

УДК 629.423.31

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ**
APPLICATION OF ELECTRIC MOTORS IN RAILWAY TRANSPORT

Д.А. Русаков, А.А. Супрунюк

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Республика Беларусь

D. Rusakov, A. Suprunyuk,
Supervisor - S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: рассмотрено применение электродвигателей различной конструкции в подвижном составе железнодорожного транспорта, особенности управления двигателями, а также приведены примеры двигателей, разрабатываемых в обозримом будущем.

Abstract: the application of electric motors of various designs in the rolling stock of railway transport, the features of engine control are considered, and examples of engines being developed in the foreseeable future are also given.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, тяговый трансформатор, контроллер машиниста, контактная сеть, регулировка частоты вращения.

Keywords: traction electric motor, traction transformer, driver controller, contact network, speed control.

Введение

Первые электродвигатели появились в 20-е годы 19 века и были опытными образцами. К этому времени, железнодорожный транспорт существовал уже почти век и использовал для передвижения паровые и бензиновые двигатели. Самые первые прототипы железнодорожного транспорта на электротяге стали появляться в 80-е года 19 века (1875 - первый экспериментальный трамвай Пирожского; 1879 – первый экспериментальный электровоз Сименса). Обширно электродвигатели стали применяться уже с начала 20 века.

Первые электровозы в СССР появились в 1932 году на Коломенском машиностроительном заводе. Перед инженерами стояла задача создать электровоз мощностью, достаточной для преодоления уклонов при большой массе груза.

Основное преимущество электрических двигателей перед паровыми и ДВС заключается в практически неограниченной тяговой мощности, поскольку питание двигателя осуществляется по контактной сети.

Основная часть

Основных требований к ТЭД два: они должны обеспечивать плавную регулировку частоты вращения в широких пределах и регулировку силы тяги (вращающего момента). Поэтому в дополнение к такому двигателю всегда идёт система управления.

Основной вид применяемых двигателей – тяговый двигатель постоянного тока. Намного реже используются трёхфазные электродвигатели, поскольку их

питание и управление осложнено. Однофазные двигатели не получили широкого распространения, т.к. для их питания необходимо напряжение пониженной частоты (50/3 и 25 Гц). Особенность двигателя постоянного тока – его стойкость к пульсациям после выпрямления переменного тока (у железных дорог постоянного тока такого недостатка нет). Двигатели пульсирующего тока делают многополюсными и снабжают дополнительными шихтованными полюсами, вставками в ярме и компенсационной обмоткой для уменьшения искажения основного потока от реакции якоря. Тип применяемого возбуждения – независимое либо последовательное.

Рассмотрим конструкцию ДПТ НБ-418К6 (рисунок 1, 2).



Рисунок 1 Внешний вид НБ-418К6

Потребляемая мощность – 790 кВт, напряжение коллектора – 950 В, номинальный ток якоря – 880 А.

Охлаждение двигателя происходит за счёт вентилятора, подключенного к внутренней электросети. Воздух проходит как в воздушном зазоре, так и по пустотелому коллектору. Остальная конструкция особо не отличается от обычных двигателей на постоянном токе:

- отлитый из стали остов (ярмо) с двумя смотровыми люками и дополнительными рёбрами жёсткости;
- главный полюс (в количестве 6 пар), сердечник которого выполнен из шихтованной стали, катушки имеют по 11 витков;

- добавочные полюса с такими же шихтованными сердечниками и 8 витками в катушке;
- компенсационные обмотки;
- щётки с трёхпальцевым щёткодержателем;
- шихтованный якорь, выполненный из электротехнической стали листами по 0,5мм;
- коллектор арочного типа, набранный из 348 медных пластин, изолированных миканитовыми пластинками;
- петлевая обмотка якоря (87 якорных катушек и 58 катушек уравнивателей);
- подшипники и подшипниковые щиты, а также траверса для крепления двигателя.

Основное питание двигателя получают от контактной сети. Электроснабжение железной дороги может выполняться как постоянным током (до 3 кВ), так и переменным (25-27,5 кВ)

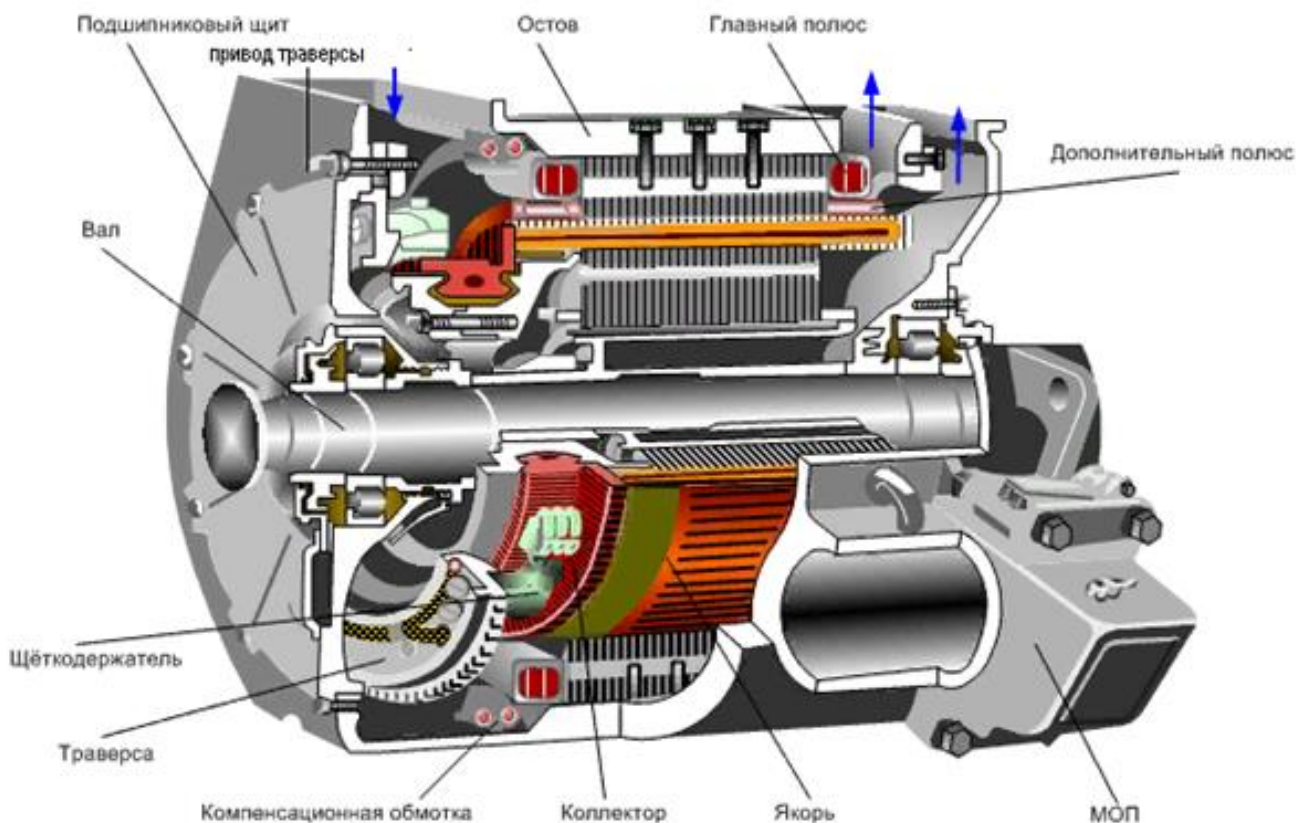


Рисунок 2 Конструктивные элементы НБ-418К6

Преимущества постоянного тока состоит в том, что сеть позволяет практически напрямую снабжать двигатель электроэнергией, не прибегая к использованию трансформаторов и выпрямительных устройств. Этот метод использовался в СССР ещё с 1930-х годов, а в странах Европы – ещё на несколько десятилетий раньше. Обусловлено это было невозможностью выпрямления тока на самих электровозах из-за отсутствия компактных выпрямителей.

Для питания подобных дорог используются тяговые подстанции постоянного тока. Такой выпрямленный ток (полученный из 3-хфазного) практически не имеет пульсаций, что хорошо сказывается на режиме работы двигателя (рисунок 3).

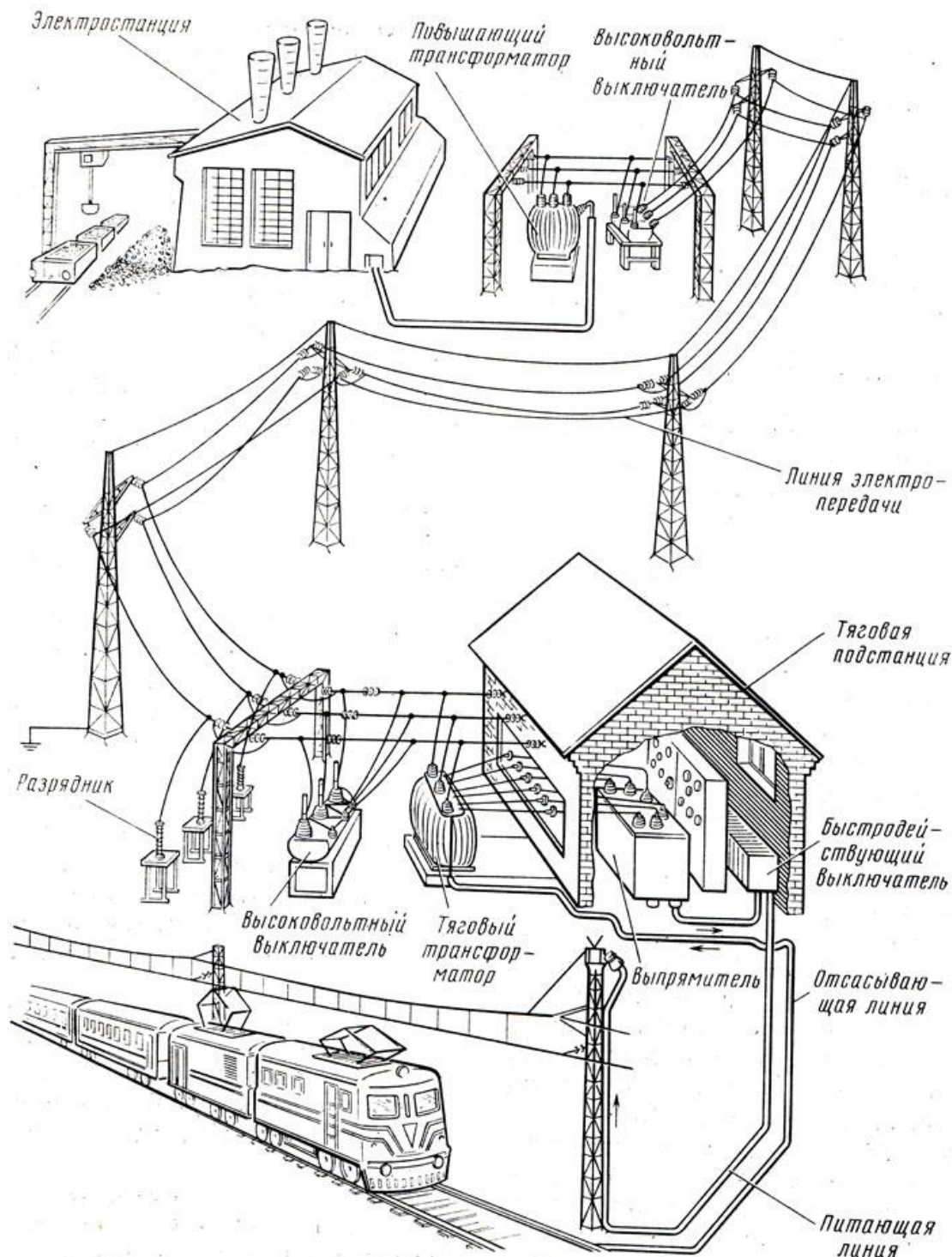


Рисунок 3 Система электроснабжения постоянного тока

Однако, передача электроэнергии на постоянном токе сопряжена с большими потерями, нежели на переменном.

С появлением полупроводников элементов, стало возможным конструирование выпрямителей на самих электровозах. Потери при передаче уменьшились, однако качество выпрямленного тока упало: появились несглаженные пульсации. Применение электрических фильтров позволило решить эту задачу. Теперь на электровоз подавалось переменное напряжение, которое затем трансформировалось в более низкое и выпрямлялось, после чего поступало на двигатель.

В современных поездах возможно осуществлять питание и асинхронных двигателей. На данный момент времени анализируется возможность применение для этого трёхфазной системы электроснабжения. Вопрос остается в сложности осуществления такой контактной сети (рисунок 4).

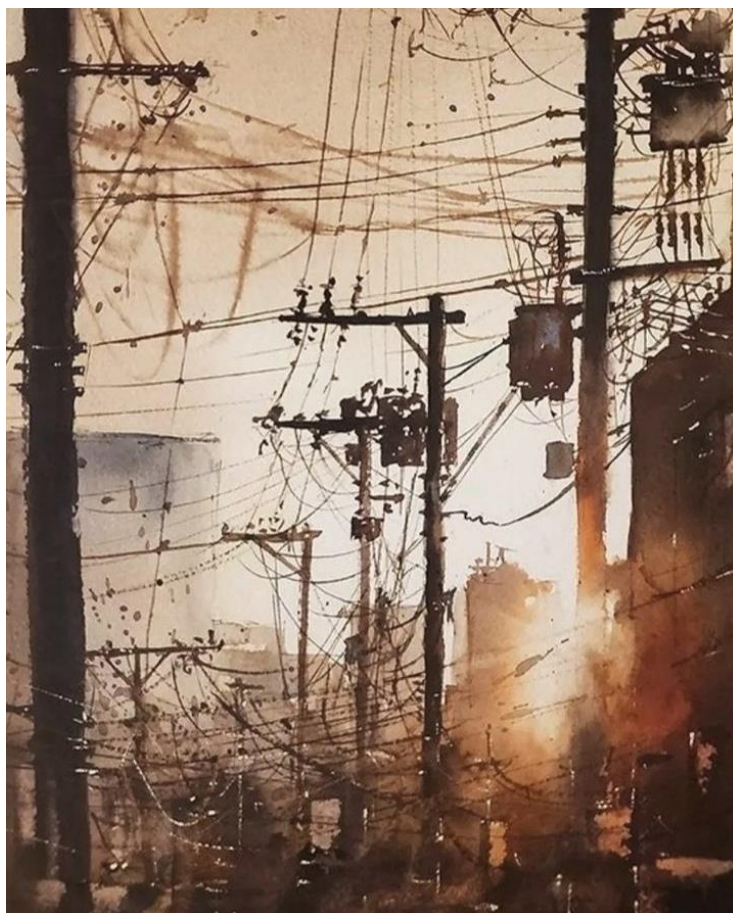


Рисунок4 Гипотетическая трехфазная контактная сеть

Контактная сеть была бы очень сложной конструкции. Однако есть возможность снабжать электроэнергией двигатели через однофазную контактную сеть, используя асинхронные фазорасщепители, которые превратят ток в 3-фазный. Такая система применяется в новейших электровозах, а также для питания вспомогательных двигателей (вентиляторы и компрессоры).

Основное требование к двигателям – возможность плавной регулировки частоты вращения и регулировка силы тяги. Все управляющие действия производятся со специального многопозиционного коммутационного аппарата. Ча-

стоту вращения двигателя регулируют путём изменения либо магнитного потока возбуждения, либо подводимого напряжения.

В первом случае в двигателях с последовательным возбуждением применяется ослабление возбуждения с помощью подключения многосекционного резистора, включая и отключая секции которого, машинист регулирует ток обмотки возбуждения. Как правило, применяют 3-4 ступени ослабления.

Во втором случае применяется сразу несколько методов:

1) Изменение схемы соединения двигателей (рисунок 5). На транспорте всегда установлено кратное двум количество электродвигателей (по одному на колёсную пару). Их соединение может быть как последовательным, так и параллельным, так и смешанным. На схеме показан самый простой пример изменения подводимого напряжения.

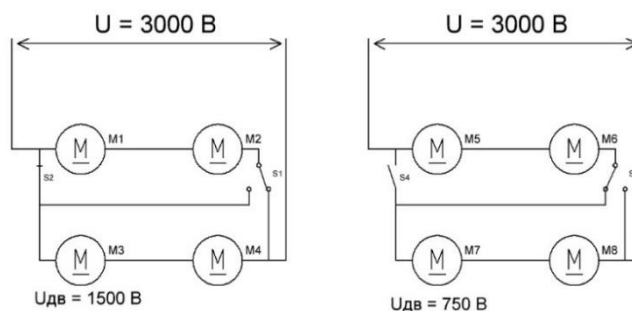


Рисунок 5 Схема соединения двигателей

2) Регулирование напряжения на стороне высшего напряжения тягового трансформатор, для чего используют дополнительную регулировочную обмотку, которая изменяет наводимый в магнитопроводе магнитный поток (рисунок б).

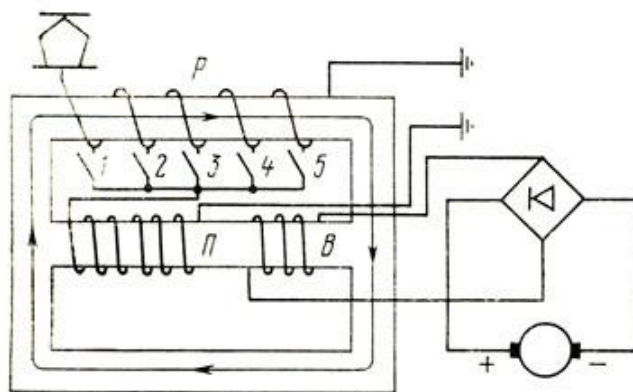


Рисунок 6 Схема регулировки высшего напряжения ТТ

Замыкая поочерёдно контакты с 5 по первый, увеличивают поток в центральном стержне, тем самым увеличивают напряжение на низшей стороне.

3) Регулирование напряжения на стороне высшего напряжения тягового трансформатора. Обмотка низшей стороны трансформатора (регулирующая) состоит из 30-35 отдельных секций. Эти секции переключают и соединяют с использованием переходных реакторов.

Пуск двигателя осуществляется посредством использования пусковых реостатов.

Среди особых режимов работы тяговых электродвигателей можно выделить реостатное и рекуперативное торможение, а также реверсивное движение.

1) При реостатном торможении ТЭД отключают от сети и включают на тормозные резисторы. Применяют две системы реостатного торможения: с независимым возбуждением и с последовательным самовозбуждением двигателей (рисунок 7).

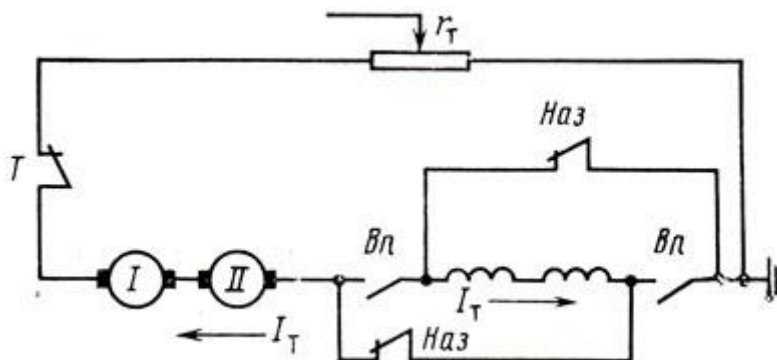


Рисунок 7 Схема реостатного торможения

Во время реостатного торможения каждую группу двигателей, соединенных последовательно, можно включить на отдельную секцию реостата. Тормозную силу регулируют, изменяя ток в обмотке возбуждения путем изменения сопротивления пускового реостата.

2) Рекуперативное торможение В случае рекуперативного торможения энергия, возвращаемая в сеть рекуперирующим электровозом, потребляется электровозами, находящимися с ним на одном участке и работающими в тяговом режиме. Это позволяет не перегружать сеть.

Если потребителей нет, то избыточная энергия направляется в энергосистему через устанавливаемые на тяговой подстанции инверторы, а если почти вся энергия расходуется на участке – то на поглощающие резисторы, установленные на той же подстанции. Применение рекуперации дает большой эффект: порой может быть сэкономлено до 20% электроэнергии, а также значительно уменьшается износ тормозных колодок и колес подвижного состава.

Для перехода двигателя из тягового в генераторный режим необходимо, чтобы ЭДС в обмотке якоря стала больше приложенного напряжения. Для этого сначала обмотки возбуждения отключают от обмоток якорей и запитывают от стороннего источника – генератора возбуждителя (это делается, поскольку двигатель с последовательным возбуждением не может перейти в режим генератора – при уменьшении нагрузки поток возбуждения резко падает и ЭДС не может стать выше напряжения в сети). В этом случае можно установить в обмотках возбуждения такой ток, при котором ЭДС в обмотках якорей тяговых двигателей станет больше подведенного напряжения.

3) Реверсирование – изменение направления вращения электродвигателей (необходимо для изменения направления движения) (рисунок 8)

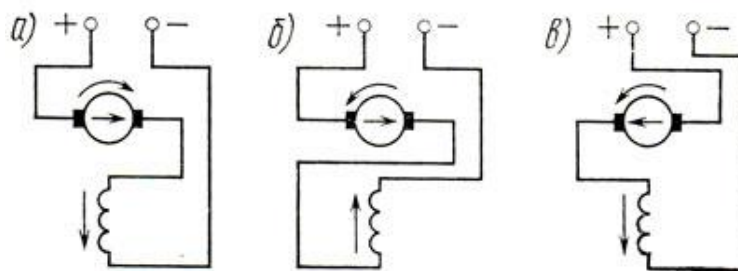


Рисунок 8 Схема реверсивного торможения

Перспективы развития тяговых двигателей

Система импульсного регулирования напряжения. Регулировка, производимая путём изменения тока возбуждения, и регулировка на низшей стороне трансформатора имеют недостаток – ступенчатость. Достигнуть плавного изменения скорости работы двигателя стало возможным, внедрив в эксплуатацию импульсные преобразователи на базе тиристоров.

Применение асинхронных двигателей. Недостатки коллекторных двигателей постоянного тока инженеры предложили решить путем введения в эксплуатацию асинхронных двигателей. Недостатком является сложности их питания, так как трёхфазная контактная сеть трудноосуществима). Появление мощных компактных инверторов и фазоразщепителей позволяет решить эту проблему. А комбинация таких устройств с импульсными регуляторами позволила решить и вопрос со ступенчатой регулировкой частоты вращения асинхронных электродвигателей.

Комбинированное питание. Поскольку железные дороги снабжаются токами двух родов, было бы логично сконструировать такой электровоз, который смог бы беспрепятственно менять род питания прямо «на ходу». Такое достигается, внедрением в силовую цепь питания асинхронного двигателя одновременно фазоразщепителей для контактных сетей переменного тока и инверторов для сетей постоянного тока. Снабдив подвижной состав специальным переключателем, можно решить вышеуказанную проблему.

Заключение

На сегодняшний день эксплуатируются два поколения подвижного состава (ЖД, метро). Старое поколение использует уже зарекомендовавшие себя на практике двигатели постоянного (импульсного) тока, новое – асинхронные двигатели с импульсным регулированием и комбинированным питанием. Новые двигатели, безусловно, обладают как рядом преимуществ, так и рядом недостатков – ремонт современных двигателей сложнее, а выйти из строя они могут в самый неподходящий момент (этому способствует большое количество силовой электроники, которая, к тому же, находится в сильных магнитных полях).

Ещё в 2000 году в России разрабатывался электропоезд со всеми перечисленными нововведениями, однако в серию проект так и не был запущен. Сегодня подобные “новинки” уже используются на поездах фирм Stadler, Siemens, Трансмашхолдинг. Однако большая часть подвижного состава до сих пор используют ДПТ со ступенчатым регулированием обмоткой возбуждения как более надёжные.

Литература

1. Как устроен и работает электровоз / Н. И. Сидоров, Н. Н. Сидорова; Под редакцией И. К. Петушкова – М.: Издательство “Транспорт”, 1988. – 223 с.
2. Электровоз ВЛ80с: руководство по эксплуатации / Н. М. Васько, А. С. Девятков, А. Ф. Кучеров и др.; – М.: Издательство “Транспорт”, 1990. – 454 с.
3. Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь. – М.: Энергопресс, 2022, 762 с.