

# ВАГОНЫ МЕТРОПОЛИТЕНА МОДЕЛИ 81-540.7/541.7 С ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ

**В. А. Петров, А. Г. Николаев**  
(ООО "ТОМАК, ЛТД")

**В. А. Мнацаканов,**  
канд. техн. наук

**Т**радиционные тиристорно-импульсные системы управления (ТИСУ) тяговыми двигателями постоянного тока и инверторные системы управления (ИНСУ) асинхронными тяговыми двигателями (АД) создают пульсации тягового тока. На вагонах метрополитена, оборудованных этими системами, приходится устанавливать фильтры массой от 1 до 1,5 т, чтобы ограничивать мешающее влияние пульсаций на работу систем сигнализации и связи метрополитена. Непроизводительные потери электроэнергии в фильтрах складываются с электроэнергией, затрачиваемой на их "перевозку" на вагонах, с их собственной стоимостью и стоимостью их обслуживания. Это снижает технико-экономические показатели вагонов.

Каждый вагон мод. 81-540.7/541.7 за счет отсутствия тяжелых фильтров и меньшей, чем у вагонов с ТИСУ или ИНСУ, массы электрооборудования дополнительно перевозит 10-20 пассажиров. Это значит, что метропоезд из 5-8 вагонов мод. 81-540.7/541.7 "бесплатно" перевозит от 50 до 150 человек, т. е. имеет в своем составе "бесплатный" вагон. Для экономики метрополитенов сейчас это очень кстати, поскольку многие пассажиры пользуются льготным проездом.

Затраты в электродепо на ремонт и обслуживание электрооборудования ТИСУ и ИНСУ в несколько раз превышают затраты на эксплуатацию электрооборудования серийных реостатных вагонов. А само обслуживание ТИСУ и ИНСУ не под силу обычному персоналу электродепо. Так, фирме "Альстом" (Великобритания) пришлось взять в аренду электродепо и заменить в нем весь персонал своими специалистами, когда выяснилось, что обычный персонал с обслуживанием поставленных ею вагонов с АД не справляется и что их эксплуатация на линии Лондонского метрополитена приносит убытки.

Вагоны мод. 81-540.7/541.7 не создают в эксплуатации подобных проблем. На них

*К 300-летию г. Санкт-Петербург на ЗАО "Вагонмаши" с участием ОАО "Электросила" и ООО "ТОМАК, ЛТД" были построены вагоны метрополитена мод. 81-540.7/541.7. Их тяговый привод постоянно-го тока оснащен многофункциональными тиристорно-импульсными регуляторами тяги РТМ-350/350. Принципиально новым является то, что регуляторы РТМ-350/350 работают как программируемые контроллеры и не требуют установки на вагоны массивных LC фильтров и сглаживающих дросселей.*



Внешне головные вагоны 81-540.7 отличаются пластиковыми накладками на кабине

применены принципы регулирования тяги, не отличающиеся от принципов работы хорошо знакомого эксплуатационному персоналу реостатно-контактного контроллера. Только контроллер здесь не контактный, а бесконтактный (электронный) и программируемый. Он в десятки раз надежнее в работе, чем контактные аппараты и прост в

обслуживании.

Регуляторы РТМ-350/350 выполняют на вагонах много функций: контролируют тягу в зоне низких скоростей, чтобы удобно, плавно и комфортабельно для пассажиров тронуть вагоны с места, экономично и эффективно регулируют тягу в зоне средних и высоких скоростей и, одновре-

менно с этим, обеспечивают быстродействующую защиту тяговых двигателей в режимах тяги и торможения. В режимах тяги они не дублируют штатную защиту от аварийных режимов, а работают на опережение, предупреждая возникновение аварийных ситуаций. Это повышает безопасность движения вагонов.

При переходе вагонов на выбег обеспечивается плавный сброс тяги, и создаются комфортные условия для поездки пассажиров. Новым качеством тягового привода с РТМ-350/350 является возможность эффективно регулировать тягу вагонов в зоне высоких скоростей без разборки их силовой электрической схемы. Это очень удобно машинистам.

В режиме реостатного торможения регуляторы РТМ-350/350 не допускают перегрузок и повышенных напряжений на коллекторах тяговых машин. Они надежно защищают тяговые двигатели от аварийных режимов.

Проведенные тягово-энергетические испытания показали, что вагоны мод. 81-540.7/541.7 по показателям тяги превосходят все вагоны метрополитена, выпускаемые сегодня отечественной промышленностью. Во время разгонов и торможений были достигнуты заданные техническим заданием ускорения и замедления на уровне 1,23-1,3 м/с<sup>2</sup> и реализованы требуемые ТЗ тормозные пути. Проведенные замеры показали, что динамика разгона у новых вагонов на 5-10% лучше, а расход электроэнергии на тягу на 5-10% меньше, чем у серийных реостатных вагонов и вагонов с ТИСУ.

Расход электроэнергии на тягу у вагонов с АД (при стандартной для испытаний скорости сообщения 48 км/ч) меньше, чем у вагонов мод. 81-540.7/541.7 на 5-10%. Но при реально существующих в эксплуатации скоростях сообщения 40-42 км/ч, вагоны мод. 81-540.7/541.7 будут расходовать электроэнергию меньше, чем вагоны с АД.

Важнейшим в эксплуатации является вопрос надежности тягового привода. Если развитие тяги на метрополитене пойдет по пути замены на вагонах реостатно-контактных контроллеров программируемыми реостатно-бесконтактными контроллерами (РБК), то надежность работы вагонов с РБК по сравнению с ТИСУ повысится в 5-6 раз, а по сравнению с вагонами с ИНСУ - в 1,5 раза.

Вывод о более высокой надежности программируемых РБК по сравнению с ТИСУ основывается на сравнении статистики отказов систем ТИСУ со статистикой отказов электрооборудования серийных реостатных вагонов, у которых, как и у систем с РБК, основным аппаратом регулирования тяги является реостатный контроллер.

Наименование линии	Пробег вагонов, км/мес.	Количество отказов инверторов за 480 тыс. км пробега
Hibiya	7800	1,71
Yurakucho	8800	0,65
Nanboku	8200	0,81
<b>Среднее 3-х линий</b>	<b>8250</b>	<b>1,26</b>
Сокольническая, 4 двигателя ТДМ-1Э	12500	0,35
Превосходство ТДМ-1Э над инверторами «Хитачи»	по интенсивности: <b>12500/8250 = 1,5 раза</b>	по надежности: <b>1,26/0,35 = 3,6 раза</b>

**Примечание: 1,26 - среднее число отказов с учетом пробегов на каждой линии; ТДМ-1Э - коллекторный тяговый двигатель постоянного тока производства ОАО «Электросила»**

Как известно, количество отказов комплекта электрооборудования с ТИСУ в 1999 г. составило 105 на 1 млн км пробега. Согласно статистике, собранной за 1998 г. в электродепо "Черкизово" Московского метрополитена, надежность работы электрооборудования серийных реостатных вагонов метрополитена мод. 81-717.5М/714.5М характеризуется цифрой 54,5 отказа на 1 млн. км пробега. Значит, надежность работы электрооборудования серийных вагонов с реостатно-контактными контроллерами вдвое превосходит надежность работы электрооборудования вагонов с ТИСУ.

Предварительный вывод о том, что программируемые РБК по надежности превзойдут системы ИНСУ, также основан на статистике эксплуатации, представленной в Сертификате аккредитации фирмы "Хитачи", где эксплуатационная надежность изготовленных ею и эксплуатируемых в Японии тяговых инверторов (ИНСУ) характеризуется следующими цифрами:

Анализ табл. 1 показывает, что надежность тяговых двигателей ТДМ-1Э превосходит тяговые инверторы фирмы "Хитачи" в 3,6 раза. И это несмотря на то, что интенсивность их эксплуатации в 1,5 раза превышает интенсивность инверторов. Поэтому заменять более надежные тяговые двигатели постоянного тока менее надежными инверторами не следует.

Для более строгого сопоставления на-

дежности отечественных тяговых систем с РБК с японскими ИНСУ с АД фирмы "Хитачи", к указанным в табл. 1 показателям отказов инверторов прибавим отказы АД, а к отказам тяговых двигателей ТДМ-1Э - отказы РБК.

Статистику отказов АД фирма "Хитачи" в своем Сертификате аккредитации не приводит. Однако с достаточной точностью ее можно представить, пользуясь показателями надежно работающих в эксплуатации тяговых двигателей ТДМ-1Э: почти за год работы на метропоездах Сокольнической линии Московского метрополитена (электродепо "Черкизово") 270 тяговых двигателей ТДМ-1Э при общем пробеге ими 37,6 млн км дали семь отказов. Это всего один отказ на 5 млн км пробега. Отказы, вызванные ненадежной работой коллектора, составили около 40% от общего числа отказов двигателей ТДМ-1Э (три отказа из семи за 37,6 млн км пробега). Поэтому ожидаемое количество отказов АД (за вычетом из общего числа отказов ТДМ-1Э по вине коллектора) составит около 0,2 отказа на 480 тыс. км пробега.

Характерные для вагонов мод. 81-717/714 цифры отказов основных узлов электрооборудования за три года эксплуатации (480 тыс. км пробега) приведены в табл. 2:

Анализ табл. 2 показывает, что доля 4-х тяговых двигателей ТДМ-1Э в числе отказов электрооборудования одного вагона составляет 1,7% и что коллекторный тяго-

	Аппараты управления (переключатели, контроллеры...)	Тяговый двигатель (ТДМ-1Э)	Силовая цепь	Вспомогат. высоковольт. цепи
<b>Количество неисправн. за 3 года</b>	19,5	0,088 ч 4	0,48	0,7
<b>Их доля, %</b>	92,7	1,7	2,3	3,3

вый двигатель является самым надежным среди тяговых аппаратов вагона. Для повышения надежности электрооборудования отечественных вагонов метро в первую очередь следует снижать отказы аппаратов управления: их доля в числе отказов составляет более 90%.

Реостатно-бесконтактные контроллеры наилучшим образом решают именно эту задачу. Они на порядок проще по управлению, алгоритму работы, схемно и конструктивно, чем инверторы (ИНСУ) и работают в гораздо менее напряженных тепловых режимах. Поэтому интенсивность их отказов будет, как минимум, вдвое ниже интенсивности отказов инверторов.

Суммарное количество отказов на одном вагоне при пробеге 480 тыс. км (3 года работы) будет следующим:

Примечание: 0,63 - это половина от 1,26; 0,2 - ожидаемая интенсивность отказов АД; остальные цифры взяты из табл. 1.

Сопоставление суммарных цифр отказов показывает, что отечественный тяговый привод постоянного тока с РБК, собранными (как и инверторы) из импортных комплектующих, будет работать на вагонах метро в 1,5 раза надежнее, чем импортный асинхронный тяговый привод (1,46/0,98 = 1,5).

Если РБК будут собраны из отечественных комплектующих, то их надежность составит 1,86 отказа на 480 тыс. км пробега. Цифра 1,86 получена на основе статистики отказов тиристорных регуляторов РТ-300/300 из отечественных полупроводников, которые уже 25 лет работают на вагонах метро мод. 81-717/714. Суммарное число отказов отечественного тягового привода постоянного тока с РБК из отечественных комплектующих составит 2,21 отказа на 480 тыс. км пробега (см. табл. 3). По надежности работы он практически не уступит импортному асинхронному приводу.

Если принять на веру статистику отказов, представленную в Сертификате аккредитации фирмы "Хитачи", то импортные АД и инверторы совместно будут давать на вагоне метро один отказ за 2 года работы. На линии Nibiya при гораздо меньшей интенсивности эксплуатации подвижного состава, чем в метро, один отказ инвертора на вагоне возникал за 3 года работы: на 20 вагонах за 3 года было зарегистрировано 20 отказов инверторов. При в 1,5 раза большей интенсивности эксплуатации 20 отказов на 20-ти вагонах возникнет за 2 года работы. Значит, в электродепо с парком 150 вагонов отказ инвертора будет возникать, в среднем, один раз в неделю, плюс отказы АД.

Если взять за основу статистику отказов по тяговым двигателям ТДМ-1Э и тиристорным регуляторам РТ-300/300, то полу-

Таблица 3

Тип привода		Отказы РБК и инверторов	Отказы тяговых двигателей	Суммарное число отказов
Привод постоянного тока	импортн. комплект.	контроллер РБК 0,63	0,35	0,98
	отечеств.	контроллер РБК комплект. 1,86	0,35	2,21
Асинхронный	импортн. привод	инвертор ИНСУ комплект. 1,26	0,2	1,46

Примечание: 0,63 - это половина от 1,26; 0,2 - ожидаемая интенсивность отказов АД; остальные цифры взяты из табл. 1.

чится, что отечественный тяговый привод с РБК, собранным из отечественной электроники, будет давать один отказ за 1,5 года работы (по тяговым двигателям и РБК). Это приемлемый для эксплуатации показатель с учетом того, что тяговый привод с РБК в 10 раз дешевле асинхронного, требует меньших затрат на поиск причины отказа и в 10-20 раз дешевле по стоимости его восстановления после отказа.

Ведущие иностранные фирмы пошли на разработку дорогостоящего асинхронного привода с целью использовать его в первую очередь на мощных высокоскоростных электровозах и электропоездах. Это позволило им не только решать некоторые технические проблемы высокоскоростного движения, но и вывести конкурентную борьбу на этом рынке на новый, технологически недостижимый для многих их конкурентов уровень. А затем скомпенсировать понесенные затраты за счет монопольных цен на вагоны с АД.

Тяге средних мощностей и средних скоростей привод переменного тока не обязателен и зачастую невыгоден. Тут не меньшие возможности для повышения надежности имеются у тягового привода постоянного тока при оснащении его силовой электроникой. Этот путь требует гораздо меньших капиталовложений. Но он не был основательно проработан иностранными фирмами, поскольку не подходил им по конъюнктурным соображениям. По этим же соображениям асинхронный привод стали внедрять даже там, где его появление ни технически, ни экономически не оправдано, убеждая по ходу потенциальных заказчиков и конкурентов в единственности асинхронного пути. Здесь явно просматривалась боязнь получить в качестве конкурента модернизированный силовой электроникой привод постоянного тока.

Отечественной промышленности вряд ли следует втягиваться в эту борьбу, т. к. ни она

сама, ни ее эксплуатация финансово и технологически не готовы к этому. "Победа" в такой борьбе ничего кроме убытков не принесет. А электродепо метрополитенов этой "победы" сегодня просто не выдержат.

## Выводы

1. Вагоны метро с АД будут иметь более высокую надежность в эксплуатации по сравнению с вагонами старых моделей с морально устаревшими реостатно-контактными контроллерами. По отношению к вагонам новых моделей с РБК и двигателями постоянного тока вагоны с АД не будут иметь преимуществ по надежности, по экономии электроэнергии и по затратам на эксплуатацию.

2. Оптимальный на сегодня путь повышения надежности тягового привода отечественных вагонов метро - замена механических аппаратов управления современными электронными РБК, работающими по принципу программируемых контроллеров. Этот путь намного проще, дешевле и эффективнее, чем переход на привод переменного тока с АД. К его реализации готова отечественная промышленность, он удобен и выгоден в эксплуатации, не требует снятия с вагона самого надежного тягового аппарата (тягового двигателя постоянного тока) и замены его дорогостоящими инверторами с АД.

3. Вагоны с РБК будут сцепляемы с вагонами эксплуатируемого парка и в итоге окажутся более удобными для эксплуатации и более конкурентоспособными, чем вагоны с АД.

4. Вагоны метрополитена мод. 81-540.7/541.7 - первый шаг в этом направлении.

5. Вышеуказанные выводы вытекают из того очевидного факта, что "отечественное железо" с намотанной на нем медной проволокой (тяговый двигатель ТДМ-1Э) работает в эксплуатации надежнее, чем импортный тяговый инвертор.