

ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И НАДЕЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ПОЕЗДОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

В. П. Перевертов¹, Н. К. Юрков², И. К. Андрончев³, В. Н. Новикова⁴, Н. А. Кузин⁵

^{1,4} Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

² Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

³ Академия стандартизации, метрологии и сертификации, Москва, Россия

⁵ Московский автодорожный институт (технический университет), Москва, Россия

¹vperevertov@yandex.ru, ²yurkov_NK@mail.ru, ³rektoratSamgups@mail.ru,

⁴novikova@samgups.ru, ⁵sputnik1985nk3y@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассмотрены вопросы повышения безопасности движения и надежности технических средств газотурбинных поездов (систем) в высокоскоростных магистралях (ВСМ). *Материалы и методы.* Для оценки и управления безопасностью движения поездов подходят комплексные показатели в виде: вероятности безотказной работы технических средств, коэффициента готовности, а также наработки на отказ (RAMS) и особенности применения газотурбинной тяги в качестве силовой установки (системного элемента) газотурбинного подвижного состава при эксплуатации на высокоскоростных ВСМ. Для анализа надежности и безопасности газотурбинных мотор-вагонных поездов по сравнению с поездами на дизельных силовых установках и электропоездами на магнитной подушке и т.д. используются адаптивные методы сравнительного анализа информации, ранжирования. *Результаты и выводы.* Показано, что внедрение газотурбинной тяги позволит снизить инвестиционные и эксплуатационные расходы ВСМ железных дорог при сохранении динамических характеристик поездов, включая тормозную систему.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, аддитивные, традиционные, гибридные, надежность, газотурбинная тяга, мотор-вагонные поезда

Для цитирования: Перевертов В. П., Юрков Н. К., Андрончев И. К., Новикова В. Н., Кузин Н. А. Особенности повышения безопасности движения и надежности применения газотурбинных поездов в высокоскоростных железнодорожных магистралях // Надежность и качество сложных систем. 2025. № 2. С. 136–144. doi: 10.21685/2307-4205-2025-2-14

FEATURES OF INCREASING TRAFFIC SAFETY AND RELIABILITY OF USING GAS-TURBINE TRAINS IN HIGH-SPEED RAILWAYS

V.P. Perevertov¹, N.K. Yurkov², I.K. Andronchev³, V.N. Novikova⁴, N.A. Kuzin⁵

^{1,4} Volga State Transport University, Samara, Russia

² Penza State University, Penza, Russia

³ Academy of Standardization, Metrology and Certification, Moscow, Russia

⁵ Moscow Road Institute (Technical University), Moscow, Russia

¹vperevertov@yandex.ru, ²yurkov_NK@mail.ru, ³rektoratSamgups@mail.ru,

⁴novikova@samgups.ru, ⁵sputnik1985nk3y@mail.ru

Abstract. *Background.* The article considers the issues of increasing traffic safety and reliability of technical means of gas turbine trains (systems) in high-speed railways (HSR). *Materials and methods.* Complex indicators in the form of: probability of failure-free operation of technical means, availability factor, as well as time between failures (RAMS) and features of using gas turbine traction as a power plant (system element) of gas turbine rolling stock during operation on high-speed HSR are suitable for assessing and managing train traffic safety. To analyze the reliability and safety of gas-turbine motor-car trains in comparison with trains on diesel power plants and electric trains, magnetic levitation, etc., adaptive methods of comparative analysis of information, ranking are used. *Results and conclusions.* It is shown that the introduction of gas-turbine traction will reduce investment and operating costs of high-speed railways while maintaining the dynamic characteristics of trains, including the braking system.

Keywords: artificial intelligence (AI) technologies, additive, traditional, hybrid, reliability, gas-turbine traction, motor-car trains

For citation: Perevertov V.P., Yurkov N.K., Andronchev I.K., Novikova V.N., Kuzin N.A. Features of increasing traffic safety and reliability of using gas-turbine trains in high-speed railways. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2025;(2):136–144. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2025-2-14

Трендом развития железных дорог является строительство высокоскоростных магистралей (ВСМ) на основе синтеза технологий искусственного интеллекта (ИИ), концентрированных источников энергии (лазерных, плазменных, ионных и т.д.) и аддитивных (3D) технологий из разных материалов и сплавов, включая композиционные и нанокристаллические. Это позволит в автоматизированном цифровом режиме строить трехмерные изделия (детали) по компьютерной модели; сократить время и затраты на получение изделия; изучать технологию послойного синтеза (диагностика) металлических, металлокерамических и наноструктурированных порошковых композитов; внедрить производственные лазерные, плазменные и ионные системы для сплавления металлопорошковых композиций; создать на основе новых датчиков системы контроля, диагностики и интеллектуального управления гибридными технологиями (традиционные и аддитивные технологии), обеспечивающих высокую надежность транспортной железнодорожной системы [6–14].

Проект «высокоскоростной грузопассажирской железнодорожной магистрали (ВСМ) «Москва – Пекин» протяженностью 7000 км позволит сократить время в пути до 32 ч вместо пяти суток в настоящее время. Свою часть пути (3200 км) китайцы уже построили. ВСМ будет использоваться как для пассажирских, так и для грузовых контейнерных перевозок. Первым участком на территории России станет магистраль Екатеринбург–Челябинск. Время в пути 1 ч 10 мин. В КНР построено 42 000 км ВСМ, за последние 20 лет, включая сообщение между Пекином и Шанхаем протяженностью 620 км со скоростью до 400 км/ч. ВСМ в Китае – это полностью новые ветки, строящиеся по другим технологическим стандартам. У них меньше углы поворотов и подъемов, рельсы стоят на «безбалластном пути» на бетонном основании. Развитие ВСМ стало не причиной, а следствием экономического развития КНР.

Анализ строительства в России железнодорожных высокоскоростных магистралей (ВСМ) для перевозки пассажиров и грузов Москва–Санкт-Петербург, Москва–Казань, Москва–Сочи и т.д. показал, что основным риском инвестиционных проектов является длительный срок окупаемости, безопасность и надежность всех системных элементов скоростных поездов. Необходимо учитывать планы развития смежных видов транспорта: скоростных автомагистралей, авиационного, морского, речного сообщения [2–5, 13, 14].

Основным элементом системы скоростного подвижного состава (ПС) является силовая установка: дизельная, электрическая, газогенераторная, газодизельная, газотурбинная, комбинированная, магнитная и др. В газотурбинных поездах (систем) основой тяги является газотурбинный двигатель (ГТД), изготовленный из новых материалов и сплавов [1–3, 5–14]. Создание мотор-вагонных поездов, работающих на ГТД и электрической тяге обеспечит оптимальный эксплуатационный режим работы силовых установок высокоскоростных ПС на номинальной мощности [2–13], улучшит показатели управляемости поездом (разгонные и тормозные характеристики), безопасность движения, эффективность тяги, рост пропускных способностей железных дорог.

Требования по надежности относятся как к самой системе ПС и ее составным элементам, так и к точности и достоверности исходных данных датчиков, формулированию критериев отказов, повреждений и предельных технических состояний, к методам контроля надежности на всех этапах жизненного цикла изделия. Параметры системной надежности ГТД ПС должны учитывать структуру системы, состав и взаимодействие входящих в нее элементов, возможность перестройки структуры и алгоритмов ее функционирования при отказах отдельных элементов [8–14]. Моделирование надежности систем ПС – это технологический процесс **прогнозирования системы** до ее ввода в эксплуатацию с использованием методов анализа «деревьев неисправностей» и структурных схем надежности, элементы которых будут применяться в системе и представляется взаимоотношение между различными элементами (компонентами) системы. Данные о прогнозировании получают по результатам исследований двух основных видов:

- 1) анализ физики отказов, при котором исследуются механизмы возникновения отказов, например, механизм усталостного разрушения материала;
- 2) анализ результатов испытаний (эмпирический метод), при котором подсчитывается число элементов системы, отказавших при разных нагрузках воздействия.

Технология проектирования надежности начинается с разработки модели на основе структурных схем надежности или «деревья неисправностей» с учетом введения избыточности или резервирования – способ обеспечения надежности изделия за счет дополнительных средств и возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций. Путем введения избыточности совместно с мониторингом отказов, системы с низкой надежностью по одному каналу могут в целом обладать высоким уровнем надежности. Введение избыточности на

высоком уровне в динамической системе, например, на уровне силового оборудования (двигателя) ПС – это сложно и дорого, что ограничивает такое резервирование. На низком уровне системы резервирование (датчики) реализуется быстро и просто.

Для анализа надежности ГТД, специфических для железнодорожной отрасли, применим общие методики:

- 1) виды и последствия отказов;
- 2) имитационное моделирование и анализ опасностей;
- 3) анализ структурных схем надежности и «деревьев отказов»;
- 4) устранение критичных отказов и анализ ремонтпригодности, ориентированной на безотказность;
- 5) диагностики отказов и анализ ошибок человека-оператора.

Это поможет обнаружить отказы и обеспечить работоспособность системы в соответствии с заданными требованиями на разных уровнях, используя такие методы, как анализ роста надежности, анализ отказов и корректирующих действий. Недостатками таких испытаний являются **время** и **затраты**. В таких случаях могут быть использованы ускоренные испытания в динамической среде, позволяющие оценить качество и надежность структурно-сложных динамических систем с учетом их старения, усталости, износа и деградации в ходе их эксплуатации. Надежность транспортно-технологической системы отличается от **безопасности** отношением к видам опасностей, с которыми она имеет дело. Низкая надежность может перерасти в аварии по причине неготовности системы, высоких затрат на запасные части и ремонт, перерывов в нормальной работе и т.п. Безопасность относится к тем случаям проявления опасности, которые могут привести к потенциально тяжелым авариям. Требования по безопасности функционально связаны с требованиями по надежности, но характеризуются более высокой ответственностью. Безопасность имеет дело с опасными событиями для жизни людей и окружающей среды в том же смысле, что и надежность, но не связана напрямую со стоимостными показателями и не относится к действиям по восстановлению после отказов и аварий (катастроф).

Организация перевозочного процесса требует обеспечить перевозку грузов (контейнер) и пассажиров на заданном маршруте в заданное время, при соблюдении соответствующих видов безопасности: экологическую, пожарную, информационную, радиационную и т.д., при запланированных нормах затрат ресурсов на выполнение этих технологических операций. Необходимо обеспечить взаимодействие всех служб для надежной организации перевозочного процесса. Все это отражается в нормативно-технической документации, в стандартах организации. Некоторые элементы, связанные с количественными показателями, а также общими нормами организации перевозочного процесса, попадают в стандарты и специальные технические регламенты. Достижения высоких показателей надежности и безопасности определяются действующей нормативной базой и требуют анализа стандартов, технических условий и выявления технологических процессов и операций, которые оказывают влияние на надежность технических средств и безопасность движения поездов.

Отказоустойчивость – надежность может быть увеличена при использовании резервирования на уровне системы, но это может привести к снижению безопасности за счет увеличения вероятности ложной тревоги (например, ложное срабатывание тормозной системы ПС). Отказоустойчивые мажоритарные системы могут увеличить как надежность, так и безопасность на системном уровне. *Оценка надежности техники при эксплуатации системы включает в себя мониторинг – цифровое и визуальное наблюдение за критическими параметрами, выявленными на стадии проектирования при разработке «дерева неисправностей».* Для обеспечения заданной надежности системы данные постоянно анализируются, используя статистические методы (системы отчетов об отказах и авариях, анализе корректирующих действий [8–14].

В газотурбинных поездах основным элементом системы, кроме систем контроля, диагностики, управления всеми элементами, являются передаточные механизмы (передачи, трансмиссии), колесные пары (колесо-рельс), корпус (рама вагона, тележки, автосцепки) ПС, силовой газотурбинный двигатель (ГТД), изготовленные из новых материалов и сплавов, включая порошковые композиты и наноматериалы на основе аддитивных и гибридных технологий [13, 14].

Анализ мощности газотурбовоза ГТb1 – 8500 кВт с суммарной мощностью 10-вагонного высокоскоростного электропоезда «Сапсан» показал, что возможно создание автономного мотор-вагонного поезда с несколькими ГТД, сопоставимого по мощности мотор-вагонному поезду электрической тяги, модульной компоновки [2, 4–11]. При оценке методов контроля и диагностики в системе ВСМ необходим экспертный анализ методов с концептуальными признаками:

- 1) проектирование технологий диагностики как параметров ГТД, так и транспортной системы (ВСМ) в целом;

2) разработка алгоритма выбора технологических датчиков, включая интеллектуальные датчики для технологий искусственного интеллекта, основы гибких производственных систем;

3) контроль и диагностика параметров при гибридных технологиях на основе концентрированных источников энергии для новых материалов, сплавов, нанокompозитов в системе ГТД, выделении из них материалов со свойствами, имеющими более высокие характеристики [1–5, 11–13, 14] по сравнению с традиционными материалами и титановыми сплавами (рис. 1).

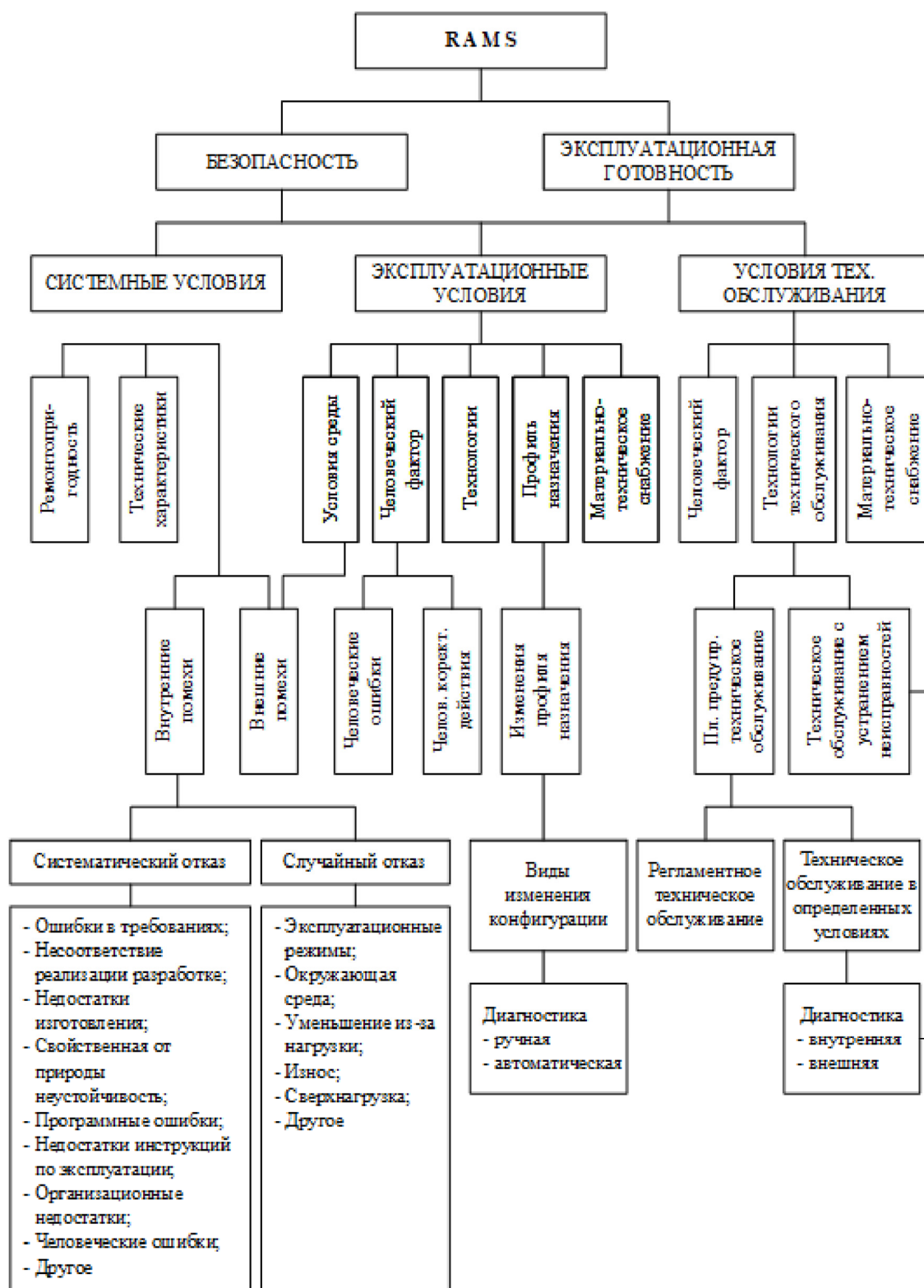


Рис. 1. Факторы, влияющие на обобщенные показатели безопасности и надежности (RAMS) для железнодорожного транспорта ВСМ

Создание ПС для ВСМ, где в качестве тягового средства будут эксплуатироваться мотор-вагонные поезда, работающие на силовых газотурбинных двигателях (ГТД) и электрической передаче переменного тока, позволит отказаться от инвестиций в дорогостоящее проектирование, строительство и последующее содержание объектов энергохозяйства, специализированной высокоскоростной контактной сети, что обеспечит удешевление проектов ВСМ, сокращение сроков строительства, ускорение окупаемости дорог. Эксплуатационный режим силовых тяговых установок высокоскоростных поездов характеризуется работой на номинальной мощности. Поэтому на первый план выходят требования малого веса и аэродинамической формы высокоскоростного ПС. Оценка перспектив использования газотурбинной тяги поездов на ВСМ России в отношении масса-габаритных и энергетических показателей (параметров) выявила **основные преимущества**:

- 1) высокие мощностные характеристики, работа с максимальным КПД на номинальной мощности, на которой эксплуатируются высокоскоростные поезда;
- 2) меньшая (в два раза) стоимость потребляемого топлива (сжиженного природного газа) по сравнению со стоимостью электрической энергии;
- 3) модульность конструкции, малые габариты и на порядок меньшая масса ГТД, чем у тепловозного дизеля;
- 4) доступность технологии сервиса (осмотр, контроль и диагностика) позволяют эксплуатировать ГТД по техническому состоянию и сократить затраты на ремонт на 15–20 % за период жизненного цикла ГТД [1–9, 13];
- 5) работа ГТД стабилизирует режим работы двигателя в период отправления и прибытия поезда;
- 6) высокая автономность и способность работы высокоскоростных турбо-поездов в любых метеоусловиях;
- 7) термодинамические и экологические преимущества газомоторного топлива по сравнению с дизельным обусловлены энергетическими и физическими показателями природного газа. Значения выбросов токсичных веществ ниже в 1,5–2 раза [2–5, 13];
- 8) ГТД является «мягким» демпфирующим элементом при динамических воздействиях, поэтому можно ожидать устойчивую и надежную работу карданных систем» [1–2, 4–13];
- 9) применения мотор-вагонных поездов в грузовом движении [1–13] улучшает управляемость ПС; в повышении разгонных и тормозных характеристик, безопасности движения, эффективности данного вида тяги, росте пропускных способностей железных дорог.

Недостатки:

1. Необходимость размещения на ПС больших емкостей для дальности хода. В качестве основного вида топлива следует использовать сжиженный природный газ, в том числе в переохлажденном состоянии [1–13].
2. Большое потребление газа в режиме малых нагрузок, а также при запуске ГТД. В связи с этим на турбопоездах целесообразно применение многодвигательных газотурбинных установок с отключением части ГТД при работе в зонах частичных тяговых нагрузок и на холостом ходу. Применение накопителей энергии (аккумуляторов) потребует увеличения массо-габаритных параметров поезда [1–13].
3. Пожаро- и взрывоопасность СПГ не соответствует безопасности его применения, так как при утечках пары СПГ собираются в нижней части кузова подвижной единицы, что требует постоянного контроля газовоздушного состояния под ПС и принудительного вентилирования» [5–13]. 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, вентилялей» [3–13].
4. Высокий уровень шума при работе ГТД. Затраты по шумоглушению (конструктивные и защитные) составляют до 6 % стоимости ГТД [1–5, 13]. Конструктивным мероприятием является создание двухконтурных газовых турбин: чем выше двухконтурность ГТД, тем ниже генерируемый им уровень шума. К защитным мероприятиям относится обшивка звукопоглощающими резонансными конструкциями (ЗПК). В диссипативных ЗПК энергия звуковой волны гасится за счет возбуждения вынужденных колебаний воздуха в замкнутых объемах резонаторов.
5. Высокая температура выхлопных газов ГТД может привести к перегосу контактного провода при работе турбопоездов на электрифицированных линиях, что потребует применения охладителей выхлопных газов.

Бортовой запас газа в одной криогенной емкости газотурбовоза ГТb1 составляет 40 т, что достаточно для дальности хода 1400 км [1–5, 13]. Экипировка газотурбопоездов возможна двумя способами:

- 1) заправка в борт криогенной установки со сливной эстакады;
- 2) использование съемных или подключаемых к криогенным продуктопроводам цистерн позволяет оперативно проводить дозаправку топлива [1–13].

Анализ основных показателей поездов автономной тяги (табл. 1) показал, что наибольшее количество баллов по результатам оценки набрали локомотивы с газотурбинной и газотурбинно-гибридной установкой.

Таблица 1

Балльная оценка основных параметров поездов автономной тяги

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
Масса-габаритные параметры	3	1	2	1	1
Итого	16	16	18	21	20

Создание турбопоездов на различных видах топлива осуществлялось в Канаде, США, Франции, СССР, России и т.д. Канада представила модульный семивагонный скоростной турбопоезд из алюминиевых сплавов полной массой 200 т. В головном вагоне поезда были установлены пять ГТД, мощностью 295 кВт каждый с механической передачей. Четыре ГТД работали для тяги поезда, один – для электроснабжения вагонов. Над турбоустановками располагалась кабина машиниста и пассажирские места. На испытаниях данный турбопоезд развил скорость 274 км/ч [13]. Во Франции создание ВСМ ориентировалось на применение газотурбинной тяги. Однако отказались от применения ГТД в пользу электротяги. В СССР в 1970 г. был построен ПС из двух головных моторных вагонов, оснащенных ГТД. На передней части крыши вагонов располагалась силовая установка из ГТД весом 135 кг, мощностью 662 кВт, и генератора, вырабатывающего ток частотой до 200 Гц. КПД поезда составлял 19 %. Расчетная скорость ПС – 200 км/ч [1–4].

В 2000 г. в США разработан дизельный газотурбопоезд со скоростью 250 км/ч, мощностью 3750 кВт, с частотой вращения 16 000 об/мин, тяговая передача переменного-переменного тока [13]. Индийские железные дороги эксплуатируют мотор-вагонные поезда и пассажирские локомотивы на СПГ. Экспериментальные локомотивы и мотор-вагонные поезда производились в Испании, Индонезии, США [2–4, 13].

Проведенный анализ показателя удельной массы / пассажиро-место высокоскоростного турбопоезда и других видов высокоскоростного ПС [1–5, 13] показывает, что газотурбинный поезд имеет сравнимое с высокоскоростными поездами значение удельного показателя массы/пассажиро-место при сопоставимой суммарной мощности газотурбинной установки 8,6 МВт и 10-вагонной составности.

Заключение

Эксплуатация высокоскоростных мотор-вагонных автономных турбопоездов позволит 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.

Для управления системами ПС с динамично изменяющимся состоянием нужны распределенные компьютерные системы, способные решать задачи в режиме реального времени с применением

интеллектуальных (адаптивных) методов управления, вычисления и обработки информации. Интеллектуальными узлами динамических систем контроля, диагностики управления ПС являются промышленные компьютеры и контроллеры, быстродействующие, бесконтактные датчики и импульсные исполнительные устройства.

Сложные, функционально насыщенные системы сбора и обработки технологической информации требуют применения датчиков, способных помимо выдачи сообщений об уровне сигналов или просто о включении-выключении элементов системы (оборудования) встраивать эти чипы во все меньшие по размерам изделия. Именно с изменением элементной базы электронных устройств обработки сигналов первичных преобразователей связано появление нового поколения датчиков, получивших название интеллектуальных.

Список литературы

1. Технические характеристики высокоскоростных поездов. URL: <https://railtrain.pro/cat/mvps/vsps> (дата обращения: 31.03.2024).
2. Буйносов П. А., Лаптев С. И. Организация обслуживания и ремонта газотурбовозов ГТ1h на перспективном полигоне северного широтного хода // Вестник транспорта Поволжья. 2019. № 2. С. 16–21.
3. 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. С. 33–35.
4. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Мотор-вагонные грузовые электропоезда – альтернатива локомотивной тяге. Сравнение и анализ // Мир транспорта. 2019. № 17. С. 72–81. doi: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-72-812
5. Фофанов Г. А., Григорович Д. Н. Альтернативные виды топлива на подвижном составе железнодорожного транспорта. М. : Интекст, 2008. 144 с.
6. Перевертов В. П., Юрков Н. К., Романенко Ю. А. Нанотехнологии и качество деталей транспортного машиностроения // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 1. С. 39–42.
7. Перевертов В. П., Юрков Н. К., Кузин Н. А., Гусарова С. А. К вопросу диагностики наноматериалов в гибридных технологиях формообразования деталей в системе машиностроения // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 447–449.
8. Жданов А. Г., Перевертов В. П., Новикова В. Н., Рыжов А. А. Эффективное крепление колесной техники на железнодорожной платформе // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2024. Т. 2. С. 39–42.
9. Перевертов В. П., Кузин Н. А., Юрков Н. К. Качество формообразования деталей при интеграции гибридных технологий транспортного машиностроения // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 72–80.
10. Перевертов В. П. Качество управления гибкими технологиями : монография. Самара : СамГУПС, 2019. 270 с.
11. Перевертов В. П. Материаловедение и гибкие технологии : учебник. Самара : СамГУПС, 2020. 230 с.
12. Перевертов В. П. Метрология. Стандартизация. Сертификация : учебник. Самара : СамГУПС, 2023. 242 с.
13. Перевертов В. П., Юрков Н. К., Андрончев И. К. [и др.]. Анализ надежности применения газотурбинной тяги поездов высокоскоростных железнодорожных магистралей // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2024. Т. 1. С. 42–47.
14. Перевертов В. П., Кузин Н. А. К вопросу безопасности движения транспортно-технологических систем и надежности технических средств // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 2. С. 126–133.

References

1. *Tekhnicheskie kharakteristiki vysokoskorostnykh poezdov = Technical characteristics of high-speed trains.* (In Russ.). Available at: <https://railtrain.pro/cat/mvps/vsps> (accessed 31.03.2024).
2. Buynosov P.A., Laptev S.I. Organization of maintenance and repair of GT1h gas turbine locomotives at the promising site of the northern latitudinal course. *Vestnik transporta Povolzh'ya = Bulletin of transport of the Volga region.* 2019;(2):16–21. (In Russ.)
3. Nosyrev D.Ya., Karyshev D.Yu., Kabanov P.A., Novikova V.N. Features of the use of supercooled liquefied natural gas in power plants of locomotives. *Vestnik SamGUPS = Bulletin of SamGUPS.* 2016;(1):33–35. (In Russ.)
4. Zaytsev A.A., Troitskiy P.S. Motor-car freight electric trains – an alternative to locomotive traction. Comparison and analysis. *Mir transporta = The world of transport.* 2019;(17):72–81. (In Russ.). doi: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-72-812
5. Fofanov G.A., Grigorovich D.N. *Al'ternativnye vidy topliva na podvizhnom sostave zheleznodorozhnogo transporta = Alternative fuels on railway rolling stock.* Moscow: Intekst, 2008:144. (In Russ.)
6. Perevertov V.P., Yurkov N.K., Romanenko Yu.A. Nanotechnology and quality of parts of transport engineering. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2022;1:39–42. (In Russ.)

7. Perevertov V.P., Yurkov N.K., Kuzin N.A., Gusarova S.A. On the issue of diagnostics of nanomaterials in hybrid technologies of forming parts in the mechanical engineering system. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2023;1:447–449. (In Russ.)
8. Zhdanov A.G., Perevertov V.P., Novikova V.N., Ryzhov A.A. Effective fastening of wheeled vehicles on a railway platform. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2024;2:39–42. (In Russ.)
9. Perevertov V.P., Kuzin N.A., Yurkov N.K. The quality of forming parts in the integration of hybrid technologies of transport engineering. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2023;(1):72–80. (In Russ.)
10. Perevertov V.P. *Kachestvo upravleniya gibkimi tekhnologiyami: monografiya = Quality management of flexible technologies : monograph*. Samara: SamGUPS, 2019:270. (In Russ.)
11. Perevertov V.P. *Materialovedenie i gibkie tekhnologii: uchebnik = Materials science and flexible technologies : textbook*. Samara: SamGUPS, 2020:230. (In Russ.)
12. Perevertov V.P. *Metrologiya. Standartizatsiya. Sertifikatsiya: uchebnik = Metrology. Standardization. Certification : textbook*. Samara: SamGUPS, 2023:242. (In Russ.)
13. Perevertov V.P., Yurkov N.K., Andronchev I.K. et al. Reliability analysis of gas turbine traction of high-speed railway trains. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2024;1:42–47. (In Russ.)
14. Perevertov V.P., Kuzin N.A. On the issue of traffic safety of transport and technological systems and reliability of technical means. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2024;(2):126–133. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Валерий Петрович Перевертов

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры вагонного хозяйства
и наземных транспортных комплексов,
Приволжский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В)
E-mail: vperevertov@yandex.ru

Николай Кондратьевич Юрков

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Иван Константинович Андрончев

доктор технических наук, профессор,
директор Академии стандартизации,
метрологии и сертификации
(Россия, г. Москва, Волгоградский пр-т, 90)
E-mail: rektoratSamgups@mail.ru

Вера Николаевна Новикова

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры наземных транспортно-
технологических средств,
Приволжский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В)
E-mail: novikova@samgups.ru

Valeriy P. Perevertov

Candidate of technical sciences, associate professor,
professor of the sub-department of carriage industry
and ground transport complexes,
Volga State Transport University
(2V Svobody street, Samara, Russia)

Nikolay K. Yurkov

Doctor of technical sciences, professor,
honoured worker of science
of the Russian Federation,
head of the sub-department
of radio equipment design and production,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Ivan K. Andronchev

Doctor of technical sciences, professor,
director of the Academy of Standardization,
Metrology and Certification
(90 Volgogradsky avenue, Moscow, Russia)

Vera N. Novikova

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of land transport and technological facilities,
Volga State Transport University
(2V Svobody street, Samara, Russia)

Николай Андреевич Кузин

студент,

Московский автодорожный институт

(технический университет)

(Россия, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64)

E-mail: sputnik1985nk3y@mail.ru

Nikolai A. Kuzin

Student,

Moscow Road Institute (Technical University)

(64 Leningradsky avenue, Moscow, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 05.04.2025

Поступила после рецензирования/Revised 24.04.2025

Принята к публикации/Accepted 04.05.2025