

Как сэкономить на тяге

На долю Московского метрополитена приходится более 50 % объема городского пассажиропотока. Интенсивный рост численности населения столицы приводит к расширению городских границ, увеличению площадей транспортной сети и уплотнению графика движения поездов, а значит, и к дальнейшему увеличению энергопотребления метрополитеном. Значительная часть расхода энергии здесь приходится на тягу. Как снизить затраты?



Иван Мелешин,

► **Московский государственный университет путей сообщения (МГУПС МИИТ), к. т. н.**

Экономия электроэнергии в транспортном секторе остается одной из приоритетных

задач в мировом масштабе. В Евросоюзе поставлена задача к 2020 г. сократить количество вредных выбросов, в том числе за счет снижения расхода электроэнергии, на 20 % по сравнению с 1990 г. В России аналогичная задача описана в государственной программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Значительную роль в пассажироперевозках играет метрополитен.

Уровни управления

Сегодня как никогда актуальными являются вопросы безопасности движения, мероприятия по уменьшению сбоев в движении и уменьшению потребления электроэнергии. Выполнение данных задач возможно за счет реализации различных программ и меро-

приятий, среди которых можно выделить уже имеющие успех в мировом опыте:

- применение энергоэффективных технологий на подвижном составе, систем энергоснабжения;
- внедрение энергосберегающих технологий в системах отопления, вентиляции, кондиционирования (ОВК), освещения, эскалаторов;
- внедрение информационно-управляющих систем, в том числе систем мониторинга расхода электроэнергии и интеллектуальных систем управления движением.

Вобласти технологий подвижного состава и систем энергоснабжения эффективными являются применение рекуперативного торможения и накопителей электроэнергии. Возможно применение реверсивных тяговых подстанций, которые позволят возвращать энергию рекуперации в городскую сеть.

Большая часть расхода электроэнергии приходится на тягу поездов. Снижение расхода электроэнергии и повышение качества перевозки на метрополитене в значительной мере может быть достигнуто за счет автоматизации управления движением. Частичная или полная автоматизация перевозочного процесса может быть выполнена за счет применения систем автоведения. Такого рода системы позволяют повысить безопасность движения, улучшить использование пропускной способности линии, облегчить условия труда работников метрополитена.

Важную роль в работе таких систем играет регулятор времени хода.

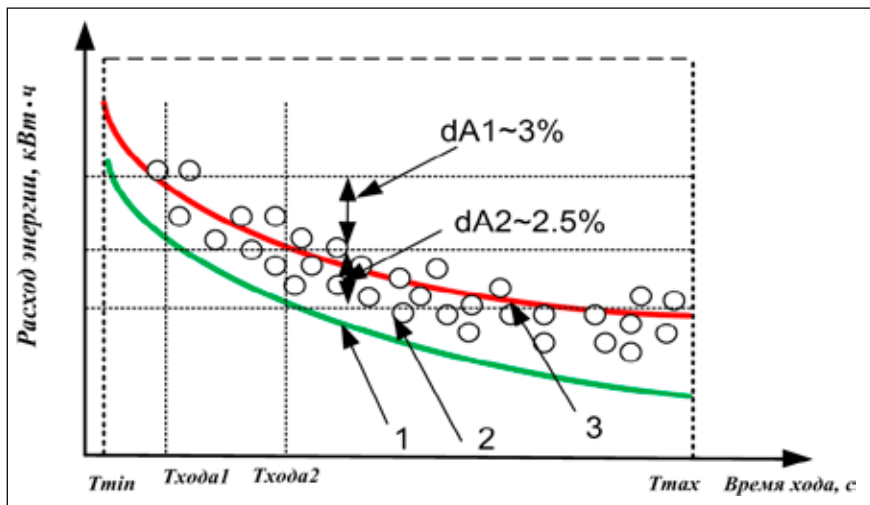


Рис. 1. Пример потенциала экономии электроэнергии за счет использования энергоэффективных времен хода по перегонам и режимов ведения: 1 – минимально возможный расход электроэнергии на перегоне; 2 – расход электроэнергии при различных вариантах режимов ведения; 3 – расход электроэнергии при действующих режимах ведения и временах хода; dA1 – экономия за счет использования запаса времени; dA2 – экономия за счет применения энергоэффективных режимов ведения

Эффект снижения расхода электроэнергии достигается за счет более точного по сравнению с ручным управлением выполнения графика движения и за счет реализации оптимальных по критерию минимума расхода электроэнергии режимов ведения поезда и времен хода по перегонам (рис. 1).

Можно выделить несколько уровней управления, в каждом из которых возможна задача минимизации расхода электроэнергии:

- регулирование скорости электроприводом с целью поддержания заданной скорости;
- управление движением поезда по перегону с целью выполнения заданного времени хода, отработки появления незапланированных ограничений, опозданий (может быть реализовано бортовой системой автоведения);
- централизованное управление временами хода по перегону (изменение графика движения, восстановление графика движения после сбоя).

По имитационной модели

На базе кафедр Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС МИИТ) разработаны специализированные программные комплексы, в рамках которых осуществляется большой комплекс имитационного моделирования для различных уровней работы метрополитена и анализа их энергоэффективности. Для условий метрополитена характерны высокие требования точного выполнения времени хода и прицельного торможения. Поэтому большое значение в разработке алгоритмов управления играет применение моделей, наиболее адекватно описывающих реально происходящие процессы.

Внедрение поездов новых типов с асинхронными двигателями и рекуперативным тормозом потребовало решения задач идентификации, которые были выполнены на базе экспериментальных данных при помощи специализированных бортовых устройств записи параметров движения. Для проведения подоб-

ной идентификации инженерами МИИТ совместно с Московским метрополитеном были проведены опытные поездки и определены такие составляющие модели подвижного состава, как токовые, тяговые и тормозные характеристики, параметры сопротивления движению, особенности работы алгоритмов рекуперативного торможения и тяги с учетом параметров пути, тоннеля и системы энергоснабжения (рис. 2).

После получения точной имитационной модели стало возможным решение многочисленных задач, связанных с моделированием движения подвижного состава по перегону, среди которых можно выделить следующие:

- анализ эффективности существующих режимов ведения;
- прогноз и оптимизация расхода энергии на перегоне, линии, подстанции;

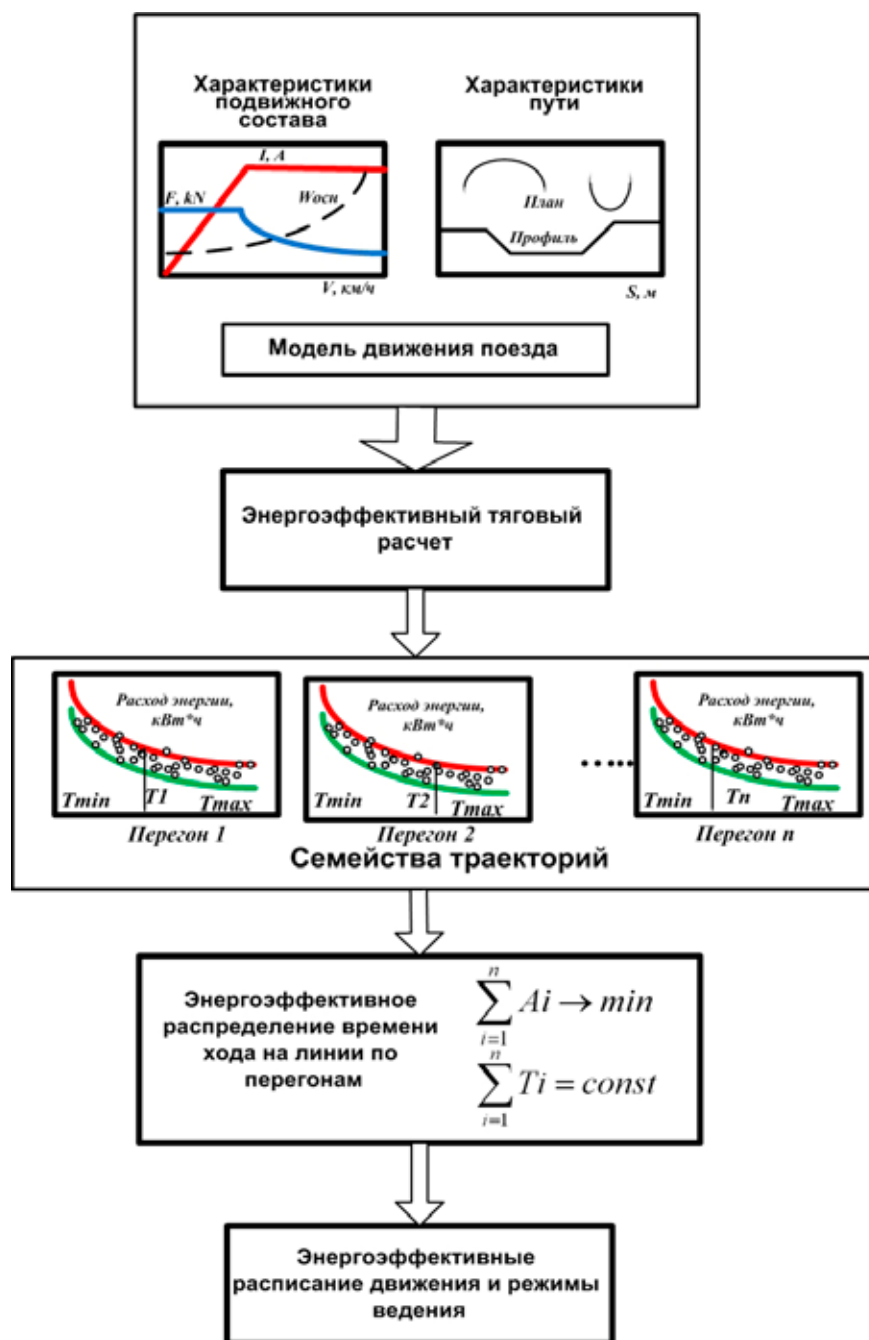


Рис. 2. Процесс расчета энергоэффективных времен хода по перегонам и режимов ведения на базе имитационной модели

- распределение участкового времени хода линии по перегонам;
- возможность и эффективность применения рекуперативного торможения и накопителей энергии.

Данная модель позволяет получить ценную информацию об использовании энергии при различных сценариях движения по перегонам, линии при изменении расписания. Становится возможным оценивать эффективность применения различных технологий и решений, таких как размещение накопителей энергии на конкретных участках с возможностью оптимизации расположения или изменение режимов ведения при сбоях в системе энергоснабжения.

Результаты расчетов были апробированы на метрополитене, при этом в некоторых случаях производился процесс записи результатов как на самом подвижном составе, так и на тяговых подстанциях. Это позволило наиболее точно проводить мониторинг распределения электроэнергии между потребителями и источниками при наличии рекуперированных поездов. Полученные результаты и выявленные отличительные особенности работ систем при рекуперации были отражены в моделях, что дает возможность проводить наиболее полные расчеты, в том числе с учетом работы системы энергоснабжения.

Совокупный эффект

Безусловно, внедрение таких систем, как системы автоведения и централизованного управления, требует больших денежных и временных затрат. Вместе с тем существует ряд мер, которые позволяют в кратчайшие сроки получить экономический эффект при минимуме вложений и связаны с внедрением энергоэффективных методов управления движением на метрополитене.

Данные, полученные в процессе штатной эксплуатации пассажирского движения, позволили проанализировать существующие графики движения и методы вождения машинистами. Полученная информация вместе с оптимизацией на базе имитаци-

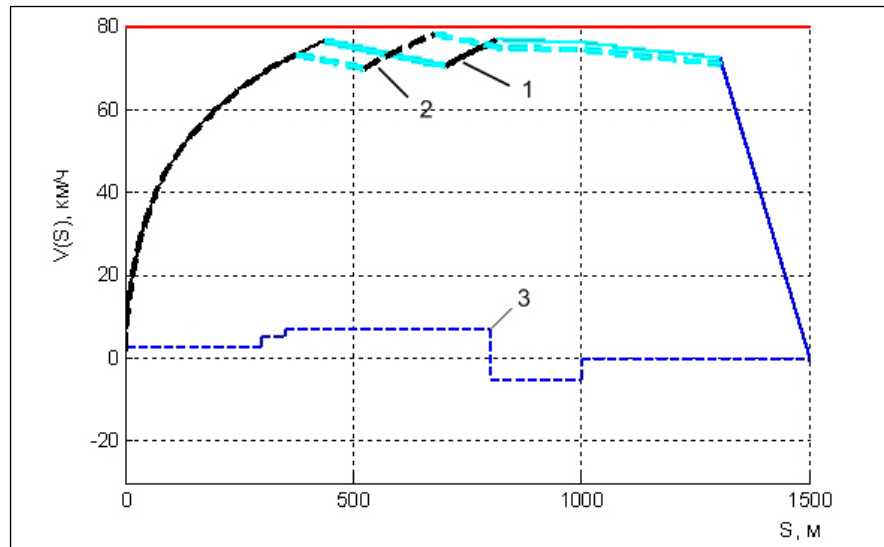


Рис. 3. Сравнение траекторий движения на перегоне (экономия за счет изменения режимов ведения составляет 2,93 %): 1 — заданное управление; 2 — энергоэффективное управление; 3 — дополнительное сопротивление движению поезда

онной модели позволила выработать рекомендации по внедрению энергоэффективных мероприятий, которые были успешно применены на линиях Московского метрополитена.

Отличительными условиями столичного метро являются его перегруженность, большое количество пиковых часов, отсутствие запаса по времени на многих перегонах и отсутствие возможности экономии электроэнергии в результате постоянного нагона, сбоев в движении, появления запрещающих сигналов. Вместе с тем значительный эффект может быть достигнут только за счет перераспределения времени хода линии на времена хода по перегонам. Новые времена хода отражают актуальную информацию о движении, выбираются в результате энергооптимального распределения с наличием запаса по времени на случай нагона, что уменьшает возможность отставания от графика и последующего сбоя. Полученные времена хода на перегонах могут быть реализованы огромным множеством режимов, среди которых выбираются те, что могут быть реализованы машинистами с учетом человеческого фактора и являются вместе с тем энергоэффективными. На ряде линий, где применяется рекуперативное торможение, в расчете учитывается возможность потребления выработанной электроэнергии другими

поездами, что приводит к изменению режимов ведения. При таком изменении возможен выбор вариантов, когда перерасход на тягу компенсируется большей отдачей энергии рекуперативного торможения при более высокой скорости начала торможения.

Совокупный эффект экономии за счет внедрения энергоэффективных времен хода и режимов ведения может составлять от 3 до 7 % (рис. 3) и зависит от многих факторов. При этом в случае прямого мониторинга расхода доля сэкономленной электроэнергии является не всегда очевидной, поскольку ее величина может раствориться среди огромных значений энергопотерь технологического процесса. ■

Проведенные испытания и мониторинг расхода электроэнергии на подвижном составе Московского метрополитена подтверждают экономию электроэнергии на тяге в среднем на 4–5 %. Использование режима рекуперации позволило за один месяц эксплуатации сократить расход электроэнергии: на Арбатско-Покровской линии на 22 %, на Филевской линии — на 26,22 %, на Бутовской линии — на 8,34 %.