

УДК 629.422.1

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДАХ****Шпынкова Виктория Дмитриевна,**

Специалитет 3 курса направление «Системы управления летательными аппаратами»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)

Москва, Россия

shpynkova.viktoria@mail.ru

**Рудич Ярослав Юрьевич,**

Специалитет 3 курса направление «Системы управления летательными аппаратами»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)

Москва, Россия

rudichyayu@student.bmstu.ru

**Деменев Дмитрий Андреевич,**

Начальник отдела проектной деятельностью студентов Студенческого научно-технического центра МГТУ им. Н. Э. Баумана, заместитель декана факультета Ракетно-космическая техника МГТУ им. Н. Э. Баумана, старший преподаватель кафедр ФН-7 (Электротехника и промышленная электроника), ИУ-1 (Системы автоматического управления)

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет),

Москва, Россия

demenev@bmstu.ru

**Аннотация**

В статье рассматриваются виды электрических систем высокоскоростных поездов, приводятся примеры электровозов.

**Ключевые слова:** высокоскоростной поезд, подвижной состав, преобразователи, выпрямители, инверторы, двигатели, магнитное поле.

**ELECTRICAL SYSTEMS IN HIGH-SPEED TRAINS****Shpynkova Victoria Dmitrievna,**

Specialist of the 3rd year, direction "Aircraft control systems"

Bauman Moscow State Technical University (National Research University),

Moscow, Russia

shpynkova.viktoria@mail.ru

**Rudich Yaroslav Yuryevich,**

Specialist of the 3rd year, direction "Aircraft control systems"  
Bauman Moscow State Technical University (National Research University),  
Moscow, Russia  
rudichyayu@student.bmstu.ru

**Demenev Dmitry Andreevich,**

Head of the Department of Project Activities of Students of the Student Scientific and Technical Center of Bauman Moscow State Technical University, Deputy Dean of the Faculty of Rocket and Space Technology of Bauman Moscow State Technical University, Senior Lecturer of the Departments FN-7 (Electrical Engineering and Industrial Electronics), IU-1 (Automatic Control Systems)  
Bauman Moscow State Technical University Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University),  
Moscow, Russia  
demenev@bmstu.ru

---

**ABSTRACT**

---

The article discusses the types of electrical systems of high-speed trains, and provides examples of electric locomotives.

---

**Keywords:** high-speed train, rolling stock, converters, rectifiers, inverters, motors, magnetic field.

---

Высокоскоростные поезда уже давно стали обыденностью для многих стран, однако их концепция была предсказана задолго до их реального появления. Один из первых, кто заглянул в будущее и описал подобные технологии, был французский писатель Жюль Верн. В своем романе «Париж в XX веке», написанном в 1863 году, он описал удивительные идеи, которые на тот момент казались фантастическими. Верн описывает систему, в которой магниты, установленные между колесами поезда, притягивают стальной диск. Этот диск, в свою очередь, движется благодаря сжатому воздуху, что позволяет поезду развивать невероятные скорости.

Современные высокоскоростные поезда, такие как японский синкансен или французский TGV, используют технологии, которые отчасти перекликаются с идеями Верна.

Кроме того, железнодорожный транспорт более экологичен, чем другие виды транспорта, такие как автомобили или самолёты. Использование поездов способствует уменьшению выбросов парниковых газов и снижению загрязнения воздуха. Это одно из основных преимуществ высокоскоростных поездов.

За прошедшие годы конструкционная скорость высокоскоростных поездов увеличилась с 230 км/ч (1964 г.) до 450 км/ч (2025 г.). А в 2027 году планируют запустить высокоскоростной поезд, скорость которого достигнет 603 км/ч. [1]

Какие же все-таки бывают электрические системы?

1. Двухсистемные высокоскоростные поезда.

Они предназначены для пассажирских перевозок, способны беспрепятственно функционировать как на участках с постоянным током (обычно 3 кВ), так и с переменным током (25 кВ, 50 Гц). Основными элементами этой системы являются:

1. Трансформаторы выполняют функцию понижения высокого напряжения переменного тока (25 кВ) до более низкого значения, необходимого для последующей обработки и безопасного использования в тяговых системах.

2. Выпрямители преобразуют переменный ток, полученный с трансформатора, в постоянный, необходимый для питания большинства типов тяговых двигателей. Наиболее распространённым типом выпрямителей являются управляемые тиристорные выпрямители (Рис. 1.), позволяющие плавно регулировать выходное напряжение и ток, что важно для оптимизации тягового усилия и энергопотребления. Тиристорные выпрямители – это устройства, которые преобразуют переменное напряжение в постоянное. Более современные системы используют изолированные затвором биполярные транзисторы (Рис. 2.), обеспечивающие более высокую частоту переключения, меньшие потери и более точное управление.

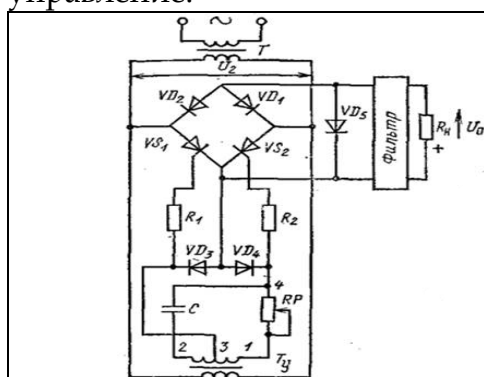


Рис. 1. Тиристорный выпрямитель.

[2]

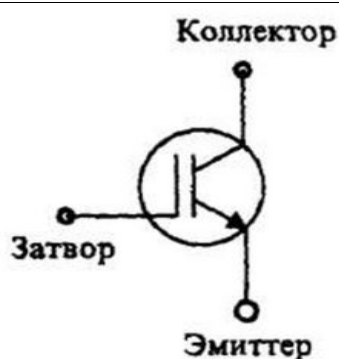


Рис. 2. Биполярный транзистор с изолированным затвором. [3]

В случае использования асинхронных тяговых двигателей, постоянный ток, полученный от выпрямителя, должен быть преобразован обратно в переменный ток. Это выполняется с помощью инверторов, использующих полупроводниковые ключи высокой мощности. Инверторы – это устройства, которые преобразуют постоянный ток в переменный, изменяя частоту и напряжение. Они используются для управления скоростью и мощностью электродвигателей. Частота выходного тока инвертора регулируется в соответствии с требуемой скоростью движения поезда, обеспечивая плавное ускорение и торможение.

Процесс переключения между системами электрификации осуществляется автоматически с помощью системы управления поезда, которая постоянно отслеживает тип питающей сети. Перед переходом на участок с другим типом тока, система управления плавно переключает питание с одной системы на другую, предотвращая прерывание энергоснабжения тяговых двигателей. Это достигается за счет параллельной работы выпрямителя и инвертора в переходный период, обеспечивая непрерывность энергоснабжения.



Рис. 3. [4]. «Сапсан» – это высокоскоростной поезд, который курсирует между Москвой и Санкт-Петербургом с 2009 года. Он назван в честь самой быстрой птицы на планете, способен развивать скорость до 250 км/ч. [5]

## 2. Системы постоянного тока.

Основными элементами этой системы являются:

1. Высокоскоростные поезда могут получать электрическую энергию от контактной сети, которая может работать как на переменном, так и на постоянном токе. В большинстве случаев используются системы постоянного тока с напряжением 1,5 кВ или 3 кВ. Для повышения эффективности работы поездов, использующих постоянный ток, применяются преобразователи.

2. В некоторых высокоскоростных поездах используются двигатели постоянного тока. Они обеспечивают высокий крутящий момент на низких скоростях, что особенно важно при старте и разгоне поезда. Это позволяет поездам быстрее набирать скорость.



Рис. 4. [6] Примером высокоскоростного поезда с использованием систем постоянного тока является итальянский Frecciarossa, 2008 года производства. Он обслуживает всю Италию, соединяя Рим, Милан, Флоренцию, Болонью, Неаполь, Турин и Венецию. Максимальная скорость Frecciarossa составляет 300 км/ч. [7]

## 3. Системы переменного тока.

Эта система питания для высокоскоростных поездов используется во всём мире и вот почему:

1. Высокоскоростные поезда, работающие на переменном токе, получают электропитание через контактную сеть, которая обычно функционирует на напряжении 25 кВ. Это напряжение было выбрано не случайно: оно оптимально для передачи электроэнергии на большие расстояния, так как значительно снижает потери при транспортировке. Контактная сеть состоит из проводов, натянутых на опорах, и специальных устройств, которые обеспечивают надёжный контакт с поездом. Важно отметить, что для высокоскоростных поездов используются специальные токосъёмники (Рис. 5.), которые обеспечивают устойчивый контакт с проводом даже при высоких скоростях.



Рис. 5. Токо­съемник [8]

2. В высокоскоростных поездах используются различные типы электрических двигателей, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Асинхронные двигатели являются наиболее распространённым типом двигателей в высокоскоростных поездах. Они хорошо работают на различных скоростях, обеспечивая стабильную работу и хорошие характеристики при переключении режимов. Принцип работы асинхронного двигателя заключается в создании вращающегося магнитного поля, которое индукционно воздействует на ротор, заставляя его вращаться. Синхронные двигатели требуют более сложных систем управления, что может увеличивать стоимость и сложность обслуживания. Принцип работы синхронного двигателя основан на взаимодействии магнитного поля статора с магнитным полем ротора, что позволяет достичь высокой точности и стабильности работы.

3. Современные высокоскоростные поезда используют инверторы. Они играют ключевую роль в управлении скоростью и моментом двигателя переменного тока, позволяя точно регулировать параметры работы и обеспечивать оптимальную производительность. Современные инверторы могут включать системы рекуперации энергии, которые позволяют возвращать часть энергии обратно в контактную сеть при торможении поезда, что значительно повышает общую эффективность системы.



Рис. 6. [9] Южнокорейская сеть КТХ использует поезд КТХ-II, который работает на системе переменного тока. Введён в эксплуатацию в 2010 году. Поезд проходит через следующие города: Сеул, Пусан, Тэгу, Кванджу, Чонджу и Пхенчхон. Максимальная скорость составляет 300 км/ч. [10]

#### 4. Токовые системы с использованием магнитной левитации (маглев)

Магнитная левитация (маглев) – это явление, позволяющее объектам парить в воздухе, противодействуя силе земного притяжения при помощи магнитных полей. Для достижения устойчивой левитации необходим сложный баланс сил и, как правило, активное управление магнитными полями. Три основных способа реализации магнитной левитации – использование электромагнитов, сверхпроводящих магнитов и постоянных магнитов. [11]

Рассмотрим подробнее каждый из методов:

1. Левитация с помощью «постоянных магнитов». Если расположить один постоянный магнит над другим, система окажется крайне неустойчивой. Малейшее отклонение от идеального положения приведёт к падению верхнего магнита. Для

достижения стабильности применяют различные методы, включая использование дополнительных магнитов, пассивных стабилизаторов, а также гироскопических эффектов.

2. Левитация с помощью электромагнитов. В этом случае, сила магнитного поля может регулироваться путем изменения силы тока в обмотке электромагнита. Система обратной связи, мониторящая положение левитирующего объекта и корректирующая силу поля, обеспечивает стабильность.

3. Левитация с помощью сверхпроводящие магнитов. Сверхпроводники, при охлаждении до криогенных температур, обладают нулевым электрическим сопротивлением, позволяя создавать очень сильные и стабильные магнитные поля без значительных энергетических затрат. Это делает их идеальными для создания высокоскоростных и энергоэффективных систем магнитной левитации. Однако, необходимость использования криогенного охлаждения существенно удорожает и усложняет такие системы.

Рассмотрим подробнее работу «маглев-поездов». Система маглев использует взаимодействие магнитных полей, создаваемых магнитами на борту поезда и магнитами, расположенными на рельсах, как бы обёрнуты вокруг рельса. Движение поезда обеспечивается линейными двигателями. Они представляют собой длинные электрические катушки, взаимодействующие с рельсами, функционирующими как «реактивные рельсы». Изменение направления тока в катушках приводит к изменению полярности магнитного поля, вызывая движение поезда вперёд. Система управления постоянно контролирует скорость и положение поезда, регулируя силу и полярность магнитных полей для достижения высокой скорости и плавного хода.



Рис. 7. [12] «Шанхайский маглев — первая в мире железнодорожная линия на магнитном подвесе. Соединяет станцию шанхайского метро «Лунъян Лу» с международным аэропортом Пудун и преодолевает расстояние 30 км за 8 мин 01 сек., разгоняясь до скорости 431 км/ч. Введена в эксплуатацию 1 января 2004 года. [13]

5. Системы накопления энергии на основе аккумуляторов в высокоскоростных поездах.

Использование аккумуляторных батарей позволяет преодолеть ограничения, связанные с зависимостью от контактной сети.

Рассмотрим основные аспекты применения аккумуляторных систем в высокоскоростных поездах.

1. На сегодняшний день лидирующие позиции занимают литий-ионные батареи. Они обладают длительным сроком службы, низким саморазрядом и относительно высокой мощностью. Однако, они чувствительны к перегреву и требуют сложных систем управления температурой, а также имеют определенные риски, связанные с воспламенением при повреждении. Литий-ионные аккумуляторы — это наиболее распространенный тип, используемый в современных проектах. Они характеризуются

высокой удельной энергией, что критически важно для минимизации веса поезда и, следовательно, энергопотребления. Никель-металлогидридные аккумуляторы используются реже в высокоскоростных поездах, в основном из-за более низкой удельной энергии по сравнению с литий-ионными. Они характеризуются большей устойчивостью к высоким температурам и более длительным сроком службы при высоких температурах. Однако, их меньшая энергоёмкость делает их менее подходящими для обеспечения основного питания высокоскоростных поездов на больших расстояниях.

Суперконденсаторы – это устройства для накопления энергии электростатическим способом. Они не имеют химических реакций, характерных для батарей, что обеспечивает им значительно больший срок службы. Суперконденсаторы идеально подходят для рекуперативного торможения, где энергия, выделяющаяся при торможении, быстро накапливается и может быть использована для ускорения. Однако, их удельная энергия значительно ниже, чем у литий-ионных аккумуляторов, поэтому они обычно используются в качестве дополнения к батареям, обеспечивая пиковую мощность и рекуперацию энергии.

2. В регионах с ограниченной инфраструктурой или на участках с отсутствием контактной сети аккумуляторы могут служить основным источником питания для тяговых двигателей, обеспечивая движение поезда на электрической тяге. Это требует использования высокоемких аккумуляторных систем с большим запасом энергии. Аккумуляторы могут обеспечивать энергией вспомогательные системы поезда, такие как освещение, кондиционирование воздуха и системы безопасности. Это снижает нагрузку на основную систему питания. Комбинация аккумуляторных батарей и суперконденсаторов, работающих вместе, позволяет оптимизировать работу системы питания, используя преимущества обоих типов накопителей энергии. Аккумуляторы обеспечивают основную энергию, а суперконденсаторы – быстрый отклик на изменение нагрузки и рекуперацию энергии. Аккумуляторы позволяют увеличить автономность поезда, позволяя ему преодолевать участки без контактной сети или работать в случае ее временного отключения. Это особенно важно для повышения надежности железнодорожного сообщения.



Рис. 8. [14]. Канадская машиностроительная компания Bombardier провела в Германии первую опытную поездку своего гибридного электропоезда с питанием от аккумуляторных батарей Talent 3. Он был построен в 1996 году, но первые рейсы с пассажирами начались только в ноябре 2020 года. Talent 3 может развивать максимальную скорость 160 км/ч. [15]

Подводя итог вышеизложенному, можно с уверенностью сказать, что высокоскоростные поезда, хотя и находятся на начальной стадии своего развития, уже успели продемонстрировать множество значительных преимуществ. Они способствуют улучшению связности между городами, что делает их удобным средством передвижения для пассажиров, стремящихся сократить время в пути. На сегодняшний день не все страны могут позволить себе поезда на магнитной левитации, которые обеспечивают более

высокую скорость. Однако наиболее распространенными остаются поезда, работающие на переменном токе. Эти системы уже доказали свою эффективность и надежность, но будущее высокоскоростного железнодорожного транспорта, безусловно, зависит от дальнейших инноваций в области электрических технологий.

#### Список литературы:

1. Самый быстрый поезд в мире. Дата введения: 26.08.2018. – URL: <https://dzen.ru/a/W4K35102sACvnpDX> (Дата обращения: 2.02.2025). – Текст: электронный.
2. Однополупериодная однофазная схема выпрямления на тиристоре. Дата введения: 21.08.2015. – URL [https://studopedia.ru/15\\_126272\\_odnopoluperiodnaya-odnofaznaya-shema-vipryamleniya-na-tiristore.html](https://studopedia.ru/15_126272_odnopoluperiodnaya-odnofaznaya-shema-vipryamleniya-na-tiristore.html) (Дата обращения: 2.02.2025). – Картинка.
3. Введение в биполярный транзистор с изолированным затвором. Дата введения: 11.12.2023. – URL <https://astol.su/articles/mikroelektronika/bipolyarnyy-tranzistor-s-izolirovannym-zatvorom/> (Дата обращения: 3.02.2025). – Картинка.
4. Уикэнд в Санкт-Петербурге. Дата введения: 19.07.2020. – URL [https://dzen.ru/a/Xw3TkBkKjn8cB\\_0k](https://dzen.ru/a/Xw3TkBkKjn8cB_0k) (Дата обращения: 4.02.2025). – Картинка.
5. Состоялся первый рейс высокоскоростного поезда «Сапсан» между Санкт-Петербургом и Москвой. Дата введения: 17.12.2009. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9453/page/564703?id=544> (Дата обращения: 5.02.2025). – Текст: электронный.
6. Treno piu veloce tra Roma e Pescara: concluso lo studio di fattibilita che riguarda anche la ferrovia teatina. Дата введения: 13.02.2021. – URL <https://www.chietitoday.it/economia/studio-lavori-velocizzazione-ferrovia-treni-roma-chieti-pescara.html> (Дата обращения: 7.02.2025). – Картинка.
7. ETR 1000: итальянский высокоскоростной электропоезд. Дата введения: 03.09.2020. – URL: <https://all-andorra.com/ru/poezd-etr-1000/> (Дата обращения: 9.02.2025). – Текст: электронный.
8. Почему верхняя часть токоприёмника электровоза или трамвая загнута по краям вниз, напоминая лыжу. Дата введения: 04.09.2022. – URL <https://dzen.ru/a/YxST4FDeuXIY3RE-> (Дата обращения: 9.02.2025). – Картинка.
9. 10 самых быстрых поездов в мире. Дата введения: 24.10.2015. – URL <https://www iPhones.ru/iNotes/492937> (Дата обращения: 10.02.2025). – Картинка.
10. Парфенова Мария. Скорость по-корейски. – 6 полоса Восток | Проект. – Гудок, (Дата выпуска: 15.02.2010). [Электронный ресурс]. – URL <https://gudok.ru/newspaper/?ID=696114> (Дата обращения: 11.02.2025). – Текст: электронный.
11. Соломин А.В. Система магнитолевитационного транспорта со стабилизацией воздушного зазора // Известия высших учебных заведений. Электромеханика: научно-технический журнал. / Южно-Российский государственный технический университет. – 2019. – №5. – 88-93с. (Дата обращения: 12.02.2025).
12. Фролова Ольга. Магнитопланы: почему самые скоростные поезда в мире есть только в трех странах Азии // Журнал: Travel ask. – 2018. URL

<https://travelask.ru/blog/posts/10345-magnitoplany-pochemu-samyie-skorostnyie-poezda-v-mire-est-tolk> (Дата обращения: 13.02.2025). – Картинка.

13. Шанхайский маглев. Дата введения: 09.06.2010. – URL: <https://ru-railway.livejournal.com/1035486.html> (Дата обращения: 15.02.2025). – Текст: электронный.
14. Хайатт Кайл. Bombardier представляет гибридный пассажирский поезд на батареях // Журнал: CNET. – 14.09.2018. URL <https://www.cnet.com/roadshow/news/bombardier-germany-electric-hybrid-train/> (Дата обращения: 16.02.2025). – Картинка.
15. Киселев И.П. Высокоскоростной сухопутный транспорт: состояние и перспективы // Журнал: транспорт Российской Федерации. / Текст научной статьи по специальности: строительство и архитектура. – 2010. -№6(31). – 61-65с. (Дата обращения: 18.02.2025).

### References:

1. The fastest train in the world. Date of introduction: 26.08.2018. – URL: <https://dzen.ru/a/W4K35102sACvnpDX> (Date of access: 2.02.2025). – Text: electronic.
2. Half-wave single-phase rectification circuit on a thyristor. Date of introduction: 21.08.2015. – URL [https://studopedia.ru/15\\_126272\\_odnopoluperiodnaya-odnofaznaya-shema-vipryamleniya-na-tiristore.html](https://studopedia.ru/15_126272_odnopoluperiodnaya-odnofaznaya-shema-vipryamleniya-na-tiristore.html) (Date of access: 2.02.2025). – Picture.
3. Introduction to the insulated-gate bipolar transistor. Date of introduction: 11.12.2023. – URL <https://astol.su/articles/mikroelektronika/bipolyarnyy-tranzistor-s-izolirovannym-zatvorom/> (Accessed: 3.02.2025). – Picture.
4. Weekend in St. Petersburg. Date of introduction: 19.07.2020. – URL [https://dzen.ru/a/Xw3TkBlKjn8cB\\_0k](https://dzen.ru/a/Xw3TkBlKjn8cB_0k) (Accessed: 4.02.2025). – Picture.
5. The first trip of the high-speed train "Sapsan" between St. Petersburg and Moscow took place. Date of introduction: 17.12.2009. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9453/page/564703?id=544> (Accessed: 5.02.2025). – Text: electronic.
6. Bike ride from Roma to Pescara: a concluso lo studio di fettibilita che riguarda la ferrovia teatina. Date of introduction: 13.02.2021. – URL <https://www.chietitoday.it/economia/studio-lavori-velocizzazione-ferrovia-treni-roma-chieti-pescara.html> (Date of access: 7.02.2025). – Picture.
7. ETR 1000: Italian high-speed electric train. Date of introduction: 03.09.2020. – URL: <https://all-andorra.com/ru/poezd-etr-1000/> (Date of access: 9.02.2025). – Text: electronic.
8. Why is the upper part of the current collector of an electric locomotive or tram bent downwards at the edges, resembling a ski. Date of introduction: 09/04/2022. – URL <https://dzen.ru/a/YxST4FDeuXIY3RE-> (Accessed: 02/09/2025). – Picture.
9. 10 fastest trains in the world. Date of introduction: 10/24/2015. – URL <https://www.iphones.ru/iNotes/492937> (Accessed: 02/10/2025). – Picture.
10. Parfenova Maria. Speed in Korean. – 6th lane East | Project. – Gudok, (Release date: 02/15/2010). [Electronic resource]. – URL <https://gudok.ru/newspaper/?ID=696114> (Accessed: 11.02.2025). – Text: electronic.

11. Solomin A.V. Magnetic levitation transport system with air gap stabilization // News of higher educational institutions. Electromechanics: scientific and technical journal. / South-Russian State Technical University. – 2019. - No. 5. – 88-93s. (Accessed: 12.02.2025).
12. Frolova Olga. Magnetoplans: why the fastest trains in the world are only in three Asian countries // Magazine: Travel ask. – 2018. URL <https://travelask.ru/blog/posts/10345-magnitoplany-pochemu-samye-skorostnye-poezda-v-mire-est-tolk> (Accessed: 13.02.2025). – Picture.
13. Shanghai Maglev. Introduction date: 09.06.2010. – URL: <https://ru-railway.livejournal.com/1035486.html> (Accessed: 15.02.2025). – Text: electronic.
14. Hyatt Kyle. Bombardier unveils battery-powered hybrid passenger train // Magazine: CNET. – 14.09.2018. URL <https://www.cnet.com/roadshow/news/bombardier-germany-electric-hybrid-train/> (Accessed: 16.02.2025). – Picture.
15. Kiselev I.P. High-speed land transport: status and prospects // Journal: transport of the Russian Federation. / Text of the national article in the specialty: construction and architecture. – 2010. -№6(31). – 61-65s. (Accessed: 18.02.2025).