

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Модернізація рухомого складу, при проведенні капітального ремонту, має виконуватись з урахуванням сучасних наукових досягнень. У даній статті доведена принципіальна можливість переведення приміського руху на електротягу на неелектрифікованих лініях при використанні на рухомому складі сучасних накопичувачів енергії.

Модернизация подвижного состава, при проведении капитального ремонта, должна производиться с учетом современных научных достижений. В данной статье доказана принципиальная возможность перевода пригородного движения на электротягу на неэлектрифицированных линиях при использовании на подвижном составе современных накопителей энергии.

The rolling stock modernization, during conduction of a major overhaul, should be made taking into account modern scientific achievements. In the article the basic possibility of transfer of suburban traffic on electric traction on non-electrified lines with the use of modern energy accumulators on the rolling stock is proved.

Введение

Как известно из практики, перевозки пассажиров на железнодорожном транспорте низкорентабельны.

Еще со времен Советского Союза на Белорусской железной дороге на неэлектрифицированных линиях используются только дизельпоезда производства Рижского вагонзавода (Латвия), и в меньшей степени, дизельпоезда Демеховского завода (Россия). Однако и те и другие выработали свой ресурс и требуют замены либо дорогостоящего ремонта. Стоит вопрос о покупке нового подвижного состава, однако Демеховский завод не успевает обеспечивать подвижным составом железные дороги России, а Рижский завод выставляет для продажи дизельпоезда разработки пятидесятих годов прошлого века по цене самолета современной конструкции.

Вопрос не так остро стоит в цене, сколько в целесообразности закупки данного подвижного состава. Посмотрим на соседей. На Южной железной дороге из общего числа перевезенных пассажиров в пригородном движении 81,7 % перевезено на электротяге, на Юго-Западной – 93 %, на Белорусской – 60 %. С цифрами не поспоришь. Безусловно, электрификация – дело довольно дорогое и на малоделятельных участках не всегда экономически оправдано.

Предлагается: *при производстве капитального ремонта применять на дизельпоездах новейшие научные разработки для уменьшения потребления топлива и постепенный переход*

на электротягу на неэлектрифицированных участках.

Общий подход к проблеме

Дизельные двигатели, применяемые на подвижных единицах, имеют КПД около 40 %, но это на номинальных режимах. К примеру, на первой позиции контроллера машиниста КПД составляет всего 7 %, об этом обычно умалчивают. А ведь дизельпоезд на номинальном режиме работает не более 2 % времени эксплуатации. Получается, что при недоиспользовании мощности идет явно расточительное расходование дизельного топлива.

Применение двигателя малой мощности, но работающего на номинальном режиме, решило бы эту проблему. При этом необходимо иметь накопитель энергии, который будет способен отдавать ее в момент пиковых нагрузок, а для дизельпоезда – это момент разгона.

Общие принципы решения проблемы

Дело в том, что дизельпоезд работает по циклу: разгон, выбег, торможение, стоянка и далее снова разгон. Мощность дизельного двигателя используется только во время разгона, но это время обычно не превышает 20 % времени цикла, в остальное время дизель работает в режиме холостого хода. Как известно, дизельный двигатель плохо работает на переходных режимах, что приводит к повышению выбросов вредных веществ в атмосферу, и интенсивному износу деталей самого двигателя. При-

менив накопители энергии, можно избежать данных недостатков.

Применение на дизельпоездах распределенной тяги (электродвигатели на каждой колесной паре) поможет избавиться еще от одного недостатка – боксования при разгоне, а также возможно будет применить рекуперацию, что невозможно при гидромеханической передаче мощности на современных дизельпоездах

Современный рынок предоставляет множество как традиционных (аккумуляторы), так и новых (конденсаторы, супермаховики) накопителей энергии. В практической работе могут быть использованы следующие возможные варианты применения накопителей энергии на железнодорожном транспорте, их достоинства и недостатки.

Наиболее широко распространены сравнительно недорогие свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (АБ). Они достаточно долговечны по числу допустимых циклов «заряд – разряд», но имеют сравнительно низкую удельную энергию ($W < 120$ кДж/кг). Распространены также щелочные никель-железные и никель-кадмиевые АБ, для которых $W < 150$ кДж/кг. Разработаны никель-кадмиевые и серебряно-цинковые АБ. Они превосходят свинцово-кислотные АБ по мощности в 2 и 3 раза соответственно, но значительно дороже. Никель-кадмиевые АБ существенно долговечнее, чем свинцово-кислотные. Серебряно-цинковые АБ отличаются небольшим числом циклов «заряд – разряд», но обеспечивают высокий КПД, около 0,75 при большой скорости разряда.

В последние годы разработаны химические АБ на основе аккумуляторных элементов с использованием никеля, серы, натрия, лития и др. Никель-цинковые щелочные АБ имеют $W > 200$ кДж/кг, но их долговечность мала. Повышение долговечности достигается в газодиффузионных никель-водородных АБ, в которых $W > 250$ кДж/кг. Еще более высокий показатель ($W > 500$ кДж/кг) имеют серно-натриевые АБ, но их ресурс составляет 100...200 циклов «заряд – разряд». Дальнейшее повышение W теоретически до значений 10^3 кДж/кг возможно в литиевых АБ, но их недостаток – малый ресурс вследствие высокой коррозионной активности Li. В последнее время появились так называемые «угольные» аккумуляторы. Они занимают промежуточное положение между традиционными конденсаторами и химическими источниками тока. По сравнению с конденсаторами, угольные аккумуляторы

имеют на порядок более высокую удельную энергию $W > 20$ кДж/кг, но, к сожалению, пока не доработаны и не выпускаются промышленностью в большом объеме.

Конденсаторные батареи широко применяются для стабилизации напряжения и в последние годы стали применяться на городском электротранспорте для рекуперации, но пока еще не очень широко из-за низкой удельной энергии $W < 2$ кДж/кг. В последних публикациях на сайтах в интернете говорится о том, что разработаны конденсаторы с удельной емкостью $W > 5$ кДж/кг; согласитесь, что это пока очень мало для применения их в качестве тяговых. Однако, необходимо признать, что конденсаторные батареи имеют и очень большие достоинства: высокий срок службы – более 20 лет, необслуживаемые, имеют КПД $> 0,9$, практически не ограничено количество циклов «заряд – разряд», работают при любой температуре и что самое главное – могут быстро отдавать энергию и так же быстро заряжаться.

Возможно накопление энергии и на так называемых «супермаховиках», этому изобретению уже более 2500 лет, но, к сожалению, и до настоящего времени применение его ограничено по ряду причин, которые здесь рассматриваться не будут.

Возникает вопрос, что даст применение накопителей энергии на подвижной единице, которую мы выбрали для рассмотрения возможных вариантов. Во-первых, это даст возможность уменьшить мощность дизель-генераторной установки, поскольку она будет работать постоянно на накопитель энергии, а тяговые двигатели будут питаться уже от накопителя. Во-вторых, двигатель, работая в режиме постоянной нагрузки, примерно в 10 раз меньше будет выбрасывать вредных веществ в атмосферу, чем на переходных режимах. В-третьих, и это самое главное, возможна рекуперация энергии, т.е. превращение потенциальной и кинетической энергии при торможении в тот вид энергии, на котором работает накопитель, для дальнейшего использования при разгоне.

Маховик отдает свою энергию генератору, который вырабатывает электрический ток, который в свою очередь, вращает электродвигатель, находящийся на колесной паре. В это время дизель-генератор вырабатывает электрический ток и работает в паре с генератором на супермаховике, помогая развить заданную скорость.

При выбеге и стоянке: дизель-генератор вырабатывает электрический ток, а генератор, ра-

ботая в режиме двигателя, разгоняет супермаховик.

При торможении электродвигатель на колесной паре вырабатывает электрический ток, превращая кинетическую энергию подвижной единицы в электрическую. Затем в энергию вращения супермаховика, ввиду того, что электрические машины, в принципе, обратимы и при торможении электродвигатель имеет возможность вырабатывать электрический ток, который вращает генератор, работающий в режиме двигателя. В это время дизель-генератор, вырабатывая электрический ток, помогает раскручивать супермаховик.

Необходимо оценить количество энергии, которое необходимо запасти на супермаховике, или точнее сказать – возможно запасти. От этого зависит и мощность дизель-генераторной установки. Итак, к примеру, возьмем самый известный и самый надежный на сегодняшний день супермаховик:

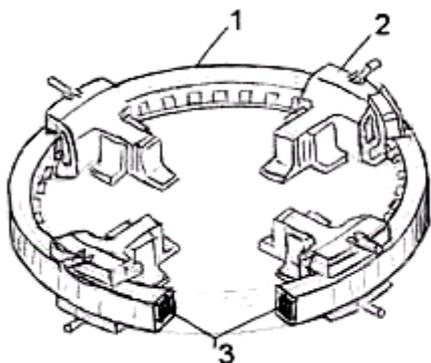


Рис. 1. Кольцевой накопитель с супермаховиком:

1 – вакуумированный корпус,

2 – магнитные активные опоры, совмещенные со статором линейного двигателя,

3 – кольцевой супермаховик из сверхпрочного волокна

Рассчитаем накапливаемую энергию на данном супермаховике:

$$T = \frac{J\omega^2}{2},$$

где J – момент инерции, ω – угловая скорость.

$$J = mr^2,$$

где m – масса маховика, r – расстояние от центра.

$$\omega = 2\pi n,$$

где n – частота вращения.

Подставляя в формулу, получаем:

$$T = 2\pi^2 mr^2 n^2,$$

принимая $r = 1$ м, $m = 500$ кг, $n = 10\,000$ об/мин., или 167 об/с. Число оборотов для расчета берем среднее, поскольку в печати имеется информация о том, что некоторые маховики развивают скорость до 800 000 об/мин., но он на нашем транспортном средстве будет вращаться с переменной скоростью, а значит, будет иметь переменную накопленную энергию.

$$T = 2 \cdot 3,14^2 \cdot 500 \cdot 1^2 \cdot 167^2 \approx 275 \text{ МДж.}$$

Если учесть, что до 50 % кинетической энергии можно рекуперировать, то это число можно умножить еще на 1,5. Расчеты показывают, что энергии, накопленной на маховике, к примеру, на конечной станции при подключении к электросети, достаточно, чтобы совершить рейс в пригородном движении на расстоянии 100...120 км. В связи с этим, дизель-генераторная установка нужна только в качестве резервного источника электроэнергии, для повышения живучести подвижной единицы. При использовании данной дизель-генераторной установки в постоянно работающем состоянии возможно использование супермаховика гораздо меньшей массы и выпускаемого уже промышленно для метрополитена: ЭМНЭ-500. Технические характеристики ЭМНЭ-500: максимальная накапливаемая энергия – 14 МДж, диапазон оборотов вращения – 1500...3000 об/мин. или 25...50 об/с. При этом, достигается одна из главных целей – скорейшее внедрение данной подвижной единицы в строй для уменьшения эксплуатационных расходов, но это будет несколько не моторвагонный подвижной состав, хотя и очень к нему приближен. Для перехода вовсе на электротягу необходимо, остановочные пункты, в зависимости от профиля, через один или через два, оборудовать контактным рельсом по типу метро в месте остановки данного транспортного средства, для подачи электричества на подвижную единицу и раскрутки маховика до максимальных оборотов. Дело в том, что Белорусская железная дорога имеет в основном равнинный профиль и затраченная энергия на преодоление подъема, т.е. повышение потенциальной энергии, возвращается, превращаясь в кинетическую, т.е. для приблизительных расчетов затраты на преодоление подъемов можно не учитывать. При применении накопителей энергии и возможности рекуперации можно предположить, что

этой энергии наверняка хватит на преодоление различных видов сопротивлений. В этом случае, формула для оценки необходимой энергии на передвижения данного транспортного средства по участку будет выглядеть следующим образом:

$$\mathcal{E} = N \times \Delta K,$$

где N – количество остановок на участке.

К примеру, на участке Гомель – Калинковичи дизель-поезд совершает 26 остановок, при этом

$$\mathcal{E} = 26 \cdot 4,9 = 127,4 \text{ МДж.}$$

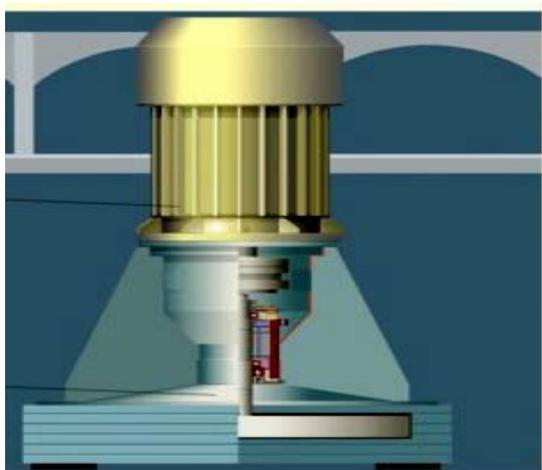


Рис. 2. Общий вид накопителя ЭМНЭ-500

Следовательно, для нормальной работы данной подвижной единицы необходимо оборудовать контактным рельсом каждый третий остановочный пункт для раскрутки супермаховика, либо установить два накопителя ЭМНЭ-500 на подвижной единице, что даст возможность сократить количество остановочных пунктов с контактным рельсом вдвое, ну а самый выгодный способ – применить накопитель с дисковым маховиком. В этом случае, запасенной энергии хватит для того, что бы из Гомеля доехать да ст. Калинковичи и вернуться обратно.

Рассмотрим теперь вариант применения накопителей электрической энергии. Применение конденсаторов на подвижной единице ограничено по той простой причине, что если мы поставим задачу использовать их в качестве тяговых, то, имея удельную емкость в 1 кДж/кг, они не только займут весь объем, но и сама подвижная единица не сможет тронуться с места из-за веса конденсаторов. Мы уже рассчитали: чтобы просто ехать на конденсаторной батарее на протяжении 100 км, необходима энергия 127 МДж, а это 127 тонн конденсаторов. Как видим, применение только конденсаторных батарей на подвижной единице невозможно.

Рассмотрим применение аккумуляторных батарей. Возьмем современные аккумуляторные батареи, необслуживаемые, со сроком гарантии 10 лет, произведенные по технологии AGM и стартовым током 750 А, емкостью 55 А·ч, весом 20,2 кг., напряжением 12 В. Эти стартовые аккумуляторные батареи выбраны не случайно, дело в том, что при разгоне необходим большой стартовый ток. Рассчитаем мощность, заложенную в аккумуляторе. Обычно при соединении аккумулятора на нагрузку его напряжение падает, выберем среднее – 10 В.

$$W = 55 \cdot 10 \cdot 3600 = 1,98 \text{ МДж.}$$

Известно, что чем больше ток нагрузки, тем меньше мощности может отдать аккумулятор, и этот диапазон очень широкий – от 100 % до 15 %, в зависимости от силы тока, из-за того, что химические процессы не успевают протекать так быстро, как хотелось бы. Кроме того, заявленный стартовый ток аккумулятор способен отдать только в течение 20...30 с., далее ток падает. Зависимость тока конденсатора и аккумулятора от времени представлена на рис. 3.

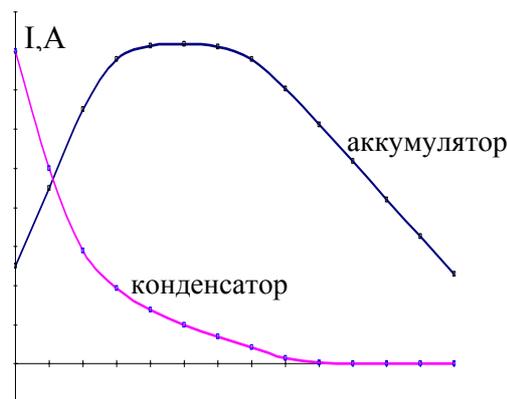


Рис. 3. График изменения тока от времени у аккумулятора и конденсатора

Как видно из рис. 3, применение параллельно конденсатора и аккумулятора очень эффективно, поскольку в первые секунды разгона, когда аккумулятор еще не набрал номинальной мощности, конденсаторная батарея своим «энтузиазмом» уже разгоняет транспортное средство до некоторой скорости, которая зависит от уклона, далее нагрузку на себя берет аккумулятор.

Однако, постояв некоторое время без нагрузки, аккумулятор способен снова выдать большой ток, следовательно, в период выбега, торможения и стоянки, аккумулятор способен будет восстановить свою емкость. Итак, учитывая, что для передвижения по участку нам не-

обходима мощность в 127,4 МДж, получаем: $N = 127,4/1,98 = 64$ аккумулятора, или 1,3 т веса. Принципиально, это приемлемый вес для данной подвижной единицы. Учитывая возможность рекуперации от 30 до 50 % кинетической энергии, возможно даже снижение указанного веса. Однако, уменьшение количества аккумуляторов менее 60 невозможно из-за того, что двигатели работают при напряжении 600 В. Для этого необходимо соединить последовательно 60 аккумуляторов. К сожалению, аккумулятор невозможно подзарядить за короткое время стоянки, поскольку ток зарядки аккумулятора не может превышать 0,1 от заявленной мощности, т.е. не более 5,5 А на аккумулятор. Нетрудно подсчитать, что в случае соединения 60 аккумуляторов последовательно, для создания 600 В на выходе, ток зарядки в этом случае не может превышать 5,5 А. Мощность, переданная для зарядки аккумуляторных батарей, будет очень маленькой. Но, если переключить схему и соединить аккумуляторы в параллельное соединение, то при заряде напряжением 12 В и током 5,5 А мы сможем за время стоянки в 3 мин. передать мощность $W = 120 \cdot 12 \cdot 5,5 \cdot 180 = 1425600$ Дж, или 1,4 МДж. Как видим, передаваемой мощности недостаточно для разгона. Для зарядки хотя бы до мощности, необходимой для разгона, стоянка должна быть не менее 10 мин., что, безусловно, невозможно. Но дело осложняется еще и тем, что при частых и глубоких зарядах и разрядах аккумуляторы не вырабатывают даже свой гарантийный срок. Большой ток в период разгона губительно действует на пластины аккумулятора, здесь нужна вспышка «энтузиазма», которым обладает конденсаторная батарея. Желательно, одновременно с аккумуляторной батареей, иметь на подвижной единице и конденсаторную батарею на первые несколько секунд разгона для улучшения работы аккумуляторной батареи. При этом отпадает необходимость дозарядки аккумулятора на промежуточных станциях. Если принять мощность конденсаторной

батареи равной мощности, необходимой для разгона, т.е. 4,5 МДж, то получим массу конденсаторной батареи 4,5 тонны. В этом случае имеем на борту аккумуляторную батарею и конденсаторную батарею, общей массой около 6 тонн. Конденсатор будет подзаряжаться при рекуперативном торможении частично и окончательно на стоянке от аккумулятора малым током, что, несомненно, благоприятно для аккумулятора. Аккумулятор в этом случае будет заряжаться основательно на конечных пунктах оборота.

И все-таки, автор уверен, что дизель-генераторная установка на данном транспортном средстве, в качестве резервной, будет далеко не лишней.

Выводы

Таким образом, по результатам расчетов напрашивается вывод о принципиальной возможности применения моторвагонного подвижного состава на неэлектрифицированных линиях железных дорог, при небольшой их модернизации. А также о целесообразности применения распределенной тяги на дизельпоездах, для чего во время капитального ремонта необходимо производить модернизацию данного подвижного состава для уменьшения потребления топлива на перевозку пассажиров и постепенного перехода на электротягу на неэлектрифицированных линиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин Н. М. Электрооборудование автомобилей / Н. М. Ильин, Ю. Л. Тимофеев, В. Я. Ваняев. – М.: Транспорт, 1982.
2. За рулем, 2004. – № 11. – С. 144-146.
3. За рулем, 2004. – № 12. – С. 118-120.
4. Сотников И. Б. Эксплуатация железных дорог. – М.: Транспорт, 1990.

Поступила в редколлегию 24.04.2008.