

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

Баталова Алина Александровна

студент, Российский университет транспорта (МИИТ), РФ, г. Москва

Михайлова Светлана Александровна

студент, Российский университет транспорта (МИИТ), РФ, г. Москва

Юрова Ольга Андреевна

студент, Российский университет транспорта (МИИТ), РФ, г. Москва

Шевлюгин Максим Валерьевич

научный руководитель, д-р техн. наук, проф., Российский университет транспорта (МИИТ), РФ, г. Москва

Накопители энергии (НЭ) различных типов (гидроаккумулирующие (ГАН), инерционные (ИНЭ), емкостные (ЕНЭ), сверхпроводящие инерционные (СПИН), аккумуляторы и т.д.) получили широкое применение в электроэнергетических системах (ЭЭС) разных стран [1, с. 26-3].

Для расположения НЭ в СТЭ железных дорог постоянного тока 3,3 кВ были предложены следующие точки:

1. Шины 3,3 кВ тяговых подстанций (ТП).
2. Остановочные пункты (станции) на перегонах между ТП.
3. Тяговый электроподвижной состав (ЭПС).

То или иное расположение НЭ определяет возможные функции и технико-экономическую эффективность их использования. Так при размещении НЭ на шинах ТП последние становятся приемниками энергии рекуперации, накапливаемой в НЭ, а затем возвращаемой обратно в тяговую сеть (ТС), за счет чего снижается потребление СТЭ энергии из первичной питающей сети, сглаживаются пики нагрузки ТП, дополнительно экономится энергия потерь в первичной питающей сети понижающего и преобразовательного трансформаторов.

При размещении НЭ на остановочных пунктах общее количество НЭ и общая установочная мощность их увеличиваются, накопление и возврат энергии рекуперации поездов осуществляется вблизи остановочных пунктов, практически минуя тяговую сеть, благодаря чему дополнительно экономится энергия потерь в ТС.

Наконец при размещении НЭ непосредственно на ЭПС их общее количество и общая установленная мощность еще более увеличивается, хотя возможности такого варианта примерно равноценны варианту установки НЭ на остановочных пунктах.

Дать оценку эффективности использования НЭ при размещении их по описанным выше вариантам можно с использованием имитационной модели СТЭ с накопителями энергии, в

которой математически воспроизводится картина движения поездов и все процессы, сопровождающие энергообмен между рекуперирующими единицами ЭПС, СТЭ и НЭ. Ниже дается структурная схема такой имитационной модели с НЭ (ИМНЭ).

Особенность математической модели СТЭ с НЭ состоит в том, что, расположение НЭ в оговоренных выше точках меняет токораспределение и уровень напряжения в СТЭ. Объект НЭ в математической модели описывается, как своего рода ТП, но с другими характеристиками ("накопительная" ТП). Сложность состоит в том, что у обычной ТП линейная и достаточно жесткая вольтамперная характеристика (рис. 2а), не зависящая от времени (рис. 2б), а ограниченная энергоемкость "накопительной" ТП определяет ее ВАХ, как характеристику двухпараметрическую. Энергия, запасенная в НЭ, как и напряжение на шинах (если речь идет о ЕНЭ) зависит не только от тока, но и от времени его потребления, и поэтому может быть определена только в плоскости "напряжение - время" или "энергия - время" в виде соответствующих циклограмм (см. рис. 3 а и б).

При создании ИМНЭ в нее закладываются алгоритмы трех режимов работы НЭ (см. блок-схему модуля работы НЭ), которые будут определяться в зависимости от напряжения в данной точке ТС. А именно:

1. Заряд НЭ от ТП по ТС.

НЭ в этом режиме постепенно, малыми токами заряжается от ТП. Такой заряд НЭ имеет место при отсутствии ЭПС на зоне, когда напряжение ТС близко к напряжению холостого хода ТП. Заряд продолжается до частичного (мера определяется на конкретном участке) или полного заряда НЭ, или же до появления на зоне поезда, идущего в тяговом режиме. В последующем НЭ будет отдавать энергию приближающимся поездам и тем самым он сгладит провал и пик тока на ТП.

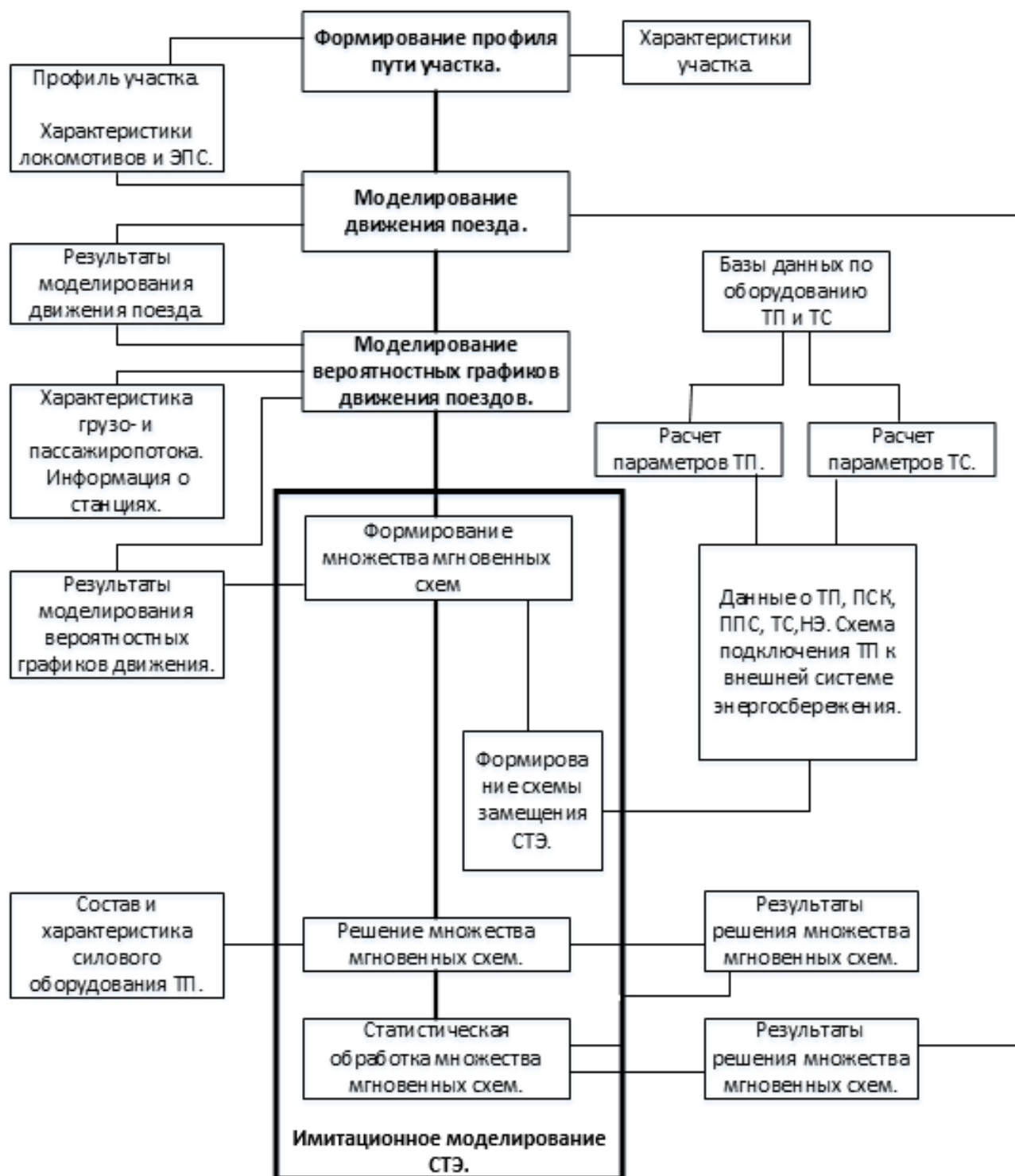


Рис. 1 Структурная схема ИМНЭ

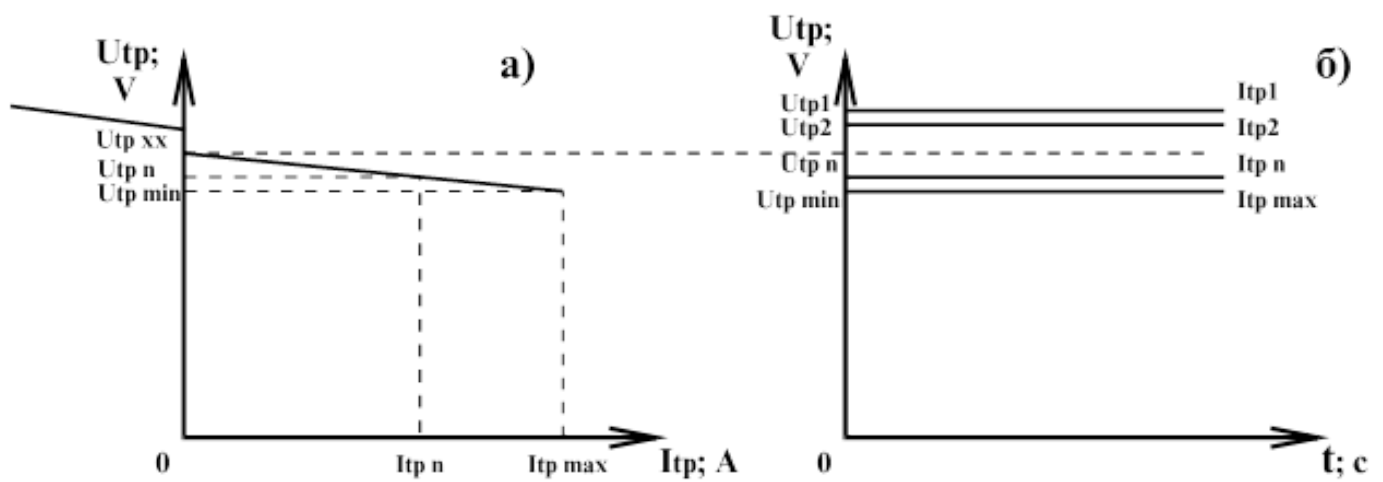


Рис. 2 Характеристика ТП, ВАХ ТП а) и зависимость напряжения ТП от времени при различных токах б))

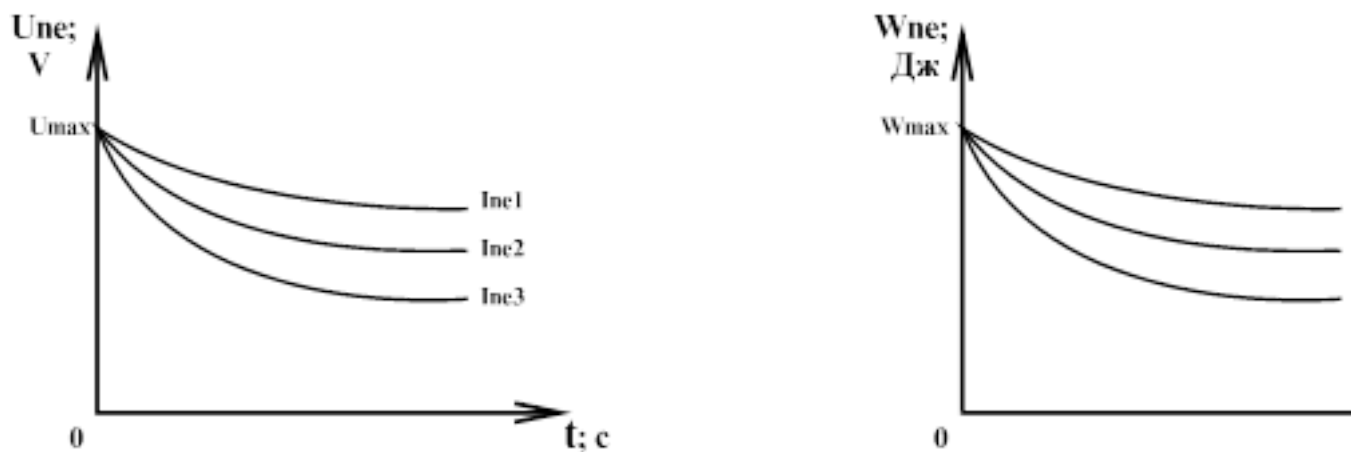


Рис. 3 Циклограммы работы ЕНЭ : Зависимость напряжения ЕНЭ от времени при различных токах а) и зависимость единичного разряда (заряда) при различных токах б).

2. Заряд НЭ от рекуперирующего ЭПС.

Этот режим приходит в действие, когда на зоне или перед остановкой, вблизи НЭ, ЭПС переходит на рекуперативное торможение и напряжение становится выше, чем напряжение холостого хода ТП.

3. Разряд НЭ на тяговую нагрузку.

При трогании ЭПС потребляет большие токи, которые ему может передать как раз НЭ, расположенный вблизи на станции, а значит обмен энергией пройдет с наименьшими потерями в ТС. Разряд НЭ будет продолжаться пока напряжение на НЭ выше напряжения ТС.

ЕНЭ представляет интерес для СТЭ из следующих соображений:

- ЕНЭ - это накопитель непосредственно электрической энергии и поэтому имеет высокий КПД [2, с. 7-31];

ИНЭ обладает немного меньшим КПД, чем ЕНЭ (т.к. это накопитель механической энергии) и требует дорогого полупроводникового преобразователя, но зато представляет собой устройство, заряд которого происходит по той же схеме, что и разряд, а также является универсальным как для железных дорог постоянного тока, так и переменного [4, с. 51-60].

При учете соответствующих характеристик ИНЭ программный комплекс ИМНЭ способен также рассчитать параметры СТЭ с НЭ и оценить выгоду от использования ИНЭ. Наиболее удобно и просто это сделать путем сравнения двух вариантов: расчет СТЭ с использованием НЭ и расчет СТЭ с теми же параметрами, но уже без НЭ.

Список литературы:

1. Шевлюгин М.В., Голицына А.Е., Белов М.Н., Плетнев Д.С. Повышение надежности электроснабжения собственных нужд тяговых подстанций метрополитена с помощью накопителей энергии. Электротехника. 2020. № 9. С. 26-31.
2. Шевлюгин М.В., Стадников А.Н., Юдин А.С. О применении накопителей энергии в системе электроснабжения мегаполиса на примере Москвы. Электропитание. 2020. № 1. С. 7-31.
3. Шевлюгин М.В., Королев А.А., Голицына А.Е., Плетнев Д.С. Цифровой двойник электроподвижного состава в тяговой сети метрополитена. Электротехника. 2019. № 9. С. 41-46.
4. 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.
5. Ребров И.А., Шевлюгин М.В., Котельников А.В., Ермоленко Д.В. В сборнике: Интеллектуальная энергетика на транспорте и в промышленности. Накопители электрической энергии в системе тягового электроснабжения железных дорог постоянного тока. Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 67-79.
6. Шевлюгин М.В., Королев А.А., Королев А.О., Александров И.А. Цифровая модель тяговой подстанции двух родов тока. Электротехника. 2018. № 9. С. 40-44.
7. Шевлюгин М.В., Ермоленко Д.В., Стадников А.Н., Голицына А.Е. Опыт пуска электроподвижного состава при помощи "накопительных" тяговых подстанций на Московском метрополитене. Электротехника. 2017. № 11. С. 75-80.
8. Котельников А.В., Шевлюгин М.В., Жуматова А.А. Распределенная генерация электроэнергии в системе тягового электроснабжения железных дорог на основе ветровых электроустановок. Электротехника. 2017. № 9. С. 40-45.
9. Андреев В.В., Гречишников В.А., Король Ю.Н., Шевлюгин М.В. Развитие методологии расчета систем тягового электроснабжения. Железнодорожный транспорт. 2014. № 8. С. 32-34.
10. Баранов Л.А., Гречишников В.А., Ершов А.В., Родионов М.Д., Шевлюгин М.В. Показатели работы стационарного накопителя энергии на тяговых подстанциях Московского метрополитена. Электротехника. 2014. № 8. С. 18-21.
11. Шевлюгин М.В. Энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии автореферат дис. ... доктора технических наук / Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. Москва, 2013.
12. Гречишников В.А., Шевлюгин М.В. Эксплуатация накопителя энергии на метрополитене // Мир транспорта. 2013. Т. 11. № 5 (49). С. 54-58.

13. Гречишников В.А., Шевлюгин М.В. Теоретическое обоснование эффективности использования накопителей энергии неуправляемого типа в системе тягового электроснабжения метрополитена // Электроника и электрооборудование транспорта. 2013. № 5. С. 17-19.
14. Андреев В.В., Шевлюгин М.В., Гречишников В.А. Расчёт интегральных показателей работы разветвленных систем тягового электроснабжения. Электротехника. 2012. № 12. С. 32-36.
15. 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.
16. Баранов Л.А., Бродский Ю.А., Гречишников В.А., Подаруев А.И., Пупынин В.Н., Шевлюгин М.В., «Оценка эффективности использования стационарных ёмкостных накопителей энергии в метрополитене на основе экспериментальных замеров показателей работы системы тягового электроснабжения» // Электротехника. 2010. № 1. С. 62-65.
17. Гаев Д., Ершов А., Баранов Л., Гречишников В., Шевлюгин М. Внедрение энергосберегающих технологий. Мир транспорта. 2010. Т. 8. № 3 (31). С. 3-8.
18. Бродский Ю.А., Подаруев А.И., Пупынин В.Н., Шевлюгин М.В. Стационарная система аккумулирования энергии рекуперации электроподвижного состава метрополитена на базе ёмкостных накопителей энергии. Электротехника. 2008. № 7. С. 38-41.
19. 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.
20. Клинов В.Ю., Бродский Ю.А., Подаруев А.И., Пупынин В.Н., Шевлюгин М.В. Емкостные накопители в системе электроснабжения метрополитена. Русский инженер. 2008. № 17. С. 62-64.
21. Шевлюгин М.В. Снижение расхода энергии и рабочей мощности основного силового оборудования тяговых подстанций электрических железных дорог с помощью накопителей энергии. Монография / М. В. Шевлюгин; Федеральное агентство ж.-д. трансп., Московский гос. ун-т путей сообщ., Москва, 2007.
22. Шевлюгин М.В. ЕНЭ на борту метropоезда. Мир транспорта. 2007. Т. 5. № 1 (17). С. 46-49.
23. Шевлюгин М.В. Повышение энергетических показателей работы системы тягового электроснабжения железных дорог с помощью накопителей энергии // Наука и техника транспорта. 2007. № 1. С. 68-73.
24. Шевлюгин М.В. «Совершенствование системы тягового электроснабжения с помощью накопителей энергии» // Соискатель - приложение к журналу Мир транспорта. 2007. Т. 04. № 1. С. 35-38.
25. 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.
26. Шевлюгин М.В. Система накопления энергии на вагоне метро для аварийного выхода поезда из туннеля. Наука и техника транспорта. 2006. № 3. С. 29-33.
27. Tulskey V., Shevlyugin M., Korolev A., Khripushkin N., Baembitov R. Application of ETAPMeTraXTM software package for digital simulation of distribution network that feeds an AC traction power supply system. E3S Web of Conferences, 2020, 209, 07011.
28. Shevlyugin M.V., Korolev A.A., Golitsyna A.E., Pletnev D.S. Electric Stock Digital Twin in a Subway Traction Power System. Russian Electrical Engineering, 2019, 90(9), стр. 647-652.

29. Rebrov I., Shevlyugin M., Kotelnikov A., Ermolenko D. Electric power accumulators in system of supplying railways with traction energy by direct current. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01057.
30. Shevlyugin M.V., Korolev A.A., Korolev A.O., Aleksandrov I.A. A Digital Model of a Traction Substation with Two Types of Current. Russian Electrical Engineering, 2018, 89(9), стр. 540–545.
31. Kotel'nikov A.V., Shevlyugin M.V., Zhumatova A.A. Distributed generation of electric energy in traction power-supply systems of railways based on wind-power plants. Russian Electrical Engineering, 2017, 88(9), стр. 586–591.
32. Baranov L.A., Grechishnikov V.A., Ershov A.V., Rodionov M.D., Shevlyugin M.V. Performance indices of stationary energy storage in the traction substations of the Moscow Metro. Russian Electrical Engineering, 2014, 85(8), стр. 493–497.
33. Andreev V.V., Shevlyugin M.V., Grechishnikov V.A. Integral characteristics of branched tractional power-supply systems. Russian Electrical Engineering, 2012, 83(12), стр. 672–675.
34. Andreev V.V., Grechishnikov V.A., Privezentsev N.N., Shevlyugin M.V. Calculation of a relative actualized transformer power of a traction substation on insulation aging. Russian Electrical Engineering, 2011, 82(8), стр. 441–444.
35. Grechishnikov V.A., Podaruev A.I., Shevlyugin M.V. Converting unit of capacitor reserves for metro power-supply system. Russian Electrical Engineering, 2011, 82(5), стр. 248–252.
36. Baranov L.A., Brodskii Yu.A., Grechishnikov V.A., ... Pupynin V.N., Shevlyugin M.V. Estimation of efficiency of stationary capacitor storage in subway based on experimental measurements of the operation of traction power-supply system. Russian Electrical Engineering, 2010, 81(1), стр. 42–44.
37. Shevlyugin M.V. Power-saving circuits of railway traction power supply based on superconducting inductive energy storage. Russian Electrical Engineering, 2008, 79(7), стр. 377–381.
38. Brodskii Yu.A., Podaruev A.I., Pupynin V.N., Shevlyugin M.V. Stationary system based on capacitive energy storage units to accumulate energy recuperation of metro electric rolling stock. Russian Electrical Engineering, 2008, 79(7), стр. 385–388.
39. Shevlyugin M. Energy-saving technologies in rail transportation using energy receptacles. Scientific Papers of the Institute of Electrical Engineering Fundamentals of Wrocław Technical University Conferences, 2006, (43), стр. 67–76.