



Ле Суан Хонг

РАСЧЕТ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕТРОПОЛИТЕНА С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ «MATHCAD»

(Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»)

В Москве метрополитен был открыт уже 15 мая 1935, а сегодня его доля в перевозке пассажиров среди предприятий городского пассажирского транспорта столицы превышает 56%. По сведениям официального сайта Мосметрополитена [1] «его услугами с средним ежедневно пользуются более 7 млн. пассажиров, а в будние дни этот показатель превышает 9 млн. пассажиров. Это наивысший показатель в мире». В этом же сайте утверждается, что сегодня «по интенсивности движения, наёжности и объёмам перевозок Московский метрополитен стабильно занимает первое место в мире. Он в первой тройке метрополитенов мира практически по всем другим показателям.»

Метрополитен становятся крупными потребителями электроэнергии, например, по известным данным в 2007 г. длина линий Мосметрополитена составляла около 305 км, а потребление энергии из внешнего электроснабжения около 1,6 млрд. кВт.ч в год.

При этом “удельное” потребление электроэнергии составляло 5,246 млн. кВт. ч./км линий и в случае сохранения существующих условий эксплуатации, включая и энергетические показатели метрпоездов, приращение потребления или электроэнергии у внешнего электроснабжения при росте длины линий до 467 км (плановая цифра), т.е. на 162 км., составит $162 \times 5,246$ около 850 млн. кВт.ч, а общее потребление энергии в контрольно – 2020 г. достигнет 2,5 млрд. кВт. ч. Эта же цифра, естественно, получится умножением удельного потребления энергии на 1 км пути и его плановой длины ($467 \times 5,246 = 2,447$ млрд. кВт. ч.). При цене электроэнергии около 3 руб./кВт.ч затраты Мосметрополитена на оплату потребляемой на тягу электроэнергии составят около 8 млрд. руб.

Таким образом, по известным данным можно прогнозировать, что потребление энергии одним вагоном в год составит около 2,5 млн. кВт.ч стоимостью около 7,5 млн. руб.

В связи с этим чрезвычайно актуальна проблема снижения удельного потребления метрополитенами электроэнергии на единицу транспортной работы.

Основным резервом сокращения общего потребления энергии метрополитенов является улучшение энергетических показателей электроподвижного состава (ЭПС), так как около 75% энергии расходуется на тягу поездов, примерно 20-22% на собственные нужды трассы и 3-5% на ремонтную базу. Следующими по значимости являются расходы на собственные нужды трассы: освещение, отопление, санитарно-технические установки и эскалаторы. Однако потребление на собственные нужды существенно зависит от энергетических



показателей ЭПС. В частности, сантехнические установки расходуют около 40% энергии на собственные нужды трассы, причем значительную долю составляет потребление энергии вентиляторами туннелей. Последнее прямо зависит от тепловыделения в туннелях, основная часть которого определяется потерями энергии в ЭПС. Таким образом, улучшение энергетических показателей вагонов метрополитена (ВМ) позволяет как непосредственно сократить удельный расход энергии метрополитенами, так и уменьшить ее потребление, чему способствует снижение интенсивности вентиляции туннелей.

Одним из технических решений указанной проблемы является совершенствование систем тягового электропривода (ТЭП) с наилучшими показателями.. Основными показателями, определяющими технико-экономическую эффективность (ТЭЭ) систем ТЭП электропоездов метрополитена (ЭПМ) являются их стоимость и расход ими электроэнергии на выполнение одной и той же работы. Дополнительными показателями являются динамика ЭПМ, их надёжность и расходы на обслуживание в эксплуатации. Сегодня приоритетной задачей является оценка энергетической эффективности альтернативных систем ТЭП.

В связи с развитием полупроводниковой преобразовательной техники появилось много возможностей совершенствования ТЭП [2]. Среди них: использование на ЭПС с традиционными тяговыми машинами (ТМ) при электроснабжении постоянным током импульсного управления и при электроснабжении переменным током - плавного регулирования напряжения питания ТМ и рекуперативного торможения и на обоих типах ЭПС с коллекторными тяговыми машинами (КТМ) независимого возбуждения (НВ), а также - применение бесколлекторных ТМ - асинхронных, вентильных (ВТМ) и индукторных (ИТМ). К выбору рациональных систем ТЭП вагонов метрополитена необходимо сопоставление их ТЭЭ. Для решения этой задачи проводим расчет расходов энергии их ТЭП.

В [3] показано, что с помощью программы, разработанной в среде МАТНСАД с использованием элементов программирования и исходных данных (электромеханические характеристики на валу заданного двигателя; нагрузочные характеристики; кривые механических потерь...) мы получили основные результаты расчетов:

- Пуско-тормозная диаграмма;
- Ограничение пуско-тормозной силы;
- Кривые движения (разгон, выбег, тормоз) для заданных условий;

Расходы электроэнергии метрополитена с различными системами ТЭП (таб. 1) благодаря вышним сведениям и по формуле:

$$A = \frac{1}{\eta_{тс} \eta_{п/ст}} \left\{ \frac{U_{кв}}{3600} \left[\left(\sum I_{л.ср} \Delta t \right)_{тяг} - \left(\sum I_{л.ср} \Delta t \right)_{рек} \right] + \frac{P_{сн}}{3600} (T_{пер} + T_{ост}) \right\}$$

где: $\eta_{тс} = 0,93$ - средний КПД тяговой сети;

$\eta_{п/ст} = 0,95$ - средний КПД тяговой подстанции;



$P_{сн} = 3$ кВт – мощность нагрузки собственных нужд;

$T_{пер}$ – время движения поезда по перегону;

$T_{ост} = 20$ с – время остановки для метрополитена;

$U_{кв} = 750$ В - среднее напряжение в контактной сети.

Таб. 1. Расходы электроэнергии метрополитена с различными системами ТЭП

№ п/п	Система привода	Расход энергии на тягу, Вт*ч	Расход энергии на возбуждение, Вт*ч	Отдача энергии при торможении, Вт*ч	Суммарный удельный расход энергии, Вт*ч/т*км
1.	С асинхронным тяговым приводом мощностью 170 кВт.	32980	0	5390	36.575
2	С асинхронным тяговым приводом мощностью 110 кВт	28880	0	5501	31.024
3.	Постоянного тока последовательного возбуждения мощностью 110 кВт.	29600	0	0	39.176
4.	Постоянного тока независимого возбуждения мощностью 110 кВт.	28300	3.385	2532	34.104

Сопоставление тягово-энергетических расчетов показывает, что наиболее экономичным вариантом с наименьшим удельным расходом энергии является вариант с асинхронным тяговым приводом при мощности двигателя 110 кВт. Несколько уступает ему вариант 4 с приводом постоянного тока независимого возбуждения, который в свою очередь имеет лучшие энергетические показатели по сравнению с вариантом 3 привода постоянного тока последовательного возбуждения.

Во всех трех выше перечисленных случаях имеет место примерно одинаковый расход энергии в режиме тяги, и отличие итогового расхода энергии заключается в существенном возврате энергии при рекуперативном торможении. В случае варианта 3 рекуперативное торможение полностью отсутствует, поэтому в этом случае имеет место наибольший расход энергии. В случае варианта 4 применяется рекуперативное торможение до скорости 17 км/ч, что приво-



дит к снижению расхода энергии. В случае варианта 2 рекуперативное торможение осуществляется практически до полной остановки, поэтому расход энергии минимален.

На реальном метрополитене «Русич» применяются тяговые асинхронные двигатели мощностью 170 кВт, то есть больше чем на серийных электропоездах с приводом постоянного тока, поэтому в этом случае расход энергии на тягу будет существенно больше, чем при использовании двигателей мощностью 110 кВт. Возврат энергии при рекуперативном торможении примерно одинаков. Поэтому в случае варианта 1 имеет место наибольший расход энергии.

В целом проведенный анализ показывает, что наиболее энергетически эффективным является использование на электропоездах метрополитена с АТМ. При использовании же тягового привода постоянного тока желательно применять независимое возбуждение тяговых машин.

Вывод: Объективные данные показывают, что при реализации на ЭМП с тяговыми машинами постоянного тока (ТМ ПТ) простых и проверенных на опытных образцах технических решений по совершенствованию их ТЭП [4] они не будут уступать поездам с АТМ ни по одному показателю. При цене ориентировочно вдвое меньшей [5] они будут существенно эффективнее. Важнейшим их преимуществом является возможность использования полученных результатов при модернизации эксплуатируемых ЭПМ, значительная часть которых ещё не отработала расчётного срока. Поэтому использование ТЭП с ТМ ПТ перспективно.

Литературы

1. Интернет – ресурс. Официальный сайт Мосметрополитена <http://www.mosmetro.ru/about/information/>
2. Пименова А.А. Оценка технико-энергетической эффективности альтернативных систем тягового электропривода / А.А. Пименова, В.Д. Тулупов // Тезисы докладов. Четырнадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. – Москва, 2008. - С. 195-197.
3. Ле С.Х. Оценка технико-энергетической эффективности альтернативных систем тягового электропривода / С.Х. Ле // Тезисы докладов. Перспективные информационные технологии (ПИТ 2014): труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. - Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2014. - С. 521-525.
4. Тулупов В.Д.. Тяговый электропривод постоянного тока с наилучшими технико-экономическими показателями / В.Д. Тулупов // Сборник "Электросила", выпуск 41. Г. Санкт-Петербург, 2002. - С. 196-210.
5. Ле Суан Хонг. Оценка экономической эффективности альтернативных систем тягового электропривода поездов Московского метрополитена / Суан Хонг Ле, В.Д. Тулупов // Экономические аспекты логистики и качества работы железнодорожного транспорта: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, г. Омск, 2013. - С. 8-12.