



Возобновляемая энергия на железнодорожном транспорте



Владимир ГОЛЬДЕНБЕРГ

Vladimir GOLDENBERG

Renewable Energy in Railway Transport

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 71)

Преимущество использования возобновляемой энергии для рельсового пассажирского транспорта очевидно. Но потому же и всё большее значение придается экономии энергии, поиску более дешевых и доступных ее источников. Автор статьи именно с этой точки зрения подходит к анализу растущих в последние годы возможностей применения возобновляемых источников энергии на железнодорожном транспорте и тенденций их развития, выделяя водородные топливные элементы, фотоэлектрические установки, энергию ветра, солнца, самой нашей планеты. Особое место уделено проблемам накопления энергии, вариантам ее рационального перераспределения на сети. При этом показана научно-исследовательская, проектная и внедренческая практика целого ряда стран.

Ключевые слова: железные дороги, электроснабжение, возобновляемые источники энергии, поиск, развитие, энергетическая культура.

Гольденберг Владимир — доктор, европейский железнодорожный инженер (EURail-Ing.), Институт технологического и научного трансфера Университета прикладных наук Аугсбурга, член Союза немецких инженеров-железнодорожников (VDEI), Аугсбург, Германия.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в промышленности и на транспорте и их дальнейшее развитие — это сегодня настоятельная необходимость с позиций экологии, энергетической эффективности и потребительской привлекательности железнодорожного транспорта.

Повышение эффективности использования энергетических ресурсов и прежде всего возобновляемых источников энергии открывают для железной дороги необозримые возможности. В общественном пассажирском сообщении (ÖPNV) около 66 % транспортной работы, выраженной в пассажирокилометрах, приходится на электрическую энергию. На Немецкой железной дороге (DB AG — Deutsche Bahn AG) более 90 % энергии на тягу составляет электроэнергия. Этот показатель для железнодорожного междугороднего сообщения (Fernverkehr) достиг уже 98 %. Преимущество использования электрической энергии для рельсового пассажирского транспорта очевидно. Именно поэтому экономии энергии придаётся особое значение, особенно в условиях постоянного роста ее стоимости.

Следует, однако, иметь в виду, что транспортным средством № 1 в Германии и стра-

нах Евросоюза является автомобиль. И для DB это сильный фактор конкуренции. Кроме того, другие предприятия железнодорожного транспорта, имеющие собственный подвижной состав и осуществляющие грузовые и пассажирские перевозки на сети DB, укрепляют свои позиции на транспортном рынке и представляют для компании всё возрастающую конкуренцию.

Планируется, что к 2050 году эмиссия углекислого газа уменьшится практически до нуля, и железнодорожный транспорт полностью освободится от CO₂ — т.е. будет достигнут «зелёный нуль». Это возможно в том числе и потому, что DB эксплуатирует собственную сеть электроснабжения (например, имеет собственные гидроэлектростанции и некоторые из них питают контактные сети частотой 16,7 Гц) и сама регулирует закупку электроэнергии.

Тем не менее полный переход на ВИЭ представляет собой сложную задачу ещё и по той причине, что различные источники энергии не всегда имеют достаточный количественный и равномерный коэффициент выработки энергии.

Правительство Германии, формулируя энергетическую концепцию в 2010 году, поставило задачу снизить энергопотребление на транспорте до 2020 года на 10 % и до 2050 года на 40 % по отношению к 2005 году [1].

Известно, что железнодорожный транспорт по сравнению с другими видами транспорта характеризуется более низким удельным потреблением энергии и зарекомендовал себя более экологичным. Страны с ограниченными собственными ископаемыми ресурсами в последние годы интенсивно инвестируют в технологические разработки и внедрение возобновляемых источников энергии. Таким образом зависимость от нефти и газа уменьшается, а кроме того уменьшается и зависимость от импорта энергоносителей. Германия активно использует различные альтернативные источники энергии (ветровая, солнечная, гидроэнергия, биомасса).

DB видит себя фаворитом в области экологически организованного транспорта и экономии энергии. DB по решению такой уважаемой международной органи-



Рис. 1. Источники получения энергии на DB в 2015 г., (переработано автором).

зации, как CDP (Carbon Disclosure Projekt), признана лучшей железной дорогой мира в области экологической чистоты. Она заняла первое место в рэнкинге.

Применение ВИЭ поддерживается в Германии законом о возобновляемой энергии (EEG), что положительно сказывается и на железнодорожном транспорте, который является важнейшим участником энергетической политики, где, как и везде, от положения «стрелки» зависит направление будущего развития [2, 3].

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ И В СЕКТОРЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

По данным DB доля возобновляемой энергии в электропотреблении на тягу должна была возрасти к 2020 году до 35 %, однако этот показатель уже превзойдён и достиг 40 % в 2015 году [4] (рис. 1). Для сравнения: в 2010 году доля возобновляемых источников энергии на железнодорожном транспорте составляла 19,8 %. Возможности использования альтернативных источников энергии на железной дороге очень многообразны. С позиций сегодняшнего дня это: энергия для тяги поездов, эксплуатационная работа, инфраструктура, подвижной состав (работа вспомогательных агрегатов, освещение, системы кондиционирования воздуха), сеть компьютеров, поддержание функций внешних устройств, накопление энергии, освещение зданий и т.д. Другие возможности повышения энергоэффективности заключаются в переходе на облегчённые конструкции подвижного состава, производстве более экономных локомотивов и моторвагонного подвижного состава, а также в оп-





Рис. 2. Фотоэлектрическая установка на крыше вокзала в Берлине. Фото: DB.

тимальном способе управления поездами. Следует отметить, что на железной дороге решения по повышению энергетической эффективности получают весьма заметную отдачу. До 8 % общего потребления энергии, к примеру, может быть возвращено в контактную сеть переменного тока за счёт рекуперации при торможении или аккумуляроваться.

Энергоснабжение систем кондиционирования, вспомогательных агрегатов и освещения осуществляется преимущественно обычным способом, а также может дополняться за счёт возобновляемых источников энергии (концепции гибридного привода в сочетании с фотоэлектрическими модулями, водородными топливными элементами и т.д.). Энергетически оптимальный способ управления движением поездом тоже создает дополнительный потенциал экономии. Однако стационарная выработка энергии остается пока в обозримом будущем важнейшим способом ее производства. Причём это успешно дополняется интеллигентными способами управления (Smart Grid), в особенности с возрастанием требований к энергетическим сетям и в связи с ростом доли ВИЭ на железнодорожном транспорте.

Производство облегчённого подвижного состава и использование композитных материалов с первоклассными свойствами (на стекло- и углеволоконной основе GFK и CFK) — ещё один ресурс экономии энергии, уменьшается вес конструкций и удешевляется производство на 20–30 %. Новые горизонты открывает также применение

нанотехнологий на подвижном составе и объектах инфраструктуры.

Наука даёт немало различных технических возможностей и продуктов, которые, однако, пока не всегда могут быть использованы, поскольку ещё не эффективны с экономической точки зрения (рентабельность), а также не достигли рыночной зрелости.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Водородные топливные элементы

Использование привода на водородных топливных элементах для тяги поездов вместо дизельной или электрической тяги в ближайшем будущем трудно себе представить. Дело в том, что для тяги нужна не только большая мощность водородных топливных элементов, не менее важно иметь и большое количество вырабатываемой энергии. Для потребностей же вспомогательных агрегатов это возможно уже сегодня. Но во всех случаях рядом и технико-экономическая задача — существенное повышение рентабельности этого экологически чистого источника энергии.

Ниже приведены некоторые примеры для тягового подвижного состава, где используются гибридные энергетические установки на водородном топливе.

- Фирма «Alstom» подписала на международной ярмарке «InnoTrans 2014» в Берлине договоры о намерении по поставке в четыре Федеральные земли Германии тягового подвижного состава на водородном топливе. Эта же фирма поставила в 2015–2016 годы для завода автомобилестро-

строительного концерна «Audi» в г. Ингольштадт гибридные локомотивы для грузовых перевозок. Как известно, работа в цехах этого завода разрешена лишь для локомотивов, не создающих эмиссию выхлопных газов.

- Завершённый проект в рамках государственно-частного партнерства (Public Private Partnership), в котором участвовал целый ряд компаний, подтверждает активность в этом направлении в США. В 2009 году была успешно проведена пробная поездка локомотива на водородном топливе. Это, пожалуй, самый крупный локомотив такого рода на сегодняшний день (фирма BNSF). Его мощность при длительном режиме работы составляет 240 кВт. Пиковой мощности в размере 1 МВт хватает на несколько минут [5].

- На Российских железных дорогах (ОАО «РЖД») проводятся исследования по использованию водородных топливных элементов для маневрового локомотива сортировочной горки. При этом получение водорода осуществляется конверсией из природного газа, возимого на борту локомотива. Другие проекты нацелены на применение водородного топлива для дрезин, рельсовых автобусов и вагонов с энергетической установкой для обеспечения электричеством при проведении тоннельных работ.

Фотоэлектрические установки, энергия ветра

Использование солнечной энергии на железнодорожном транспорте даёт очень много преимуществ. Она пригодна для электропитания бортового оборудования, устройств кондиционирования воздуха, для энергообеспечения малодеятельных станций и районов, её следует рассматривать как экономически выгодную альтернативу, в особенности там, где подключение к электросети (если таковая имеется вблизи) дорого. Доля энергии ветра в источниках получения энергии также постоянно растёт.

- Во Флоренции (Италия) ещё в 2004 году был представлен завершённый проект, в рамках которого разработан вагон с солнечными панелями (Photovoltaik Train). Этот проект Итальянских железных дорог (Trenitalia) который финансировался в рамках программы Евросоюза (1,25 млн евро).



Рис. 3. Крыша туннеля трассы Париж-Амстердам. Фото: JinkoSolar.

Подвижной состав с солнечными панелями на крыше находится в эксплуатации. Вырабатываемой энергии хватает для освещения, кондиционирования воздуха и работы бортовых систем. Следует отметить, что в течение ряда лет в Италии имеет место «солёный бум», ибо государство за счёт финансовых стимулов повысило привлекательность проектов в области использования солнечных источников энергии.

- Солнечная энергия находит применение в области СЦБ на железной дороге уже на протяжении многих лет. Энергообеспечение систем глобального позиционирования (GPS) в грузовых вагонах также производится с помощью солёного (солнечного) тока. Известны примеры использования солёных панелей в шумозащитных стенах на транспорте.

- Важную роль для солнечной энергетики играют крыши. С 2003 года в эксплуатации фотоэлектрическая установка на южной стороне главного вокзала в Берлине (рис. 2). Такие установки на крышах вокзалов имеются уже в целом ряде стран.



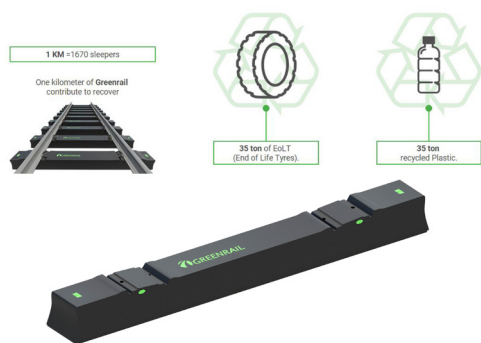


Рис. 4. Шпала с пьезоэлементами. Фото: Greenrail.

• Для транспортного предприятия Женево кантона (Швейцария) фирмой «Höft & Wessel» поставлено более 700 автоматов по продаже билетов, которые установлены в самых «солнечных» местах.

• Китайская фирма «JinkoSolar» произвела и поставила солнечные модули для крыши туннеля высокоскоростной трассы между Парижем и Амстердамом на трассе Бельгийских железных дорог (рис. 3). Солнечные батареи, установленные на крыше туннеля длиной 3,6 км, вырабатывают 3300 мВт • ч энергии в год. Электрическая энергия используется для поездов и объектов инфраструктуры. Эмиссия CO₂ уменьшается на 2400 т в год [6].

• Метрополитен города Мехико использует энергию потока воздуха движущихся поездов. Ток, вырабатываемый ветровыми генераторами, установленными в шахтах, расходуется на освещение станций метро.

Накопление энергии

Выработка энергии должна обязательно сочетаться с возможностями её накопления. Это предусматривается сегодня в энергетическом комплексе. Эффективный менеджмент синхронизирует потребление энергии и её выработку из флуктуирующих источников и обеспечивает необходимую рентабельность. Непостоянство выработки энергии из ВИЭ создает одновременно стимул к поиску надёжных и экономичных её накопителей. Комбинация источников с накопителями энергии даёт достаточное энергообеспечение для периодов слабой солнечной или ветровой активности.

Преимущество выработки электро- и тепловой энергии заключается также

в том, что эти источники децентрализованы. В случае избыточного производства энергии возникает потребность возврата её в энергетическую сеть с получением оплаты, к её накоплению и созданию резервов. Существуют примеры, когда избыточная энергия просто «дарится» другим соседним странам, поскольку приостановка выработки энергии обходится иногда дороже.

Аккумуляция тепла

Известны различные возможности аккумулировать тепло и его транспортировать. Инновационным способом является использование латентных накопителей тепловой энергии, когда все определяет изменение агрегатного состояния накапливающего медиума при подведении или отведении тепла. Перевозки контейнера «с теплом» осуществляются по шоссе, а при наличии подъездных путей могут производиться по железной дороге. Латентные накопители применяются для обогрева или охлаждения зданий. Для транспортировки используются танк-контейнеры. Один из примеров уже действующей с 2013 года мобильной системы перевозки «тепла» имеется в Аугсбурге (Германия), где на ТЭЦ мусороперерабатывающего завода «AVA» танк-контейнеры «заряжаются теплом» и транспортируются для обогрева школьного центра соседнего города Фридберга. Подобный вариант даёт около 2500 кВт • ч энергии. КПД системы составляет 85 % [7].

Накопление электричества

Результаты использования суперконденсаторов (Supercaps) для накопления электрической энергии впечатляют. Сегодня такие решения не новы для накопления энергии, полученной, например, от ветросиловых и солнечных установок. Эти системы в состоянии аккумулировать электрическую энергию в больших объёмах. Уже известны суперконденсаторы ёмкостью до 5000 фарад, хотя величины напряжения у них малы. КПД составляет 90–95 %, и потенциал применения очень высок. Модуляризация на подвижном составе возможна и даёт желаемый эффект.

Примеры их использования в комбинации с аккумуляторами имеются в ряде стран. Концерн «Siemens» сдал в эксплуатацию трамвайную линию в г. Доха (Катар) в 2016 году. В этой рельсовой схеме бесконтактной сети присутствует гибридная сис-

тема накопления электрической энергии: двухслойные суперконденсаторы дополняются литий-ионными батареями. Зарядка при необходимости осуществляется буквально за секунды на любой из станций трамвайной сети [8].

Энергия Земли

Для движения поездов важна бесперебойная работа стрелочных переводов. Их обогрев в зимних условиях возможен не только с помощью электричества, но и с применением энергии Земли. Эти системы используют также тепло подземных вод, воздуха или сточных вод. Современные тепловые насосы позволяют экономить не менее 40 % энергии.

- Первый пример использования геотермического обогрева стрелок на DB относится к 2007 году в Хольцминдене (Holzminden). В 2010 году на Гамбургской портовой железной дороге был принят в эксплуатацию геотермический обогрев стрелок без применения тока.

- С 2005 года в Бад Лаутерберг—Барбис на линии Гёттинген—Нордхаузен находится в эксплуатации система обогрева железнодорожной платформы также с использованием тепла Земли.

- Фирма «Triple-S-GmbH» имеет немало выполненных проектов по оборудованию стрелочных переводов, платформ, транспортных площадей и мостов системами геотермического обогрева. Она получила допуск к производству работ на DB и, в частности, разрешение РЖД на установку пилотной системы нового поколения на двух стрелочных переводах в Санкт-Петербурге. Обслуживание устройств осуществляется в дистанционном режиме из Германии. Сегодня число геотермических систем на железной дороге растет после их успешного тестирования.

- На отдельных станциях метрополитена г. Вены используются тепловые насосы и тепло туннелей.

Солнечная тепловая энергия и санирование зданий

- Комплексное использование возобновляемых источников энергии демонстрирует в Кёльне проект DB первого в Германии экологически чистого предприятия по обслуживанию поездов ICE, где планируется максимально показать самую современную технологию в области

охраны окружающей среды. Здесь предусмотрено применение геотермической энергии, фотоэлектрических установок, тепловой энергии солнца и будут преобладать другие инновационные решения. Предприятие оснастят системой кондиционирования на базе тепловых насосов и теплообмена с подземной водой. Солнечные тепловые коллекторы обеспечат теплоснабжение общественного здания, доставляя горячую воду для бытовых нужд. Суммарная мощность 1200 фотоэлектрических модулей, расположенных на крыше длиной 433 м, составит 300 мВт.

Естественно, что при пиковых нагрузках энергия будет поступать и из других экологически чистых источников энергии. Для подзарядки электродвигателей дорожного транспорта построят «солярные» заправки. Предусмотрен ряд других современных решений, постройка дополнительных шумозащитных стен с солнечными батареями, звукоизоляция зданий и т.д. Уже в 2017 году здесь будут проходить профилактический осмотр высокоскоростные поезда, включая будущее поколение ICE4 (ICx).

Общая экономия энергии составит 15 %.

- Утепление фасадов, крыш и стен вокзалов, а также других зданий является составной частью программы энергетической эффективности DB. Кроме тепловой изоляции производится замена старых окон и систем отопления. За прошедшие годы более 30 зданий, преимущественно находящихся под охраной государства как памятники старины, были энергетически saniрованы. Ежегодно в Германии модернизируются три вокзала, которые получают новый энергетический паспорт.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТЫ

Довольно молодая итальянская фирма «Greenrail» (greenrail.it) производит новые шпалы, которые вырабатывают ток за счет давления, производимого проходящими над ними поездами. Интегрированные пьезоэлементы, являющиеся генераторами, дают до 150 кВт • ч/км энергии при прохождении до 15 поездов. Совместно с Политехническим университетом Милана и другими партнерами фирма продвигает этот продукт на рынок (рис. 4). В 2016





году она осуществила тестирование 1 км пути с этими новыми шпалами.

- В рамках проекта «Поезд будущего поколения» (Next Generation Train) в Национальном исследовательском центре Германии DLR методами системного анализа исследуется эффективность новых технологий и решений (в том числе ВИЭ) в проекции на всю комплексную железнодорожную систему. Этот крупный проект представляет собой взгляд в завтрашний день железнодорожного сообщения [9].

- В 2015 году в Москве в рамках V международного железнодорожного салона «Экспо-2015» был представлен инновационный маневровый газотепловоз ТЭМ-19, построенный на Брянском машиностроительном заводе «Трансмашхолдинга» по заказу РЖД. Локомотив прошёл необходимые испытания и запланирован к серийному выпуску. Газотепловоз имеет газопоршневой двигатель мощностью 880 кВт и работает только на сжиженном природном газе. Это отличный пример реализации программы РЖД по внедрению ресурсосберегающих технологий.

- В завершённом исследовании в рамках проекта по энергетике железнодорожного транспорта (7-й исследовательской рамочной программы, финансируемой Евросоюзом) даётся анализ результатов по целому ряду стран для различного типа подвижного состава о применении энергетически эффективных технологий и рассматриваются варианты принятия решений по инвестициям с позиций потребности в энергии, выброса CO₂ и рентабельности.

- Университет прикладных наук Аугсбурга совместно с МИИТ регулярно организует стажировки, проводит совместные исследования. В программах стажировки приняли участие более 400 специалистов РЖД, преподавателей и студентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ориентация железных дорог на использование возобновляемой энергии играет важную роль для обеспечения эффективности, долговременного и надёжного энер-

госнабжения и характеризует эпохальную тенденцию её развития. В этом процессе много «актёров»: политика, промышленность, железные дороги, наука, университеты, общество и люди. И запущенный механизм будет хорошо функционировать лишь при полном взаимодействии всех участников процесса. Применение новых источников энергии, ресурсосберегающих технологий должно затрагивать весь железнодорожный комплекс, имеющий огромный потенциал экономии энергии, и тогда эффективность энергоснабжения станет существенно выше. Новая энергетическая культура получила сегодня большое развитие в обществе и на железнодорожном транспорте. Переход к децентрализованному энергоснабжению обеспечивает большую автономию, независимость и безопасность отраслевой сферы.

Энергетическая революция – процесс, который следует сопровождать и вовремя корректировать со стороны институциональной политики. Это не только брошенный вызов, но и большой шанс, который надо использовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Umwelttrends in Deutschland. Daten zur Umwelt 2015. Umweltbundesamt.
2. Goldenberg, P., Goldenberg, V., Reppich. Anwendungsmöglichkeiten erneuerbarer Energiequellen im Bahnsektor. EI-Eisenbahningenieur, 2/2012, S. 22–29.
3. Гольденберг В., Гольденберг Ф. Возобновляемые источники энергии и ее экономия на железнодорожном транспорте. Тенденции развития // Бюллетень ОСЖД. – 2016. – № 1. – С. 25–36.
4. Mit dem Zug automatisch grün unterwegs. [Электронный ресурс]: <http://www.bahn.de/p/view/service/umwelt/klimaschutz.shtml>. Доступ 26.07.2016.
5. Information about the projects of Fuelcell Propulsion Institute. [Электронный ресурс]: <http://www.fuelcellpropulsion.org/projects.html>. Доступ 26.07.2016.
6. JinkoSolar versorgt Solar Tunnel mit Energie. [Электронный ресурс]: http://www.jinkosolar.com/press_detail_131.html?lan=ge. Доступ 26.07.2016.
7. Goldenberg, P.: Mobile Wärmespeicher für den Lkw-oder Zugtransport? EI-Eisenbahningenieur, 5/2013, S. 97–100.
8. Schlüsselfertiges Tramsystem für Katar mit oberleitungslösen Avenio-Straßenbahnen. [Электронный ресурс]: [http://www.siemens.com/press/de/feature/2012/infrastructure-cities/rail-systems/2012-08-avenio.php?content\[\]=MO](http://www.siemens.com/press/de/feature/2012/infrastructure-cities/rail-systems/2012-08-avenio.php?content[]=MO). Доступ 26.07.2016.
9. Der NGT: Next Generation Train. [Электронный ресурс]: http://www.dlr.de/fk/desktopdefault.aspx/tabid-10718/18625_read-27293/. Доступ 25.07.2016. ●

Координаты автора: **Гольденберг В.** – vladimir.goldenberg@HS-Augsburg.de.

Статья поступила в редакцию 26.07.2016, принята к публикации 09.11.2016.