



Применение газотурбинной тяги в проектах высокоскоростных железнодорожных магистралей в России



Павел ТРОИЦКИЙ

Павел Сергеевич Троицкий

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия.

✉ paveltroickiy@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В последнее время в научной и отраслевой среде часто поднимается вопрос о целесообразности строительства в России выделенных высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) для перевозки пассажиров и грузов. Ключевым риском таких масштабных инвестиционных проектов является значительный или весьма длительный срок окупаемости, обусловленный меньшей плотностью населения в зонах пролегания предполагаемых ВСМ по сравнению, например, с КНР. Ко всему прочему, при планировании столь капиталоемких и ресурсоемких инвестиций необходимо учитывать планы развития смежных видов транспорта: скоростных автомагистралей, авиационного сообщения, как прямых конкурентов высокоскоростным и скоростным железным дорогам.

Одним из путей повышения конкурентоспособности железнодорожных ВСМ может стать снижение капитальных затрат при их строительстве. Создание ВСМ, где в качестве тягового средства будут эксплуатироваться моторвагонные поезда, работающие на силовых газотурбинных двигателях (ГТД) и электрической передаче переменного тока, позволит отказаться от инве-

стиций в дорогостоящее проектирование, строительство и последующее содержание объектов энергохозяйства, специализированной высокоскоростной контактной сети, что обеспечит удешевление проектов ВСМ, сокращение сроков строительства, ускорение окупаемости дорог.

В статье описаны преимущества эксплуатации газотурбинной тяги на высокоскоростных и скоростных железнодорожных магистралях. Показана возможная компоновка таких поездов. Рассмотрены эксплуатационные риски газотурбинного подвижного состава и пути их нейтрализации. Целью исследования является выявление сравнительных преимуществ газотурбинных моторвагонных поездов по сравнению с высокоскоростными электропоездами. В работе использованы методы сравнительного анализа, контент-анализа технической информации, ранжирования. Сделан вывод, что внедрение газотурбинной тяги позволит снизить инвестиционные и эксплуатационные расходы скоростных и высокоскоростных железных дорог при сохранении мощностных и динамических характеристик поездов.

Ключевые слова: железная дорога, газотурбинная тяга, моторвагонные поезда, турбопоезда, высокоскоростной транспорт, ускоренные грузовые перевозки.

Для цитирования: Троицкий П. С. Применение газотурбинной тяги в проектах высокоскоростных железнодорожных магистралей в России // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 26–30. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-4>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационный режим высокоскоростных и скоростных поездов характеризуется работой большую часть времени на номинальной мощности. Ключевую роль в движении приобретает постоянное атмосферное сопротивление, а не переменное воздействие профиля пути, поэтому на первый план выходят требования малого веса и аэродинамической формы такого подвижного состава.

Цель статьи – показать при помощи методов сравнительного анализа, контент-анализа технической информации, ранжирования концептуальную возможность замены электропоездов газотурбинными моторвагонными поездами при строительстве ВСМ с целью снижения инвестиционных и операционных затрат таких проектов.

По оценкам экспертов Научного Центра «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо–рельс» АО «ВНИИЖТ», устройство 1 км объектов тягового энергоснабжения ВСМ составляет 48 млн руб. Таким образом, при строительстве, например, ВСМ Москва–Адлер (1900 км) инвестиционные затраты снизятся на 91,2 млрд руб., что при общей оценочной стоимости магистрали в 2,5 трлн руб. сформирует экономию инвестиционных вложений порядка 4 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительные преимущества и недостатки турбопоездов с силовыми газотурбинными установками

На основе натурных и аналитических исследований выявлены следующие основные преимущества тяговых силовых установок на основе газовых турбин:

1. Высокие мощностные характеристики, работа с максимальным КПД на номинальной мощности, на которой эксплуатируются большую часть времени высокоскоростные поезда.

2. В два раза меньшая стоимость потребляемого топлива (сжиженного природного газа (СПГ)) по сравнению со стоимостью 1 кВт·ч электрической энергии.

3. Модульность конструкции, малые габариты и на порядок меньшая масса газотурбинного двигателя (ГТД), чем у тепловозного дизеля. В частности, при сравнении дизеля ПД1М маневрового тепловоза

ТЭМ18ДМ и газотурбинной силовой установки для маневрового локомотива на базе МСУ-800 снижение массы составило 12,16 раза (12,6 т против 1,04 т), снижение габаритов (общего объёма двигателя) – 10,19 раза (20,17 м³ против 1,98 м³) при сопоставимой мощности двигателей 882 и 860 кВт соответственно.

4. Доступность для осмотра, контроля и диагностики позволяют эксплуатировать ГТД по состоянию и сократить затраты на ремонт на 15–20 %, а затраты на смазочные масла до десяти раз по сравнению с дизельными установками той же мощности [1].

5. Работа ГТД хорошо согласуется с накопителями энергии, что позволяет стабилизировать режим работы двигателя в период отправления и прибытия поезда.

6. Высокая автономность и способность работы высокоскоростных турбопоездов в любых метеоусловиях, в том числе в условиях сильных ветровых нагрузок, песчаных и снежных заносов, обледенения линий электропередач.

7. Существенное улучшение экологической обстановки в зонах пролегания ВСМ. «Термодинамические и экологические преимущества газомоторного топлива по сравнению с дизельным обусловлены энергетическими и физическими показателями газа. Значения выбросов токсичных веществ по углеводородному составу и окислам азота ниже в 1,5–2 раза» [2].

8. «Газовая турбина является достаточно мягким демпфирующим элементом при динамических воздействиях, поэтому даже на мощных газотурбинных установках можно ожидать достаточно устойчивую и надёжную работу карданных систем» [2].

Следует отметить и наиболее значимые недостатки применения турбопоездов с силовыми газотурбинными установками, а также пути их устранения:

1. Необходимость размещения на подвижном составе больших ёмкостей для снабжения газом. На основании результатов проведения ряда научно-технических советов и мозговых штурмов в 2003–2005 гг. ОАО «РЖД» было принято стратегическое решение, что разработка железнодорожного подвижного состава на сжатом природном газе (СПГ) бесперспективна в первую очередь по причине обеспечения необходимой дальности хода поезда



на КПП [4] и в качестве основного вида топлива следует использовать сжиженный природный газ (СПГ), в том числе в переохлаждённом состоянии [5].

2. Высокая температура выхлопных газов газовой турбины может привести к перегреву контактного провода при работе турбопоездов на электрифицированных линиях. В связи с этим необходимо применение охладителей выхлопных газов, а также устройство выхлопных труб с направлением в сторону путевой инфраструктуры.

3. Большое потребление газа в режиме малых нагрузок, а также при запуске ГТД. В таких режимах энергоснабжение турбопоездов необходимо производить от накопителей энергии (аккумуляторных батарей, суперконденсаторов).

4. Пожаро- и взрывоопасность СПГ. «КПП в большей степени соответствует безопасности его применения, так как при утечках быстро уходит вверх, в то время как пары СПГ или нефтяные газы (пропан, бутан) собираются в нижней части кузова подвижной единицы, что требует постоянного контроля газовоздушного состояния под подвижным составом и его принудительного вентилирования» [5]. При концентрации газа в воздухе 4–15 % создаются пожаро- и взрывоопасные смеси. «Для повышения безопасности газового оборудования турбопоездов, снижения утечек газа необходимо сокращать длину поездных газопроводов, применять на них сварные соединения вместо резьбовых, сокращать число фланцевых и ниппельных соединений, снижать число устройств, встроенных в газовые трубопроводы – термометров, датчиков давления, электромагнитных клапанов, вентилей» [5].

Преимущества применения моторвагонных поездов в грузовом движении описаны в статьях [6; 7] и заключаются в улучшении управляемости поездом, повышении разгонных и тормозных характеристик, безопасности движения, энергоэффективности данного вида тяги, росте пропускных способностей железных дорог.

Концептуальные предложения

Сравнивая мощность созданного в 2010 году в России газотурбовоза ГТb1–8500 кВт с суммарной мощностью десятивагонного высокоскоростного электро-

поезда «Сапсан» можно сделать вывод о возможности создания моторвагонного поезда на ГТД, сопоставимого по мощности моторвагонному поезду электрической тяги. Компоновка силовой установки турбопоездов с ГТД должна включать: кабину управления – силовую установку – газовый баллон – прицепные вагоны – газовый баллон – силовую установку – кабину управления. Таким образом, поезда данного типа должны иметь постоянную составность. При уменьшении массы поездов возможно отключение турбины в хвостовой части поезда. При расположении ГТД на крыше поезда наиболее просто обеспечивается процесс всасывания в компрессор чистого воздуха, удаления из турбины отработавших газов, шумоглушения и т.д. Бортовой запас газа в одной ёмкости газотурбовоза ГТb1 составляет 40 т, что достаточно для дальности хода 1400 км [8]. Таким образом, две криогенные ёмкости, расположенные в голове и хвосте турбопоезда смогут обеспечить дальность его хода без дозаправки до 2800 км. С учётом малого веса ГТД, массы криогенной ёмкости 40 т обеспечивается норматив по максимальной осевой нагрузке высокоскоростного турбопоезда до 17 тс.

Экипировка газотурбопоездов возможна двумя способами:

- заправка непосредственно в борт криогенной установки со сливной эстакады;
- использование съёмных или подключаемых к криогенным продуктопроводам цистерн. Данный вариант более технологичен и позволяет оперативно на разных станциях проводить дозаправку СПГ, однако требует больших инвестиционных и эксплуатационных вложений в газораспределительную инфраструктуру [9; 10].

Международный и российский опыт

Проекты создания турбопоездов на различных видах топлива осуществлялись в Канаде, США, Франции, СССР.

В 1968 году корпорация Canadian Rail представила семивагонный турбопоезд из алюминиевых сплавов массой 185 тонн. В головном вагоне поезда были установлены пять ГТД, мощностью 295 кВт каждый, четыре из них работали для тяги поезда, один для электроснабжения вагонов. На

Таблица 1

Оценка основных параметров автономных локомотивов

Параметр	Силовая установка				
	Дизельная	Газогенераторная	Газодизельная	Газотурбинная	Газотурбинная + гибрид
Стоимость	2	2	2	3	1
Затраты на ТО и ремонт	1	1	2	3	3
Расход топлива	2	3	1	1	1
Стоимость топлива	1	3	2	3	3
Расход масла	1	2	2	3	3
Экологичность	1	1	2	3	3
Мощность	2	1	3	3	3
КПД	3	2	2	1	2
Массогабаритные параметры	3	1	2	1	1
Итого	16	16	18	21	20

испытаниях данный турбопоезд развил скорость 274 км/ч [11].

Во Франции проект создания высокоскоростного железнодорожного сообщения первоначально ориентировался на применение газотурбинной тяги (*turbine grande vitesse* TVG – скоростная турбина). Газовая турбина была выбрана в качестве двигателя за относительно небольшой размер, а также большую удельную и выходную мощность. Однако энергетический кризис 1973 года, обусловленный ростом цен на газ, вынудил отказаться от применения турбин в пользу электротяги.

В СССР в 1970 году был построен опытный состав из двух головных моторных вагонов, оснащённых авиационным двухвальным газотурбинным двигателем. Передняя часть крыши каждого вагона имела возвышение с жалюзи, здесь располагалась силовая установка. Она состояла из газотурбинного двигателя весом 135 кг, мощностью 662 кВт, с принудительной вентиляцией и генератора с частотой вращения до 6000 об./мин, вырабатывающего ток частотой до 200 Гц. КПД поезда составлял 19 %. Расчётная скорость данного состава равнялась 180 км/ч. Запуск двигателя был электрическим, в качестве топлива использовался керосин [12].

В 2000 году в США был разработан дизельный скоростной газотурбопоезд с конструкционной скоростью 250 км/ч. Газотурбинный

двигатель обладал мощностью 3750 кВт с частотой вращения 16000 об./мин, тяговая передача переменного-переменного тока [13].

В планах оператора индийских железных дорог эксплуатация моторвагонных поездов и локомотивов для пассажирских составов на СПГ.

Помимо этого, экспериментальные локомотивы и моторвагонные поезда производились в Испании, Индонезии, США [14]. В условиях высоких цен на газ и горючее топливо проекты газомоторных турбопоездов в основном разрабатываются в нефте-, газодобывающих странах.

Оценка основных параметров автономных локомотивов

В ходе исследования проведена балльная оценка основных параметров автономных локомотивов, где 3 – наилучший показатель параметра, 1 – наихудший. Результаты представлены в таблице 1.

Таким образом, наибольшее количество баллов по результатам качественной оценки набрали локомотивы с газотурбинной и газотурбинно-гибридной установкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учётом потенциально неполной загрузки пропускных способностей ВСМ эксплуатация высокоскоростных и скоростных моторвагонных автономных тур-





бопоездов позволит отказаться от устройства и обслуживания дорогостоящей высокоскоростной контактной сети, то есть снизить инвестиционные и эксплуатационные затраты, реализовать потенциал применения газомоторных двигателей в России, осуществить на единой транспортной инфраструктуре, в том числе электрифицированной, смешанное грузопассажирское движение с разными скоростями. Отметим, что Россия обладает самыми большими разведанными запасами природного газа в мире (50,5 трлн м³) [15], а создание и эксплуатация турбопоездов с ГТД укладывается в правительственную стратегию развития транспорта на газомоторном топливе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зарифьян А. А., Талахадзе Т. З. Анализ эксплуатационных показателей энергетической эффективности грузовых тепловозов // Вестник РГУПС. – 2018. – № 3. – С. 46–53. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35617875>. Доступ 11.11.2021.
2. Курманова Л. С. Повышение эффективности работы тепловозов путём применения газомоторного топлива // Известия Транссиба. – 2017. – № 3 (31). – С. 23–31. [Электронный ресурс]: [http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2017-3\(31\).pdf](http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2017-3(31).pdf). Доступ 11.11.2021.
3. Гапанович В. А. Внедрение газомоторных локомотивов в ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 9. – С. 35–38. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29958751>. Доступ 11.11.2021.
4. Носырев Д. Я., Карышев Д. Ю., Кабанов П. А., Новикова В. Н. Особенности применения переохлажденного сжиженного природного газа в энергетических установках локомотивов // Вестник СамГУПС. – 2016. – № 1 (31). – С. 33–35. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25778497>. Доступ 11.11.2021.
5. Григорович Д. Н., Сиротенко И. В. Обеспечение безопасности при использовании природного газа в качестве моторного топлива на тепловозах // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 4. – С. 66–71. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19624065>. Доступ 11.11.2021.
6. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Моторвагонные грузовые электропоезда – альтернатива локомотивной тяге. Сравнение и анализ // Мир транспорта. – 2019. – № 17 (3). – С. 72–81. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-72-81>.
7. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Анализ снижения рисков в грузовом движении при внедрении моторвагонных грузовых электропоездов // X Международный симпозиум Eltrans-2019. – 09–11 октября 2019. – СПб.: ПГУПС, 2019. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-3-345-352. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43947020>. Доступ 11.11.2021.
8. Коссов В. С., Бабков Ю. В., Сазонов И. В. Локомотивы на сжиженном природном газе // Тяжёлое машиностроение. – 2016. – № 9. – С. 34–39. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27208290>. Доступ 11.11.2021.
9. Буйносов П. А., Лаптев С. И. Организация обслуживания и ремонта газотурбозов ГТ1h на перспективном полигоне северного широтного хода // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 2 (74). – С. 16–21. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39184786>. Доступ 11.11.2021.
10. Буйносов П. А., Лаптев С. И. Организация обслуживания и ремонта газотурбозов ГТ1h // Вестник УрГУПС. – 2018. – № 3 (39). – С. 43–55. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36351456>. Доступ 11.11.2021.
11. Allen, G. F. The Worlds' Fastest Trains: From the Age of Steam to the TGV. Sparkford, Nr Yeovil, Somerset (United Kingdom). Patrick Stephens Limited, 1992, 200 p.
12. Танкеев С. В., Грачев Н. В., Чернышев М. А., Прохор Д. И. История отечественных газомоторных локомотивов // Локомотив. – 2021. – № 10. – С. 41–44. [Электронный ресурс (платный доступ)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46501839>. Доступ 06.12.2021.
13. Воронова Я. Д., Пузанов Д. А. История и перспективы развития газотурбинной тяги // Локомотив. – 2020. – № 8. – С. 43–48. [Электронный ресурс (платный доступ)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43566883>. Доступ 11.11.2021.
14. Полин П. А. Мировые тенденции применения природного газа на локомотивах // Локомотив. – 2018. – № 11. – С. 39–41. [Электронный ресурс (платный доступ)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36357080>. Доступ 11.11.2021.
15. Фофанов Г. А., Григорович Д. Н., Нестрахов А. С. Альтернативные виды топлива на подвижном составе железнодорожного транспорта / Под ред. Г. А. Фофанова. – М.: Интекст, 2008. – 144 с. ●

Информация об авторе:

Троицкий Павел Сергеевич – технический эксперт научного центра «Цифровые модели перевозок и энергосбережение» (НЦ «ЦМПЭ») Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия, paveltroickiy@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.11.2021, одобрена после рецензирования 22.12.2021, принята к публикации 27.12.2021.

От редакции. Изложенные в статье предложения безусловно заслуживают внимания, в том числе в контексте экономических соображений и инвестиционных затрат, связанных со строительством высокоскоростных магистралей. Вместе с тем, данный вопрос, в том числе и в силу его относительной новизны, в настоящий момент не представляется однозначным в силу необходимости рассмотрения проблемы в комплексе, в том числе, её технико-технологических, эксплуатационных и экологических аспектов. В этой связи представленная публикация может стать хорошей основой для научной дискуссии и послужить предметом дальнейших перспективных исследований.