструкцию локомотива могут быть заложены передовые разработки по управлению режимом движения с целью экономии расхода водородного топлива [13–16].

Конструкция локомотива с использованием только водородных топливных ячеек может эффективно применяться на неэлектрифицированных магистральных участках железных дорог и на малонапряженных линиях в качестве замены дизельной тяги.

Гибридный тяговый подвижной состав, имеющий как водородные топливные элементы, так и токосъем от контактного провода, может использоваться в случаях, если большая часть маршрута находится на электрифицированном участке пути, и только на некоторой его части отсутствует контактный провод. Такие маршруты возможны в пригородных пассажирских перевозках на неинтенсивных пригородных маршрутах.

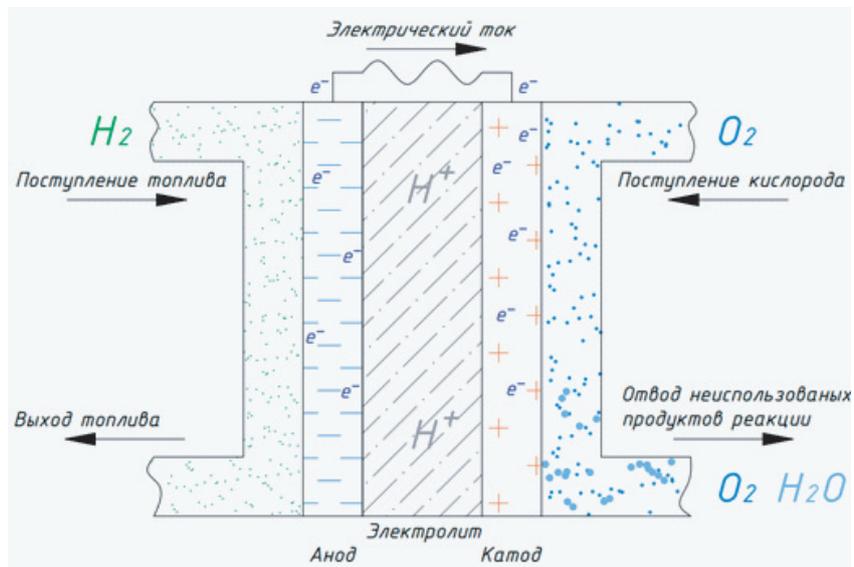


Рис. 1. Общий вид и принцип работы водородного топливного элемента

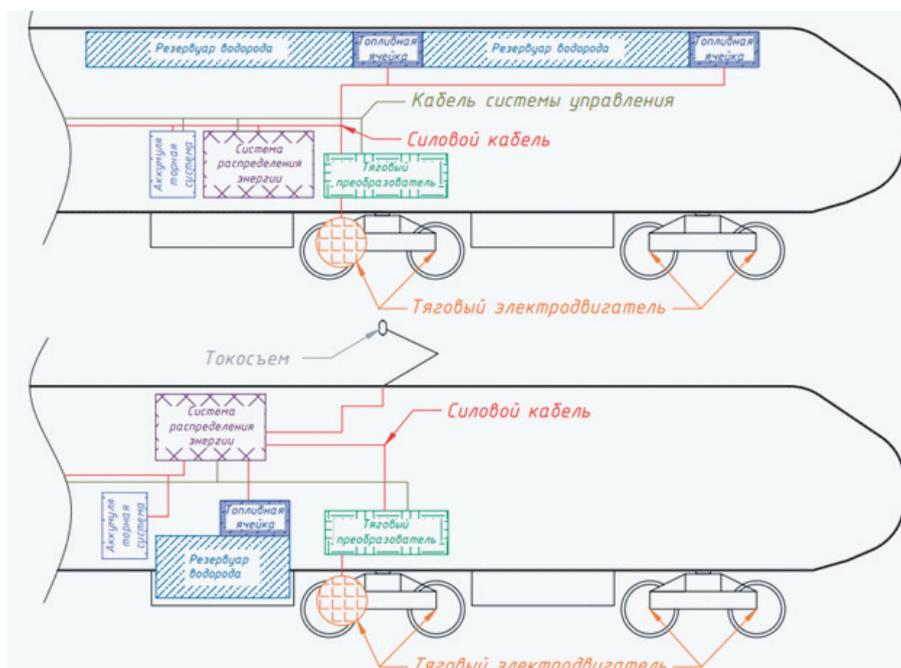


Рис. 2. Принципиальные схемы расположения резервуаров и устройств на локомотиве на водородном топливе и локомотиве с гибридной системой подачи энергии

В соответствии с мировой практикой внедрения водородной тяги на железнодорожном транспорте можно выделить следующие технологические ниши использования такого подвижного состава:

- в пригородно-городских железнодорожных пассажирских перевозках [17;18] при обращении на маршрутах длиной менее 100 км в режиме с частыми остановками или на неинтенсивных пригородных маршрутах;
- в межрегиональном пассажирском сообщении на маршрутах длиной более 100 км с неинтенсивным движением и редкими остановками;
- в маневровой работе с локомотивами средней мощности, при этом должны быть предусмотрены пункты экипажировки локомотивов на водородной тяге [19];
- для магистральных локомотивов на неэлектрифицированных линиях.

Возможности применения водородной тяги в перспективных проектах развития железнодорожной сети

В качестве перспективного направления для организации перевозок грузов с использованием локомотивов на водородном топливе может рассматриваться Северный широтный ход — проект сооружения железнодорожной магистрали, общей протяженностью 707 км, которая свяжет западную и восточную части Ямало-Ненецкого автономного округа, а также Северную железную дорогу со Свердловской. Маршрут следующий: Обская—Салехард—Надым—Новый Уренгой—Коротчаево (рис. 3).

Потенциальными полигонами и участками для внедрения водородной тяги в пригородных пассажирских перевозках на сети железных дорог в России могут являться агломерации с числом жителей менее 1 млн человек, через которые проходят неэлектрифицированные железнодорожные линии, но существует острая необходимость в интенсификации пассажирских перевозок:

- Южно-Сахалинская агломерация: сквозной железнодорожный маршрут Корсаков—Южно-Сахалинск—Долинск протяженностью 85 км;
- Пензенская агломерация: два пересекающихся железнодорожных маршрута Пяша—Пенза—Селикса и Грабово—Пенза—Ардым протяженностью 31 и 42 км соответственно;
- Тамбовская агломерация: мультимодальный маршрут протяженностью 98 км Котовск—Тамбов—Мичуринск для пересадки на транзитные поезда дальнего следования, следующие в направлении Москвы и юга.

Внедрение пригородных пассажирских перевозок с использованием водородной тяги в крупнейших

агломерациях России, в Центральном и Санкт-Петербургском железнодорожных транспортных узлах позволит снизить экологическую и акустическую нагрузку на окружающую среду.

Замена эксплуатации электропоездов «Ласточка» на межрегиональных экспрессных маршрутах по технологии прицепки тепловоза ТЭП70БС к электропоезду на неэлектрифицированных участках, где такое сообщение показало высокий спрос:

- Москва—Владимир—Иваново;
- Санкт-Петербург—Выборг—Сортавала;
- Санкт-Петербург—Псков;
- Москва—Волоколамск—Ржев.

Выводы

Анализ мировой практики разработки и внедрения проектов развития тягового подвижного состава на водородной тяге позволил определить его конкурентную нишу и выделить полигоны и участки, наиболее подходящие для использования нового тягового подвижного состава в грузовом и пассажирском сообщении.

В пассажирском сообщении наиболее подходящими для внедрения технологии являются крупнейшие агломерации России, где использование водородной тяги позволит существенно снизить уровень экологического воздействия, а также агломерации, в которых на железнодорожной инфраструктуре отсутствует электрификация.

Одним из крупнейших инфраструктурных проектов по развитию грузового сообщения, где потенциально может быть применен подвижной состав с использованием водородных топливных элементов, является проект развития Ямало-Ненецкого автономного округа Северный широтный ход, для которого наиболее актуален вопрос целесообразности электрификации новой линии и применения альтернативных источников энергии. 



Рис. 3. План развития железнодорожной инфраструктуры в рамках проекта Северный широтный ход

Литература

1. Пути решения проблемы перевода тепловозов на газообразное топливо / Е.Е. Коссов, В.В. Асабин, А.Г. Силюта [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – Т.80. – №4. – С. 191–200. – DOI 10.21780/2223-9731-2021-80-4-191-200.
2. Повышение экологической безопасности тепловозных дизелей путем обогащения дизельного топлива водородом / Д.Я. Носырев, В.В. Асабин, А.А. Мишкин [и др.]. – Текст: непосредственный // Экология и промышленность России. – 2020. – Т.24. – №5. – С. 51–57. – DOI 10.18412/1816-0395-2020-5-51-57.
3. Экологический аспект организации грузового обхода в створе коридора «Центр-Юг» / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, Д.Ю. Роменский, К.А. Калинин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – №1(49). – С. 82–92. – DOI 10.20291/2079-0392-2021-1-82-92.
4. Sun, Y., Anwar, M., Hassan, N.M.S., Spiryagin, M. and Cole, C., 2021. A review of hydrogen technologies and engineering solutions for railway vehicle design and operations. *Railway Engineering Science*, 29(3), pp. 212–232.
5. Calvert, C., Allan, J., Amor, P., Hillmanssen, S., Roberts, C. and Weston, P., 2021. Concept development and testing of the UK's first hydrogen-hybrid train (HydroFLEX). *Railway Engineering Science*, 29(3), pp. 248–257.
6. Zenith, F., Isaac, R., Hoffrichter, A., Thomassen, M.S. and Møller-holst, S., 2020. Techno-economic analysis of freight railway electrification by overhead line, hydrogen and batteries: Case studies in Norway and USA. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 234(7), pp. 791–802.
7. D'ovidio, G., Ometto, A. and Valentini, O., 2020. A novel predictive power flow control strategy for hydrogen city rail train. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7), pp. 4922–4931.
8. Попадьюко, Н.В. Водородная энергетика и мировой энергопереход / Н.В. Попадьюко, Г.И. Рожнятовский, Д.И. Дауди. – Текст: непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2021. – №4. – С. 59–64.
9. Особенности использования водорода на железнодорожном транспорте: выбор агрегатного состояния и способы экипировки локомотива водородом / Ю.В. Бабков, Д.В. Котяев, Д.И. Прохор [и др.]. – Текст: непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – №2. – С. 107–118. – DOI 10.20295/2223-9987-2021-2-107-118.
10. Эффективность эксплуатации и обслуживания малоинтенсивных железнодорожных линий / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, Н.Ю. Евреенова [и др.]; Под редакцией С.П. Вакуленко. – Москва: Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2018. – 218 с. – Текст: непосредственный.
11. Вакуленко, С.П. Особенности интеграции малоинтенсивных линий с магистральными железнодорожными линиями / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, Н.Ю. Евреенова. – Текст: непосредственный // Известия Транссиба. – 2019. – №4(40). – С. 61–69.
12. Перспективы применения водородной тяги на железных дорогах Российской Федерации / С.П. Вакуленко, О.Е. Пудовиков, К.А. Калинин, А.Г. Матвеева. – Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2022. – №5. – С. 38–41.
13. Баранов, Л.А. Изменение показателя производительности завода по производству сжиженного природного газа в зависимости от влияния метеорологического фактора / Л.А. Баранов, Н.В. Першин. – Текст: непосредственный // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2020. – №4. – С. 2–5.
14. Совершенствование тягового подвижного состава на основе современных технологий энергосбережения / А.М. Евстафьев, Д.Е. Кирюшин, В.В. Никитин, О.Е. Пудовиков. – Текст: непосредственный // Электротехника. – 2021. – №2. – С. 2–6.
15. Пудовиков, О.Е. Система автоматического управления скоростью движения электропоезда городской транспортной системы / О.Е. Пудовиков, З.Т. Аунг. – Текст: непосредственный // Электротехника. – 2016. – №9. – С. 68–72.
16. Система автоматического управления скоростью грузового поезда с распределенной тягой / О.Е. Пудовиков, В.Г. Сидоренко, Н.Н. Сидорова, М.Д. Киселев. – Текст: непосредственный // Электротехника. – 2019. – №9. – С. 47–55.
17. Роменский, Д.Ю. Пригородно-городские железнодорожные пассажирские перевозки на диаметральных маршрутах крупных транспортных узлов (на примере Московского транспортного узла): специальность

05.22.08 «Управление процессами перевозок»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Роменский Дмитрий Юрьевич. — Москва, 2021. — 240 с. — Текст: непосредственный.

18. Эксплуатационные аспекты моделирования транспортных систем: учебное пособие для студентов направления бакалавриата «Технология транспортных процессов» всех профилей / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова, Д.Ю. Роменский, К.А. Калинин. — Москва: Российская открытая академия транспорта федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (МИИТ), 2021. — 129 с. — ISBN 978-5-7876-0396-5. — Текст: непосредственный.

19. Апатцев, В.И. Железнодорожные станции и узлы: [транспортные средства, эксплуатация железных дорог]: учебник для студентов, обучающихся по специальности 190401.65 «Эксплуатация железных дорог» и направлению подготовки 190700.62 «Технология транспортных процессов» ВПО / В.И. Апатцев, С.П. Вакуленко, А.К. Головнич [и др.]; под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. — Москва: Учеб.-методический центр по образованию на ж.-д. трансп., 2014. — 854 с. — ISBN 978-5-89035-674-1. — Текст: непосредственный.