

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 1 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**

выходит 4 раза в год \_\_\_\_\_

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

<https://10.48081/BNAS6555>

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.  
*к.т.н., профессор*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*  
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD*  
Омарова А.Р., *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

**\*М. В. Ярославцев<sup>1</sup>, О. М. Талипов<sup>2</sup>, А. П. Кислов<sup>3</sup>,  
О. А. Андреева<sup>4</sup>, А. Е. Анарбаев<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОСТИ СЕКЦИЙ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

*Для обеспечения активного развития линий городского электрического транспорта необходимо сокращение затрат на их строительство, что в ряде случаев может быть достигнуто путем отказа от сооружения новых тяговых подстанций на продлеваемых линиях при наличии резерва мощности системы тягового электроснабжения на действующих участках.*

*В этом случае возникает проблема передачи энергии по секциям тяговой сети повышенной протяженности, имеющим одностороннее питание. Чтобы обеспечить передачу электрической энергии по контактной сети на большое расстояние, возможно применение усиливающих проводов, а также установка накопителей энергии.*

*В работе рассматривается установка аккумуляторных накопителей, получающих энергию из контактной сети в периоды низкой нагрузки и отдающих её в периоды наибольшего потребления при пуске вагонов. По сравнению с применением вагонов с автономным ходом, предложенный подход требует меньших затрат и обеспечивается возможность эксплуатации всего имеющегося парка подвижного состава на вновь строящемся участке.*

*Методом вероятностного эксперимента определено допустимое количество подвижного состава на продлеваемых секциях и требуемая мощность накопителя энергии. Выполнен анализ режимов работы накопителя энергии, определено оптимальное напряжение перехода между режимами заряда и разряда.*

*Ключевые слова: городской электрический транспорт, трамвай, электроснабжение, контактная сеть, литий-ионный аккумулятор*

## **Введение**

Увеличение протяженности линий городского электрического транспорта в городах позволяет сократить объем вредных выбросов в атмосферу, повысить скорость сообщения и провозную способность маршрутов, а также сократить эксплуатационные затраты. Основной причиной, замедляющей развитие электрических видов общественного транспорта, является высокая стоимость начальных вложений, состоящих из системы электроснабжения для всех видов электрического транспорта, а также пути для рельсовых его видов.

Инвестиции в систему электроснабжения линий электрического транспорта складываются из двух примерно равных частей: стоимости строительства контактной сети и тяговых подстанций. Как правило, ранее построенные тяговые подстанции имеют запас по мощности, что позволяет использовать их для питания вновь строящихся участков, сокращая тем самым стоимость развития сети транспорта.

Однако дальность передачи энергии по контактной сети ограничивается потерями энергии на её сопротивлении. В большинстве случаев протяженность секций контактной сети городского транспорта не превышает 1,5–2 км [1]. Как показано в [2], применение усиливающих проводов, повышающих суммарное сечение сети с 85 мм<sup>2</sup> до 200 мм<sup>2</sup> позволяет увеличить дальность передачи энергии, не требуя ограничения интенсивности движения, не более чем в 1,5–2 раза.

Повысить эффективность использования установленной мощности тяговых подстанций становится возможным в случае применения накопителей энергии [3, 4]. Установка накопителей возможна как на подвижном составе, так и в системе электроснабжения. Применение бортовых накопителей является наиболее целесообразным для безрельсового транспорта, поскольку значительно увеличивает его маневренность. Однако это решение увеличивает стоимость подвижного состава, а также приводит к дополнительным эксплуатационным затратам на перемещение накопителей. Поэтому на рельсовом городском транспорте наибольший экономический и эксплуатационный эффект дает стационарное размещение накопителей энергии. Важно отметить, что такое решение обеспечивает эксплуатацию всего парка существующего подвижного состава без его доработки.

Чтобы получить возможность продления секции контактной сети, питаемой тяговой подстанцией, предложено разместить аккумуляторный накопитель с зарядно-разрядным преобразователем с противоположной относительно подстанции стороны [2]. Как известно, тяговый ток обладает большой неравномерностью по времени [1, 5, 6]. На интервалах с низкой потребляемой мощностью такой накопитель находится в режиме заряда, потребляя сравнительно небольшой постоянный по величине ток. В моменты

наибольшего потребления энергии (при пуске подвижных единиц) накопитель переключается в режим отдачи энергии. В результате секция тяговой сети начинает работать в режиме двустороннего питания, что дополнительно сокращает потери энергии в контактном проводе.

Условием переключения накопителя из режима заряда в режим разряда является падение напряжения в тяговой сети ниже определенного уровня. Его выбор определяет количество энергии, которую способен получить накопитель за интервалы с малым током, потребляемым находящимся на секции подвижным составом. Кроме того, уровень напряжения ограничивает предельный ток заряда накопителя, а, значит, его мощность и энергоемкость.

Поскольку доля времени, в течение которого возможен заряд накопителя, количество потребляемой подвижным составом энергии и его мощность зависят от интенсивности движения, возникает вопрос о связи оптимального уровня напряжения, при котором происходит переход накопителя энергии из режима заряда в режим разряда, с интенсивностью движения транспортных средств. Его решение позволит наиболее эффективно использовать накопители энергии для увеличения протяженности секций контактной сети.

Кроме специфичного для условий эксплуатации вопроса о напряжении переключения, необходимо определение основных параметров накопителя энергии – его энергоемкости и мощности.

### **Материалы и методы**

Для исследования условий работы накопителя энергии применен метод вероятностного эксперимента. Предложена и реализована расчетная программа, в которой автоматически выполняется генерация координат и токов подвижных единиц на секции заданной длины. По этим данным производится расчет распределения токов между подстанцией и накопителем в предположении, что тяговый ток не зависит от напряжения на токоприемнике [5, 7].

Для каждого сочетания начальных условий решение задачи выполняется многократно, что позволяет рассмотреть различные возможные сочетания. Условия считаются допустимыми, если во всех рассмотренных ситуациях падение напряжения не превышает установленные нормами [8, 9] требования. При повторении для каждого сочетания начальных условий 10 серий по 1000 опытов среднеквадратичное отклонение результатов составило менее 1 %.

Распределение подвижных единиц по длине исследуемой секции условно принято равномерным, что допустимо при высокой плотности остановочных пунктов и пересечений линии в одном уровне [1]. Распределение тягового тока по времени получено методом тягового расчета для наиболее распространенного типа четырёхосных трамвайных вагонов 71-605 (рисунок 1).

Так как расчет выполнен для вагона, оборудованного реостатно-контакторной системой управления, полученные результаты гарантируют эксплуатацию на секции вагонов с более экономичными импульсными системами управления. При расчете принято, что постоянно потребляемая каждым вагоном мощность собственных нужд составляет 20 кВт, что характерно для зимнего периода. Подробное описание использованной модели приведено в [2].

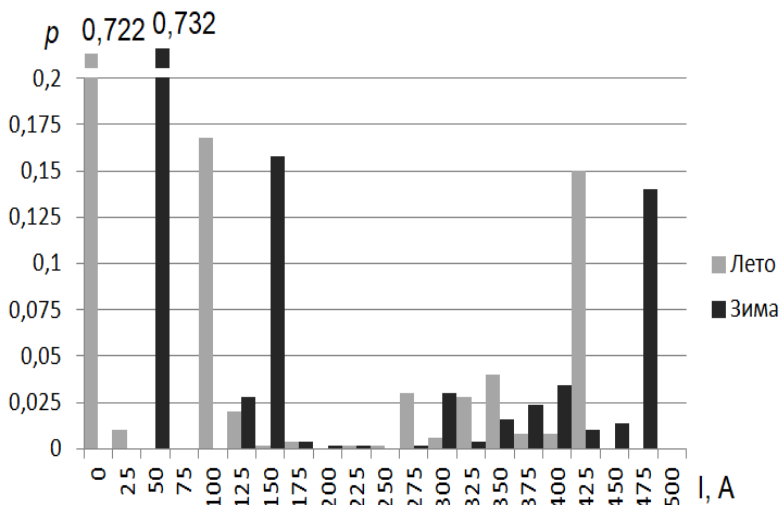


Рисунок 1 – гистограмма расчетного распределения тягового тока на токоприемнике трамвайного вагона

При расчете приняты следующие исходные данные. Сопротивление тяговой сети рассчитано для двухпутной линии с контактным проводом МФ-85, рельсами Р-65 и межпутевыми параллельными соединителями. Удельные сопротивления элементов схемы замещения приняты согласно [10]. Коэффициент повторного использования энергии принят равным 0,7 [3, 4, 11].

Рассмотрены секции протяженностью от 1 до 6 км с плотностью вагонов от 0,5 до 5 единиц на 1 км протяженности линии суммарно в обоих направлениях. Для каждого случая определен минимально достаточный ток накопителя, а по току – его требуемая мощность. Также найдено оптимальное значение напряжения перехода между режимами заряда и разряда.

Так как особенности примененного метода вероятностного эксперимента позволяют получить только мгновенные независимые сочетания тяговых

токов, но не позволяют определить длительность нахождения в них системы электроснабжения, прямое определение требуемой энергоемкости накопителя на используемой модели оказывается невозможным. Косвенная оценка требуемой энергоемкости может быть выполнена следующим образом. По отношению тока накопителя к пусковому току вагона может быть найдено количество одновременно питаемых накопителем вагонов. Необходимая энергоемкость может быть определена по среднему расходу энергии на пуск вагона до перехода на движение в режиме выбега, которое, согласно результатам выполненного тягового расчета, составляет около 2 МДж (0,6 кВт-ч).

Поскольку в условиях эксплуатации аккумуляторов на городском транспорте вес накопителя лимитируется его мощностью, а не энергоемкостью [4, 11], приоритетным для разработки проекта накопителя вопросом является определение требований именно по мощности, а не энергоемкости аккумулятора. При необходимости задача исследования процесса его заряда и разряда может быть решена методами имитационного моделирования.

### **Результаты и обсуждение**

Результаты выполненного расчета представлены в таблицах 1 и 2. В них приведен номинальный ток накопителя энергии, устанавливаемого на секциях контактной сети с усиливающим проводом и без него. Нулевая мощность означает возможность работы секции без установки накопителя с соблюдением нормативных требований по падению напряжения. В таблицах символом «х» отмечены случаи, при которых потери энергии в сети не позволяют эксплуатацию желаемого количества вагонов.

В процессе пуска одиночный вагон потребляет ток около 450 А, что соответствует мощности до 300 кВт. По этой причине в ходе расчета возможные значения номинального тока накопителя были заданы с шагом 500 А.

Как показывают результаты расчетного эксперимента, применение накопителя номинальной мощностью 600–900 кВт позволит дополнительно эксплуатировать 3–4 единицы подвижного состава на секции тяговой сети. При этом наибольший эффект применение накопителей дает на секциях наибольшей протяженности (3–6 км), эксплуатация которых без установки накопителя энергии затруднена даже в случае прокладки усиливающих проводов.

Предлагаемый накопитель и его зарядно-разрядный преобразователь может быть изготовлен на основе серийно выпускаемых комплектов тягового оборудования для подвижного состава электротранспорта с автономным ходом.

Помимо повышения протяженности секций тяговой сети, применение накопителей выравнивает токовую нагрузку на подстанцию, что облегчает режимы работы выпрямительных агрегатов и позволяет повысить их среднюю мощность. Кроме того, повышается надежность работы системы

электроснабжения. Имеющийся в накопителе запас энергии позволит вывести подвижной состав с секции увеличенной длины при отказе тяговой подстанции.

Таблица 1 – Номинальный ток накопителя энергии при различном количестве вагонов на секции без усиливающего провода

кол-во вагонов	длина секции, м						
	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000
1	0	0	0	0	0	x	x
2	0	0	0	0	500	x	x
3	0	0	0	500	500	x	x
4	0	0	500	500	1000	x	x
5	0	500	500	1000	4000	x	x
6	0	500	1000	2000	x	x	x
7	0	1000	2000	x	x	x	x
8	500	1500	x	x	x	x	x
9	1000	4000	x	x	x	x	x
10	2000	x	x	x	x	x	x
11	4000	x	x	x	x	x	x
12	x	x	x	x	x	x	x

Таблица 2 – Номинальный ток накопителя энергии при различном количестве вагонов на секции с усиливающим проводом

кол-во вагонов	длина секции, м						
	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	500
5	0	0	0	0	0	500	500
6	0	0	0	0	0	500	1000
7	0	0	0	0	500	1000	1000
8	0	0	0	0	1000	2000	x



9	0	0	0	0	2000	x	x
10	0	0	0	500	4000	x	x
11	0	0	0	1000	x	x	x
12	0	0	1000	2000	x	x	x
13	0	0	1000	4000	x	x	x
14	0	0	2000	x	x	x	x
15	0	0	4000	x	x	x	x

На рисунке 2 показана зависимость отношения максимально возможного количества принимаемой и отдаваемой накопителем энергии  $E_3/E_p$  от падения напряжения на сопротивлении сети между тяговой подстанцией и накопителем. Номинальный ток накопителя составляет 1000 А, протяженность секции 4000 м.

Поскольку процесс заряда и разряда накопителя сопряжен с потерями энергии в нем, эффективная работа возможно при отношении максимально возможного количества принимаемой и отдаваемой накопителем энергии  $E_3/E_p$  выше минимального уровня, составляющего 1,4 при коэффициенте повторного использования энергии накопителя равном 0,7.

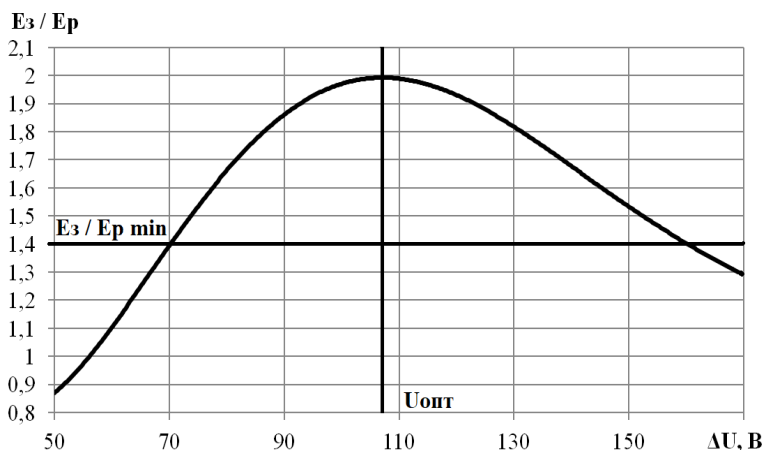


Рисунок 2 – зависимость отношения максимального возможного количества принятой и отданной накопителем энергии от падения напряжения, при котором происходит переход накопителя из режима заряда в режим разряда

Как показали результаты расчета, оптимальное отношение достигается при падении напряжения  $U_{опт} = 100 - 110$  В. Изменение нагрузки на накопитель и его номинальной мощности влияют на абсолютную величину отношения отдаваемой и принимаемой энергии, но не оказывают значительного влияния на величину оптимального падения напряжения. Широкий допустимый диапазон напряжений может быть объяснен скачкообразным характером изменения потребляемого тока и, соответственно, напряжения контактной сети при переходе вагона между режимами тяги и выбега.

### **Выводы**

Авторами показано, что существует возможность сократить стоимость и повысить сроки сооружения новых линий городского электрического транспорта, примыкающих к эксплуатируемой сети, при замене новой тяговой подстанции накопителем энергии, получающим питание по контактному проводу от подстанции на действующем участке. Отмечено положительное влияние накопителя энергии на надежность системы электроснабжения. Методом вероятностного эксперимента определены требования к предложенному накопителю. Показано, что при продлении линий трамвая на 3–5 км целесообразно применение стационарных накопителей на основе литий-ионных аккумуляторов мощностью до 600–900 кВт, что позволит дополнительно эксплуатировать 3–4 единицы подвижного состава на секции тяговой сети. Установлено, что наиболее эффективный режим работы накопителя достигается при переключении между режимами заряда и разряда при напряжении, на 100–110 В меньшем напряжения холостого хода тяговой подстанции. Для уточнения полученных результатов необходимо использование имитационной модели, учитывающей режимы движения вагонов и влияние напряжения на токоприемнике на их тяговые характеристики.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Сопов В. И., Щуров Н. И.** Системы электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе [Текст]. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2013. – 727 с.

2 **Ярославцев М. В.** Сравнительный анализ способов электроснабжения городского электрического транспорта при продлении существующих линий [Текст] // Наука и техника Казахстана. – 2022. – №3. – С. 149–159.

3 **Штанг А. А., Спиридонов Е. А., Ярославцев М. В.** Применение накопителей энергии в системах электроснабжения городского электрического транспорта [Текст] // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3–4 (40–41). – С. 68–70.

4 **Yaroslavtsev, M. V.** Increasing the length of trolleybus contact line sections by installation of stationary energy storage posts [Text] // Proceedings of International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM. – 2018. – P. 473–476.

5 **Шевченко, В. В., Арзамасцев, Н. В., Бодрухин, Н. С.** Электроснабжение наземного городского транспорта [Текст]. – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.

6 **Марквардт К. Г.** Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст]. – М. : Транспорт, 1982. – 524 с.

7 **Diab, I., Saffirio, A., Mouli, G.R.C., Tomar, A.S., Bauer P.** A Complete DC Trolleybus Grid Model With Bilateral Connections, Feeder Cables, and Bus Auxiliaries [Text]. // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2022. – Vol. 23 (10) – P. 19030–19041. – DOI: 10.1109/TITS.2022.3157080

8 ГОСТ 23366-78 Ряды номинальных напряжений постоянного и переменного тока [Текст]. – М. : Комитет стандартизации и метрологии, 1978. – 7 с.

9 СНиП 2.05.09-90 Трамвайные и троллейбусные линии [Текст]. – М.: Государственный строительный комитет, 1990. – 40 с.

10 **Кузнецов, С. М.** Защита тяговой сети от токов короткого замыкания [Текст]. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2018. – 312 с.

11 **Yuanli D., Zachary P., Aiping, Yu., Jun, Lu., Zhongwei Chen** Automotive LiIon Batteries: Current Status and Future Perspectives [Text] // Electrochemical Energy Reviews. – 2019. – Vol. 2. – P. 1-28. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s41918-018-0022-z>

## REFERENCES

1 **Sopov, V. I., Shhurov, N. I.** Sistemy e`lektrosnabzheniya e`lektricheskogo transporta na postoyannom toke [Energy supply systems of DC electric transport] [Text]. – Novosibirsk : NSTU publ., 2013. – 727 p.

2 **Yaroslavtsev M. V.** Sravnitel`ny`j analiz sposobov e`lektrosnabzheniya gorodskogo e`lektricheskogo transporta pri prodlenii sushhestvuyushhix linij [The comparison of energy supply methods for city electric transit while extending existing routes] [Text] // Nauka i tekhnika Kazaxstana. – 2022. – Vol. 3. – P. 149–159.

3 **Shtang, A. A., Spiridonov, E. A., Yaroslavtsev, M. V.** Primenenie nakopitelej e`nergii v sistemax e`lektrosnabzheniya gorodskogo e`lektricheskogo transporta [Application of energy storage devices in the energy supply system of electric transport] [Text] // Transport Rossijskoj Federacii. – 2012. – № 3–4 (40-41). – P. 68–70.

4 **Yaroslavtsev, M. V.** Increasing the length of trolleybus contact line sections by installation of stationary energy storage posts [Text] // Proceedings

of International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM. – 2018. P. 473–476.

5 **Shevchenko, V. V., Arzamashev, N. V., Bodruxina, N. S.** E'lektrosnabzhenie nazemnogo gorodskogo transporta [Energy supply of city electric transit] [Text]. – Moscow: Transport, 1987. – 271 p.

6 **Markvardt, K. G.** E'lektrosnabzhenie e'lektroficirovanny'x zhelezny'x dorog [Energy supply of electrified railways] [Text]. – Moscow: Transport, 1982. – 524 p.

7 **Diab, I., Saffirio, A., Mouli, G.R.C., Tomar, A.S., Bauer, P. A** Complete DC Trolleybus Grid Model With Bilateral Connections, Feeder Cables, and Bus Auxiliaries [Text] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2022. – Vol. 23 (10) P 19030–19041. – DOI: 10.1109/TITS.2022.3157080

8 GOST 23366-78 Ryady` nominalny'x napryazhenij postoyannogo i peremennogo toka [Series of nominal DC and AC voltages] [Text]. – Moscow : standardization and metrology committee, 1978. – 7 p.

9 SNiP 2.05.09-90 Tramvajny'e i trollejbusny'e linii [Tramway and trolleybus lines] [Text]. – Moscow : State construction committee, 1990. – 40 p.

10 **Kuznetsov S. M.** Zashhita tyagovoj seti ot tokov korotkogo zamy`kaniya [Protection of traction networks form short circuit currents] [Text]. – Novosibirsk : NSTU publ., 2018. – 312 p.

11 **Yuanli D., Zachary P., Aiping Yu., Jun Lu., Zhongwei Chen** Automotive LiIon Batteries: Current Status and Future Perspectives [Text] // Electrochemical Energy Reviews. – 2019. – Vol. 2. – P. 1–28. – DOI: <https://doi.org/10.1007/P.41918-018-0022-z>

Материал поступил в редакцию 13.03.23.

*\*М. В. Ярославцев<sup>1</sup>, О. М. Талипов<sup>2</sup>, А. П. Кислов<sup>3</sup>, О. А. Андреева<sup>4</sup>,  
А. Е. Анарбаев<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал баспаға 13.03.23 түсті.

## **ҚАЛАЛЫҚ ЭЛЕКТР КӨЛІГІНІҢ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛІГІНІҢ БӨЛІМДЕРІНІҢ ҰЗЫНДЫҒЫН АРТУ ҮШІН ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ**

*Қалалық электр көлігі желілерінің белсенді дамуын қамтамасыз  
ету үшін олардың құрылысының құнын төмендету қажет, бұл  
кейбір жағдайларда тартқыш электрмен жабдықтаудың қуат қоры  
болған жағдайда ұзартылған желілерде жаңа тартқыш қосалқы*

станцияларды салудан бас тарту арқылы қол жеткізуге болады. қолданыстағы бөлімдердегі жүйе.

Бұл жағдайда бір жақты қоректендіруі бар ұзартылған тартқыш желінің учаскелері арқылы энергияны беру мәселесі туындайды. Электр энергиясын алыс қашықтыққа контактілі желі арқылы беруді қамтамасыз ету үшін арматуралық сымдарды қолдануға, сондай-ақ энергия сақтау құрылғыларын орнатуға болады.

Бұл мақалада төмен жүктеме кезінде байланыс желісінен энергия алатын және автомобильдерді іске қосу кезінде ең көп тұтыну кезеңдерінде беретін батареяларды сақтау құрылғыларын орнату қарастырылады. Өздігінен басқарылатын вагондарды пайдаланумен салыстырғанда, ұсынылған тәсіл төмен шығындарды талап етеді және жаңадан салынған учаскеде бар жылжымалы құрамның барлық паркін пайдалану мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Жұмыста ұзартылған учаскелердегі жылжымалы құрамның рұқсат етілген мөлшері және энергия сақтау құрылғысының қажетті қуаты ықтималдық эксперимент әдісімен анықталады. Энергияны сақтау құрылғысының жұмыс режимдерінің талдауы жүргізіледі, зарядтау және разряд режимдері арасындағы оптималды ауысу кернеуі анықталады.

*Кілтті сөздер:* қалалық электр көлігі, трамвай, электрмен жабдықтау, байланыс желісі, литий-иондық аккумулятор

*M. V. Yaroslavtsev<sup>1</sup>, O. M. Talipov<sup>2</sup>, A. P. Kislov<sup>3</sup>, O. A. Andreyeva<sup>4</sup>  
A. Ye. Anarbayev<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 13.03.23

## **CALCULATION OF PARAMETERS OF ENERGY STORAGE FOR INCREASING TRACTION NETWORK SECTION LENGTH AT CITY ELECTRIC TRANSIT**

*Active development of city electric transit lines requires their initial cost reduction. This can be achieved by refusing from construction of new traction substations at extended tracks when existing substations have sufficient power reserves.*

*In this case the problem of energy transmission over traction network sections of increased length with single-side feeding raises. To transmit the energy over contact wires it is possible to increase the contact network cross-section by additional wires and to install the energy storage devices.*

*The proposed battery storages should charge with the energy received from contact network during the periods of low power load and discharge in the periods of high power demand. Comparing to introduction of autonomous battery-powered wagons the proposed approach is cheaper and enables operation of all existing rolling stock on the constructed tracks.*

*In the article the possible number of wagons at the traction network section is found by probabilistic experiment method. The required power of energy storage device is also obtained. The operational modes of the energy storage are analyzed and the optimal voltage of transition between charge and discharge modes is received.*

*Keywords: city electric transit, tramway, energy supply, contact network, lithium-ion battery.*

Теруге 13.03.2023 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2023 ж. кол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4039

Сдано в набор 13.03.2023 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4039

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)