

Шевлюгин Валерий Максимович

Студент, Российского университета транспорта (РУТ(МИИТ))

НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ НА СТАНЦИЯХ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

В этой статье рассмотрены причины возникновения и влияние избыточной электроэнергии, способ ее буферизации через использование накопителей энергии, а также заложено подведение к научной работе о правильной реализации накопления энергии на станциях Московского Метрополитена. Цель исследования заключалась в аналитике нужды и возможности использования накопителей энергии на тяговых подстанциях.

This article discusses the causes and effects of excess electricity, the method of buffering it using energy storage devices, and provides a scientific framework for implementing energy storage at Moscow Metro stations. The goal of this research is to analyze the need and feasibility of using energy storage devices at traction substations.

Ключевые слова: накопители энергии, избытки энергии, качество электроэнергии, энергосбережение в системе тягового электроснабжения

Keywords: energy storage, excess energy, quality of electricity, energy saving in the traction power supply system

Сеть Московского метро стремительно продолжает развиваться, вследствие чего все больше людей начинают им пользоваться, а многие пересаживаются с других видов транспорта, по причине открытия новых станций, удобства маршрута и меньшего расходуемого времени. На сегодняшний день пассажиропоток составляет более 8 млн человек ежедневно, что больше 50%, чем использование любого другого вида транспорта.

Все это делает Московский метрополитен самым мощным энергопотребителем мегаполиса. Закономерно, что задачи электроснабжения и жизнеобеспечения такой огромной комплексной системы усложняются. В год энергопотребление превышает 2 млрд кВт·ч, 75% из которого идет непосредственно на тягу подвижных составов. С учетом всех вышеперечисленных данных, не теряет актуальность и важность вопросы энергосбережения в системе тягового электроснабжения (СТЭ).

Одним из эффективных решений является локальная буферизация электроэнергии в СТЭ с помощью накопителей энергии, установленных на ТП. Другими словами в тяговой сети всегда будет находиться гарантированный приёмник излишек электроэнергии. Избытки энергии существуют при следующих процессах:

1.Рекуперация энергии. При торможении поездов часть кинетической энергии может быть преобразована в электрическую и возвращена в сеть. Эта рекуперированная энергия может превышать потребности системы в определенные моменты времени, создавая излишки.

Избыточная энергия – это часть энергии, приемом которой не обеспечивается ЭПС, работающий в режиме тяги, и которая должна быть принята специальными приемными устройствами.

При торможении накапливается механическая энергия, которая расходуется на производство работы, а именно:

- 1) нагрев и разрушение (стирание) металлических колодок и бондажей (бондаж – часть колеса, которая соприкасается с рельсом);
- 2) Разгрузка ТП и повышения напряжения в тяговой сети, (в случае пневматических тормозов)

что становится возможным при преобразовании механической энергии в электрическую при использовании электрического торможения. Оно достигается двигателями, работающими в генераторном режиме (в режиме рекуперации). То есть рекуперация – это торможения двигателями.

Для надежного электрического торможения необходимо, чтобы потребность в электрической энергии соответствовала необходимому тормозному усилию, другими словами, требуется обеспечить выработку необходимого количества электрической энергии для обеспечения необходимой тормозной силы. Поэтому даже при достаточно интенсивном движении на участке, когда поезда, работающие в режиме тяги, способны принять всю энергию рекуперации, требуются резервные потребители этой энергии. (Рис.1)

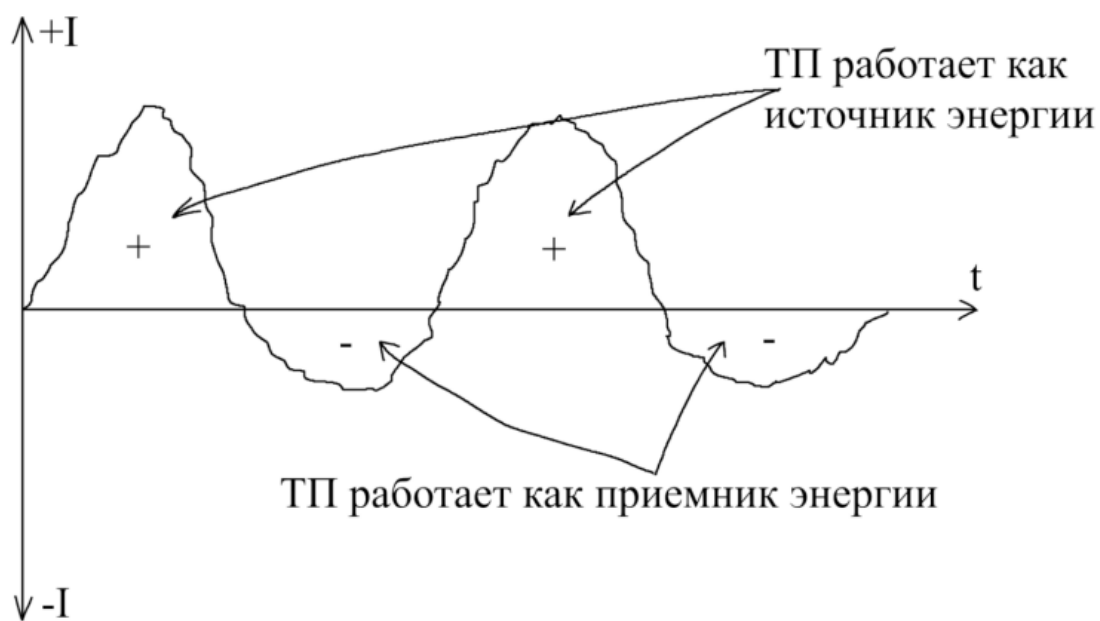


Рис.1. Схема условий работы тяговой подстанции: приемник, источник

Все поезда потребляют энергию рекуперации и нужно заложить запас на случай, когда движение будет не столь интенсивное и возникнет избыток энергии и ее нужно куда-то деть иначе поезд не сможет остановиться.

К приемникам избыточной энергии относятся:

- 1) Инверторы – с помощью них энергия передается в питающую сеть;
- 2) Балластные сопротивления (тормозные реостаты) – механическая энергия преобразуется в тепловую и рассеивается;
- 3) Накопители электроэнергии – в часы пик накапливают электроэнергию, в остальное время её отдают (устанавливают на ТП или ЭПС).

Токи, потребляемые этими, приемниками называются избыточными токами. Поэтому, чем меньше избыточные токи, тем большая часть энергии потребляется поездами, работающими в режиме тяги.

2. Непостоянный спрос. Потребление энергии в метро может варьироваться в зависимости от времени суток, дня недели или сезона. В периоды низкого спроса излишки энергии могут накапливаться.

3. Эффективность работы оборудования. Современные системы управления и преобразования энергии могут быть высокоэффективными, что приводит к меньшим потерям и, соответственно, к образованию излишков.

4. Интеграция с возобновляемыми источниками энергии. Если на станции используются солнечные панели или другие возобновляемые источники, то в периоды высокой выработки энергии может возникать избыток.

5. Ошибки в расчетах потребления. Неправильные прогнозы потребления энергии также могут привести к избыточной генерации или запасам энергии.

Накопители энергии (НЭ) являются экономически выгодными устройствами, решая ряд проблем, например:

На Рис.2 представлены осциллограммы токов фидеров, тока и напряжения ТП в течение 15 минут. Здесь наглядно представлено неравномерное потребление тока ТП и скачки напряжений на шинах ТП. Помимо этого, существуют также аварийные режимы с резким падением напряжения за короткое время. Все это отрицательно влияет на оборудование ТП и ЭПС, на качество электроэнергии, на безопасность движения и пассажиров.

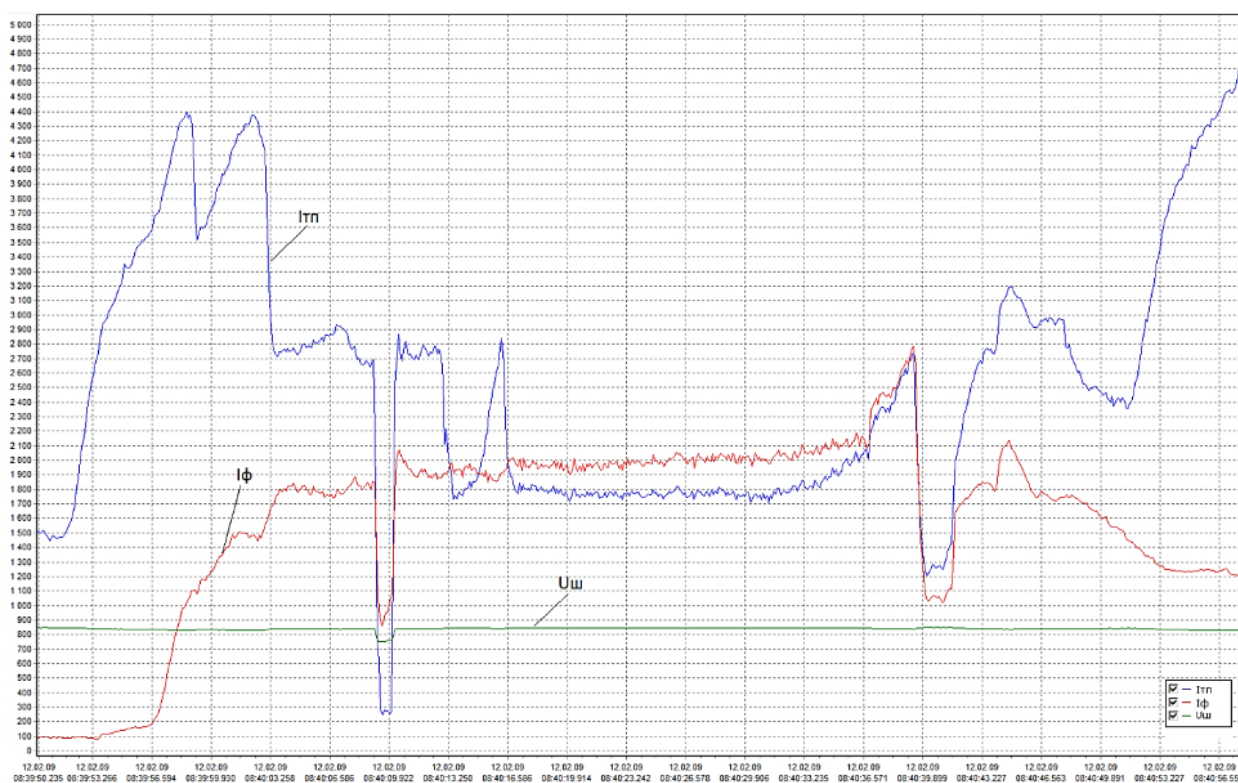


Рис. 2 Осциллограммы токов и напряжения с иллюстрацией аномального провала напряжения в тяговой сети

НЭ могут положительно влиять на напряжение сети, путем компенсации и стабилизации этих пиковых провалов напряжений за счет энергии накопленных в них, тем самым выровнять график потребления электроэнергии. Для осуществления данного эффекта нужно выбрать

наилучший НЭ для этой задачи. На Рис. 3 указаны важнейшие характеристики НЭ нужные для подбора на локальное использование на ТП.

Сравнение типов НЭ

Тип исполнения НЭ	Удельная энергоёмкость (Вт·ч/кг)	Удельная мощность (Вт/кг)	КПД цикла заряд/разряд (%)	Цикличность (Циклы)	Срок службы (Год)	Саморазряд (потеря % заряда за сутки)
Свинцово-кислотные аккумуляторы	30–50	75–300	80–90	200–2000	5–10	0.05–0.3
Никель-кадмиевые аккумуляторы	50–75	150–300	60–83	1500–4500	7–20	5–8
Натриевые аккумуляторы	150–240	150–230	75–90	2000–5000	10–20	15–20
Литий-ионные аккумуляторы	150–250	500–2000	90–98	1000–30 000	8–25	0.1–0.3
Проточные окислительно-восстановительные аккумуляторы	10–30	166	75–80	>16 000	10–20	0–10
Суперконденсаторы компании «ТЭЭМП»	10–15	5000 – 10 000	>93	>1 000 000	10–30	<8
Суперконденсаторы компании «ЭКОНД»	8–12	2349– 10 000	>91	>1 000 000	10–20	<10
Суперконденсаторы компании «ЭЛТОН (ТехноКор)»	10–12	1058.8–10 000	>92	>1 000 000	10–20	<10
Кинетические НЭ	5-150	10-1000	70-90	>100 000	20-30	1-5
Сверхпроводниковые НЭ	10-100	10-200	90-95	>1 000 000 000 000	>20	1

Рис. 3 Виды НЭ и их характеристики

В предыдущей статье «Анализ НЭ для определения наиболее подходящего в использовании на тяговой подстанции метрополитена» был сделан вывод, что наилучший выбор для выполнения поставленных задач максимально эффективно это литий-ионные аккумуляторы. Однако, такой тип аккумуляторных батарей (АБ) достаточно взрывоопасный, поэтому для данной аккумуляторной батареи рассматриваться будут исключительно наземные ТП. В продолжении этой статьи будет произведено моделирование станций с учетом таких факторов как профиль пути, проходимость ЭПС, осциллограммы разных станций с их пиковыми нагрузками и др., что позволит в точности определить степень необходимости, количество и параметры накопителей энергии персонально для любой станции Московского Метрополитена.

Список литературы

1. Баранов И.С. "Системы накопления энергии в железнодорожном транспорте". - М.: Транспорт, 2022. - 348 с.
2. Белов М. Н. Стационарный управляемый накопитель энергии в системе тягового электроснабжения метрополитена : дис. ... к. т. н. / Российский университет транспорта (МИИТ). – М., 2024. – 176 с.
3. Гречишников В.А., Шевлюгин М.В. Эксплуатация накопителя энергии на метрополитене // Мир транспорта. 2013. Т. 11. № 5 (49). С. 54-58.
4. Гречишников В.А., Подаруев А.И., Шевлюгин М.В. Преобразовательный агрегат ёмкостного накопителя энергии для системы тягового электроснабжения метрополитена.// Электротехника. 2011. № 5. С. 17-22.
5. Голицына А. Е. Применение накопителей энергии в цепи постоянного тока для питания собственных нужд совмещённой тяговой подстанции метрополитена : дис. ... к. т. н. / Российский университет транспорта (МИИТ). – М., 2000. – 178 с.

6. Кацай А.В., Шевлюгин М.В. Экономия энергии в контактной сети электротранспорта при работе стационарного накопителя. Практическая силовая электроника. 2023. № 1 (89). С. 42-52.

7. Кацай А.В., Шевлюгин М.В. Влияние буферных накопителей бортового и стационарного типа на энергопотребление тяговых подстанций в горэлектротранспорте //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 4. С. 542-560.

8. Кацай А.В., Шевлюгин М.В. Утилизация избыточной рекуперации в контактной сети электротранспорта при зарядке стационарного накопителя. Электротехнические системы и комплексы. 2023. № 1 (58). С. 10-20.

9. Кацай А.В., Шевлюгин М.В. Структура потоков энергии рекуперации в контактной сети тяговой подстанции с наземным накопителем. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. //Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2023. № 45. С. 48-79.

10. Кацай А.В., Шевлюгин М.В. Коэффициенты полезного действия накопителя энергии в контактной сети горэлектротранспорта.// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022. Т. 30. № 4 (76). С. 127-141.

11. Кацай А.В., Шевлюгин М.В. «АКТИВНАЯ ЗАГРУЗКА И ПОЛЕЗНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ РЕКУПЕРАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ БОРТОВЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ В ГОРЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ» //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 7. С. 476-487..

12. Кацай А.В., Шевлюгин М.В. «ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ В ГОРОДСКОМ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического

университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2022. № 43. С. 5-28.

13. Максимов А.В. "Экономика энергосберегающих технологий на транспорте". - СПб: Политехника, 2021. - 276 с.

14. «Оценка эффективности использования стационарных ёмкостных накопителей энергии в метрополитене на основе экспериментальных замеров показателей работы системы тягового электроснабжения» ./ Баранов Л.А., Бродский Ю.А., Гречишников В.А., Подаруев А.И., Пупынин В.Н., Шевлюгин М.В.//, Электротехника. 2010. № 1. С. 62-65.

15. Опыт пуска электроподвижного состава при помощи "накопительных" тяговых подстанций на Московском метрополитене. /Шевлюгин М.В., Ермоленко Д.В., Стадников А.Н., Голицына А.Е.// Электротехника. 2017. № 11. С. 75-80.

16. Плетнёв Д. С. Бортовой накопитель энергии на электроподвижном составе метрополитена : дис. ... к. т. н. / Российский университет транспорта (МИИТ). – М., 2024. – 176 с.

17. «Рекуперация энергии торможения» / Зотова А.И // Вестник науки и образования № 1 (156), 2025

18. Ребров И. А. Повышение эффективности работы системы тягового электроснабжения путём применения накопителей электрической энергии : автореф. дис. ... к. т. н. / Российский университет транспорта (МИИТ). – М., 2023. – 36 с.

19. Стационарная система аккумулирования энергии рекуперации электроподвижного состава метрополитена на базе ёмкостных накопителей энергии. /Бродский Ю.А., Подаруев А.И., Пупынин В.Н., Шевлюгин М.В.// Электротехника. 2008. № 7. С. 38-41.

20. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДЛЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНОВ /Абрамсон В.М., Минц А.М., Андреев В.В., Гречишников В.А., Клинов В.Ю., Пупынин В.Н., Розанцева С.В., Шевлюгин М.В., Комиссаров Н.Н.// Патент на полезную модель RU 43977 U1, 10.02.2005. Заявка № 2004131295/22 от 27.10.2004.

21. Цифровой двойник электроподвижного состава в тяговой сети метрополитена./ Шевлюгин М.В., Королев А.А., Голицына А.Е., Плетнев Д.С. // Электротехника. 2019. № 9. С. 41-46.

22. Цифровое моделирование движения электроподвижного состава 81-775/776/777 "МОСКВА-2020" с учетом рекуперативного торможения на линии Московского метрополитена./ Шевлюгин М.В., Королев А.А., Голицына А.Е., Плетнев Д.С. евлюгин М.В., Плетнев Д.С., Белов М.Н., Минаков З.Е //Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2023. № 1. С. 119-129.

23. Шевлюгин М.В. Система накопления энергии на вагоне метро для аварийного выхода поезда из туннеля. //Наука и техника транспорта. 2006. № 3. С. 29-33.

24. Шевлюгин М.В. ЕНЭ на борту метropоезда. //Мир транспорта. 2007. Т. 5. № 1 (17). С. 46-49.

25. Шевлюгин М. В. Ресурсо- и энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии : дисс. ... д. т. н. / Московский инженерно-строительный институт (МИИТ). – М., 2009. – 372 с.

26. Шевлюгин М.В., Голицына А.Е., Стадников А.Н. Опытная эксплуатация накопителей энергии неуправляемого типа на тяговых подстанциях московского метрополитена.// Электропитание. 2019. № 4. С. 51-60.

27. Шевлюгин М.В., Желтов К.С. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии //Наука и техника транспорта. 2008. № 1. С. 15-20.

28. Шевлюгин М.В., Желтов К.С. Устройство накопления электроэнергии для аварийного питания электроподвижного состава. Патент на полезную модель RU 56736 U1, 10.09.2006. Заявка № 2006116186/22 от 12.05.2006.

29. Экспериментальное исследование автономного хода электроподвижного состава метрополитена. / Шевлюгин М.В., Желтов К.С., Плетнев Д.С., Глущенко М.Д. //Электротехника. 2021. № 9. С. 19-21