

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2022)

---

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем  
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,  
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/KWJR9225>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,342**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**\*М. В. Ярославцев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПРОДЛЕНИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЛИНИЙ**

*Важной задачей развития городского электротранспорта является сокращение затрат на строительство инфраструктуры. Значительное снижение стоимости продления линий в существующих системах городского электротранспорта может быть достигнуто путем отказа от строительства новых тяговых подстанций в случае наличия резерва по мощности системы тягового электроснабжения на действующих участках.*

*В этом случае возникают секции тяговой сети повышенной протяженности, имеющие одностороннее питание. В работе выполнено сравнение нескольких способов обеспечения их электроснабжения: прокладки усиливающих проводов, размещения стационарных накопителей энергии, обеспечивающих выравнивание уровня напряжения контактной сети и применения контактно-аккумуляторного подвижного состава в режиме автономного хода.*

*Выполнена оценка максимальной протяженности секций тяговой сети трамвая при известных размерах движения для каждого из вариантов. Лимитирующими величинами являются среднее и минимальное напряжения на токоприемниках движущихся по ней вагонов. Чтобы найти распределение напряжения на токоприемнике, методом тягового расчета получено распределение потребляемых вагоном токов. На основании статистических испытаний определены мгновенные падения напряжения в тяговой сети при различных состояниях находящихся на её секции вагонов.*

*По итогам расчета выполнено технико-экономическое сравнение вариантов, предложены области эффективного применения предлагаемых решений.*

*Ключевые слова: городской электрический транспорт, электроснабжение, тяговая сеть, контактно-аккумуляторный подвижной состав/*

### **Введение**

Характерной для сегодняшнего дня задачей повышения качества обслуживания населения электрическим транспортом является продление ранее построенных линий в районы вновь формирующейся застройки. Если такие районы примыкают к существующей застройке, то в ряде случаев увеличение протяженности эксплуатируемого маршрута всего на 1–3 км позволяет существенно увеличить количество жителей в зоне пешей доступности линии.

Развитие городского электрического транспорта, обладающего такими преимуществами, как экологичность, высокая провозная способность, низкие эксплуатационные затраты, сдерживается высокой стоимостью строительства инфраструктуры. В этой ситуации приобретает большую важность поиск путей наиболее полного использования резервов ранее созданной инфраструктуры, в первую очередь в системе электроснабжения.

Как правило, система электроснабжения электрического транспорта имеет запас по мощности, поскольку текущая интенсивность движения является меньше проектной [1]. Создание методов передачи энергии на тягу от существующих линий на вновь строящиеся позволило бы отказаться от строительства дорогостоящих тяговых подстанций на вновь прокладываемых линиях по крайней мере на первоначальном этапе их эксплуатации, характеризующемся относительно низкой интенсивностью движения.

Можно предложить несколько способов повышения дальности передачи энергии без постройки дополнительных тяговых подстанций:

1 Продление существующих секций тяговой сети. В начальный период развития городского транспорта, при малой мощности тягового оборудования и низкой интенсивности движения, среднее расстояние между тяговыми подстанциями составляло 5–6 км. К 1970-м гг., по мере внедрения и роста пассажиропотоков возникла потребность в сокращении расстояния между тяговыми подстанциями до 1–2 км [2]. Увеличение протяженности секций тяговой сети приведет к значительному падению напряжения на токоприемнике электроподвижного состава (ЭПС) во время его пуска и может быть принято без дополнительных мероприятий только при малой протяженности продлеваемой линии и крайне низкой интенсивности движения.

2 Продление секций тяговой сети с прокладкой усиливающих проводов. Увеличение суммарного сечения проводников в контактной сети является традиционным подходом, широко применяемым на железных дорогах [3]. Прокладка усиливающих проводов общим сечением до 200 мм<sup>2</sup> на опорах контактной сети позволит сократить её сопротивление в 2–4 раза. Однако этот метод, как и предыдущий, не перераспределяет пиковый потребляемый ток во времени либо пространстве. Следует также учитывать, что контактная сеть не является единственным элементом, на котором происходит потери напряжения при передаче энергии. Часть потерь относится к рельсовой сети, фидерным кабелям и внутреннему сопротивлению выпрямительных агрегатов подстанций.

3 Продление секций тяговой сети с установкой стационарных накопителей энергии. Как известно [1], поездные токи на городском транспорте обладают высокой неравномерностью. Значительную долю времени занимает движение в режимах выбега и торможения, а также посадка пассажиров на остановках. В это время система электроснабжения обладает резервом мощности, который можно использовать для передачи энергии на стационарный аккумуляторный либо конденсаторный накопитель, расположенный на удалении от тяговой подстанции. В моменты пикового потребления энергии при пуске тягового электропривода

накопитель будет способен отдавать энергию, поддерживая необходимый уровень напряжения на токоприемнике.

4 Применение контактно-аккумуляторного подвижного состава. В настоящее время этот способ широко используется на троллейбусе и несколько реже на трамвае. Он обеспечивает автономный ход на участках протяженностью до 30% от общей длины маршрута. Преимуществом метода является перераспределение зарядного тока на большое число подстанций, в зоне которых проходит маршрут.

Главным недостатком является необходимость оборудования подвижного состава накопительными устройствами (обычно литий-железофосфатными или литий-титанатными батареями), имеющими большую стоимость для обеспечения отдачи высокой мощности. Высокий вес накопителей также увеличивает затраты энергии на тягу, а большие их габариты сокращают вместимость. Кроме того, возникает необходимость специализации подвижного состава по обслуживаемым маршрутам.

#### **Материалы и методы**

Основным требованием к тяговым источникам энергии является поддержание уровня напряжения на токоприемнике (клеммах тяговой батареи) не ниже заданного уровня. Согласно требованиям к уровню напряжения, заданным в [4, 5], необходимо обеспечить среднее падение напряжения на токоприемнике не превышающее 90 В, а минимальное мгновенное значение напряжения должно составлять не менее 400 В, что соответствует падению напряжения в сети на 200 В.

Автором выполнено сравнение предложенных решений для случая продления линии трамвая, на которой эксплуатируются наиболее распространенные до настоящего времени вагоны модели 71–605. Для расчета токовых нагрузок и потерь напряжения сети применен статистический подход. Приблизительно принято, что тяговый ток вагона не зависит от напряжения на токоприемнике, т. к. в большей части рабочих режимов он определяется уставкой реле ускорения.

С использованием имитационной модели [6] выполнен тягово-энергетический расчет движения вагона по типовому участку маршрута. В результате получены кривые тягового тока, показанные на рисунке 1 в сравнении с зависимостью скорости движения от времени. При расчете принято, что для всех участков маршрута характерны близкие режимы движения, с типичным для условий городской застройки расстоянием между остановочными пунктами 350 м. и расстоянием между регулируемыми пересечениями улиц 1 км.

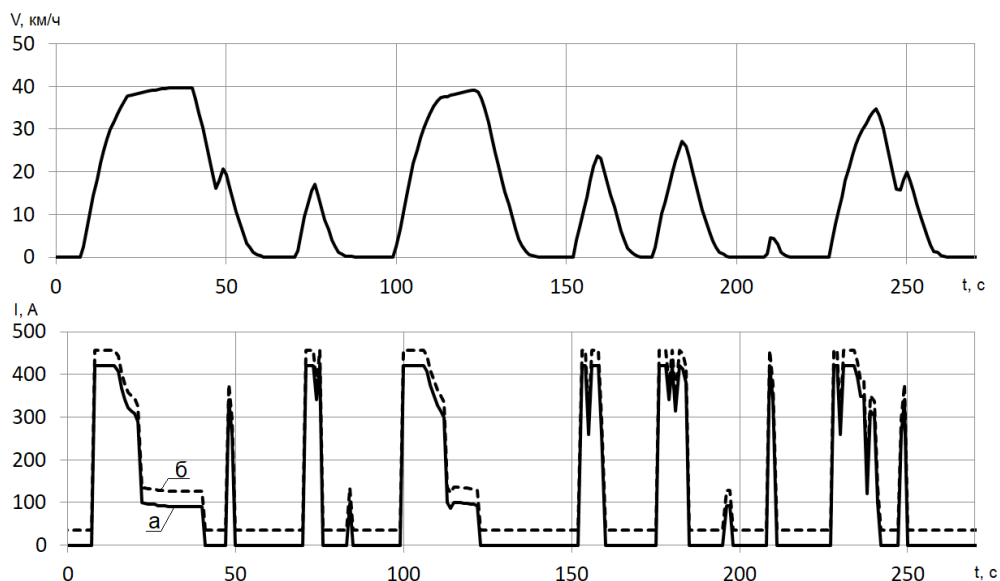


Рисунок 1 – Графики скорости движения вагона и потребляемого им тока в летних (а) и зимних (б) условиях

Расчетом получены графики тока в летних и зимних условиях, различающиеся главным образом потреблением собственных нужд на отопление. Принято, что в зимних условиях мощность постоянно включенных отопительных приборов вагона составляет 20 кВт. Для дальнейшего расчета приняты результаты для зимних условий, поскольку в них нагрузка на систему электроснабжения выше.

На основе расчетных данных получено распределение тягового тока по времени (рисунок 2). Далее предполагается, что, поскольку расстояние между вагонами на исследуемом участке достаточно велико, режимы их движения не связаны и величины тяговых токов  $I_i(t)$  можно считать независимыми.

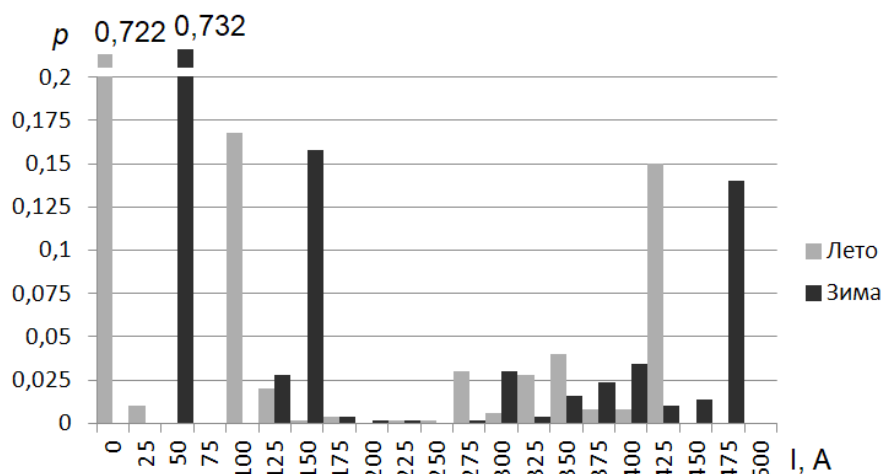


Рисунок 2 – гистограмма распределения тока, потребляемого трамвайным вагоном

В условиях поставленной задачи продления существующей линии исследуемая секция будет иметь одностороннее питание. В этом случае падение напряжения в тяговой сети определяется суммой токов, умноженных на её удельное сопротивление. Считая расписание движения равномерным, можно считать, что координаты находящихся на секции вагонов имеют равномерное распределение [7]. Падение напряжения на токоприемнике  $n$ -го, считая от точки подключения питающего фидера, вагона составит (1):

$$U_n(t) = \sum_{k=1}^n \left( \rho(l_k - l_{k-1}) \sum_{m=1}^k I_m \right), \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление тяговой сети, Ом/км,

$l_k$  – положение  $k$  вагона относительно точки подключения питающего секцию фидера  $l_0 = 0$ ,

$I_m$  – ток, потребляемый вагоном  $m$ .

Для способа 1 в случае использования провода МФ-85 и параллельного питания двухпутной линии удельное сопротивление сети составляет 0,117 Ом/км. К этой величине необходимо добавить сопротивление рельсов, составляющее для двойного пути из рельсов Р-65 около 0,01 Ом/км.

В случае применения усиливающих проводов 2хМ-100 (способ 2) удельное сопротивление контактной сети составит 0,049 Ом/км [8].

Чтобы упростить расчет выражений, содержащих большое количество случайных величин, и обеспечить возможность моделирования действия накопительных устройств, для получения распределения напряжений был выбран метод статистических испытаний. При расчете величины потребляемых токов для каждого вагона выбирались по гистограмме случайным образом.

Для способа 3 (установка стационарного накопителя энергии) необходимо несколько изменить методику расчета. Принято, что накопитель расположен в конечной точке секции. Накопитель сможет принять наибольшее и отдать наименьшее количество энергии, обеспечивая при этом требования по уровню напряжения в сети, в случае поддержания постоянным падения напряжения от тяговой подстанции до точки подключения накопителя на уровне 90 В.

Тогда ток заряда накопителя определяется выражением (2):

$$I = \frac{\Delta U}{R} = \frac{\Delta U_{НЭ} - U_n}{\rho(L - l_n)}, \quad (2)$$

где  $U_n$  – напряжение на токоприемнике наиболее удаленного от подстанции вагона,

$\Delta U_{НЭ}$  – напряжение на накопителе энергии,

$L$  – длина секции тяговой сети,

$l_n$  – расстояние до наиболее удаленного от подстанции вагона.

Полученное значение ограничивается мощностью накопителя. При расчете принято, что накопитель способен поддерживать одновременный пуск не более чем двух вагонов, и его допустимый ток ограничен величиной 1000 А. Как следует из распределения на рисунке 2, вероятность нахождения вагона в режиме тяги

составляет 26,8 %, и вероятность одновременного потребления пускового тока большим количеством вагонов мала.

В режиме отдачи энергии накопителем напряжения на токоприемниках необходимо рассчитывать для ситуации двустороннего питания. При этом принцип расчета [7] сохраняется, однако поездные токи делятся между источниками энергии – тяговой подстанцией и накопителем – обратно пропорционально расстоянию.

Накопитель будет способен поддерживать требуемый уровень напряжения, если полученная им энергия будет превышать отданную с поправкой на КПД, принятый на уровне 70 %. Выполнение этого условия ограничивает возможную длину секции, усиленной накопителем энергии.

Для способа 4 контактная сеть не требуется, поэтому он не имеет ограничений по системе электроснабжения.

#### Результаты и обсуждение

По описанной выше методике были получены распределения напряжений на токоприемнике для различного количества вагонов, одновременно находящихся на секции тяговой сети. Расчет производился для протяженности продлеваемой линии от 1 до 10 км. Для каждого набора исходных данных (способ энергоснабжения, количество вагонов, протяженность секции) было выполнено по 10 серий, состоящих из 1000 статистических экспериментов. При этом среднеквадратичное отклонение результатов составило менее 1% от их среднего значения. Таким образом, погрешность, вызванная генерацией случайных чисел, не оказывает существенного влияния на точность полученных результатов.

Полученные результаты представлены в таблице 1. На рисунке 3 показаны рекомендуемые области применения решений в зависимости от длины секции и расчетной интенсивности движения.

Таблица 1 – Допустимое количество вагонов на секции тяговой сети при различных способах повышения её протяженности

Протяженность секции, м	1000	1500	2000	3000	4000	5000	7000	10 000
Допустимое количество вагонов, ед.								
Без усиливающих проводов, без накопителя	13	7	4	2	1	0	0	0
Без усиливающих проводов, со стационарным накопителем	19	14	11	7	4	1	0	0
С усиливающими проводами, без накопителя	>25	25	17	9	6	4	2	0
С усиливающими проводами, со стационарным накопителем	>25	>25	23	17	15	11	7	4



Как показали результаты расчета, предложенные мероприятия позволяют в несколько раз повысить интенсивность движения на секциях тяговой сети увеличенной протяженности, доведя их длину до 5–7 км. При этом возможно сохранить привлекательный для пассажиров интервал движения в пределах 10–15 минут.

Следует отметить, что применение стационарных накопителей энергии технически и экономически целесообразно совместно с прокладкой усиливающих линий.

Полученное решение может быть оптимизировано путем смещения накопителя с конечной точки секции в сторону тяговой подстанции. Также представляет интерес вопрос о влиянии напряжения холостого хода подстанции и разности напряжений подстанции и накопителя на потери энергии в системе. Наиболее точный результат может быть получен с использованием имитационных моделей, обеспечивающих решение задачи о распределении токов на секции тяговой сети с учетом влияния уровня напряжения на токоприемнике на тяговые характеристики ЭПС [9, 10].

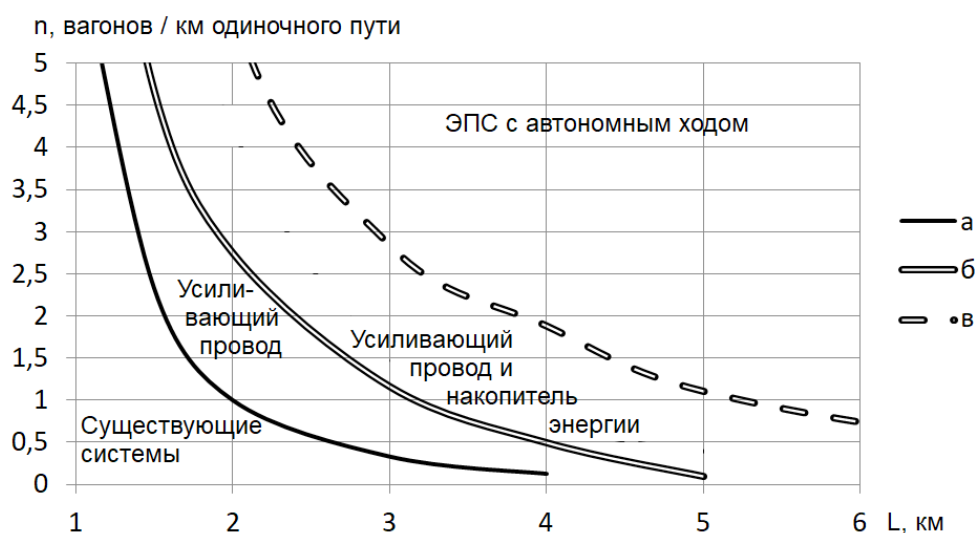


Рисунок 3 – рекомендуемые области применения технических решений в зависимости от длины секции и интенсивности движения.

На рисунке обозначена предельная интенсивность движения:

- а – без усиливающих проводов и накопителей энергии,
- б – с усиливающими проводами,
- в – с усиливающими проводами и стационарными накопителями.

При реализации необходимо учитывать, что увеличение длины секций приводит к снижению надежности системы. Для обеспечения возможности вывода части вагонов при повреждениях единственного нерезервируемого её элемента – контактной сети – можно предложить её секционирование с установкой

дистанционно управляемых секционных разъединителей. Также необходимо предусмотреть доработку защиты тяговой сети для исключения возможности питания точки короткого замыкания от накопителя при срабатывании защиты на тяговой подстанции.

При необходимости обеспечения интенсивности движения, превышающей ограничения предложенных методов, возможны варианты строительства тяговой подстанции либо эксплуатации подвижного состава с бортовыми накопителями.

### **Выводы**

В работе рассмотрены способы обеспечения электроснабжения подвижного состава городского электрического транспорта для случаев продления существующих линий без строительства новых тяговых подстанций. Особенностью ситуации является возникновение секций контактной сети повышенной протяженности с односторонним питанием. Для решения проблемы предложено применение усиливающих тросов, снижающих сопротивление тяговой сети, установка стационарных накопителей энергии либо применение подвижного состава с возможностью автономного хода.

Для предложенных способов определены границы применения по условиям нагрузки на тяговую сеть при помощи статистического эксперимента. Показано, что по мере увеличения протяженности секции тяговой сети и интенсивности движения, экономически целесообразна прокладка контактной сети с усиливающими проводами общим сечением до 200 мм<sup>2</sup>, при их недостаточности – установка стационарного накопителя энергии.

Для линии трамвая эти решения позволят обеспечить интервал движения до 10 минут при нахождении 7 вагонов на участке протяженностью 7 км. Дальнейшее продление участков и повышение частоты движения требуют строительство тяговых подстанций либо применение подвижного состава с возможностью автономного хода.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Сопов, В. И., Щуров, Н. И.** Электрические нагрузки систем тягового электроснабжения : монография [Текст]. – Новосибирск : изд-во НГТУ, 2017. – 170 с.

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

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

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

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

6 **Yaroslavtsev, M. V., Spiridonov, E. A.** Simulation Model of an Electric-Traction Network [Text] // Russian Electrical Engineering. – 2022. – Vol. 93. – Iss. 5. – P. 331–335. – EDN : KPFNJG. – DOI 10.3103/S1068371222050145

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

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

9 **Spiridonov, E. A., Yaroslavtsev, M. V.** Evaluation of energy recuperation efficiency for operating conditions of city electric transport [Text]. // Proceedings of IFOST-2016. 11th International Forum on Strategic Technology. – 2016. P. 61–64. – EDN: WMYFSX. – DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884334

10 **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

#### REFERENCES

1 **Сопов, В. И., Шхуров, Н. И.** Э`лектрические нагрузки систем тягового электроснабжения [Electric loads of traction energy supply systems] : monograph [Text]. – Новосибирск : NSTU publ., 2017. – 170 p.

2 **Shevchenko, V. V., Arzamashev N. V., Bodruxina, N. S.** Э`лектроснабжение наземного городского транспорта [Energy supply of city electric transit] [Text]. – Moscow : Transport, 1987. – 271 p.

3 **Markvardt, K. G.** Э`лектроснабжение э`лектрифицированных железных дорог [Energy supply of electrified railways] [Text]. – Moscow : Transport, 1982. – 524 p.

4 SNiP 2.05.09-90 Трамвайные и троллейбусные линии [Tramway and trolleybus lines] [Text]. – Moscow : State construction committee, 1990. – 40 p.

5 GOST 23366-78 Ряды` номинальных напряжений постоянного и переменного тока [Series of nominal DC and AC voltages] [Text]. – Moscow : standardization and metrology committee, 1978. – 7 p.

6 **Yaroslavtsev, M. V., Spiridonov, E. A.** Simulation Model of an Electric-Traction Network [Text]. In Russian Electrical Engineering. – 2022. – Vol. 93. – Iss. 5. – P. 331–335. – EDN: KPFNJG. – DOI 10.3103/S1068371222050145

7 **Сопов, В. И., Шхуров, Н. И.** Системы` электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе [Text]. – Новосибирск : NSTU publ., 2013. – 727 p.

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

9. **Spiridonov, E. A., Yaroslavtsev, M. V.** Evaluation of energy recuperation efficiency for operating conditions of city electric transport [Text]. In Proceedings of

IFOST-2016. 11th International Forum on Strategic Technology. – 2016. – P. 61–64. – EDN: WMYFSX. – DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884334.

10 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]. In IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2022. – Vol. 23 (10). – P. 19030–19041. – DOI: 10.1109/TITS.2022.3157080.

Материал поступил в редакцию 16.09.22

**\*М. В. Ярославцев**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға түсті 16.09.22.

### **ҚОЛДАНЫЛҒАН ЖЕЛІЛЕРДІ КЕҢЕЙТУ КЕЗІНДЕГІ ҚАЛАЛЫҚ ЭЛЕКТР КӨЛІГІН ЭНЕРГИЯМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ**

*Қалалық электр көлігін дамытудың маңызды міндеті инфрақұрылым құрылысының құнын төмендету болып табылады. Қолданыстағы қалалық электр көлігі жүйелеріндегі желілерді ұзарту құнының айтарлықтай төмендеуіне, егер қолданыстағы учаскелердегі тартқыш электрмен жабдықтау жүйесінің қуатына резерв болған жағдайда жаңа тартқыш қосалқы станцияларды салудан бас тарту арқылы қол жеткізуге болады.*

*Бұл жағдайда ұзындықты ұлғайтылған, бір жақты қоректендіруге ие тартқыш желінің учаскелері бар. Жұмыста оларды электрмен жабдықтауды қамтамасыз етудің бірнеше тәсілдері салыстырылады: арматуралық кабельдерді төсеу, контактілі желінің кернеудеңгейін теңестіруді қамтамасыз ететін стационарлық энергия сақтау құрылғыларын орналастыру және автономды жұмыс режимінде контактілі-аккумуляторлы жылжымалы құрамды пайдалану.*

*Трамвайдың тарту желісі учаскелерінің максималды ұзындығын бағалау әрбір нұсқа үшін белгілі қозғалыс өшемдері үшін жасалады. Шектеу мәндері оның бойымен қозғалатын автомобильдердің ток коллекторларындағы орташа және минималды кернеулер болып табылады. Ток коллекторындағы кернеудің таралуын табу үшін тартқышты есептеу әдісімен автомобиль тұтынатын токтардың таралуы алынды. Статистикалық сынақтардың негізінде оның учаскесінде орналасқан вагондардың әртүрлі жағдайларында тартқыш желідегі кернеудің лездік төмендеуі анықталды.*

*Есептеу нәтижелері бойынша нұсқалардың техникалық-экономикалық салыстыруы жасалып, ұсынылған шешімдерді тиімді қолдану бағыттары ұсынылды.*

*Кілтті сөздер: қалалық электр көлігі, электрмен жабдықтау, тарту желісі, контактілі-аккумуляторлы жылжымалы құрам.*

*\*M. V. Yaroslavtsev*

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 16.09.22

## **THE COMPARISON OF ENERGY SUPPLY METHODS FOR CITY ELECTRIC TRANSIT WHILE EXTENDING EXISTING ROUTES**

*An important task of city electric transit development is the reduction of initial investments in its infrastructure. The significant reduction of route extension investments can be achieved by refusal of creating new traction substations if existing ones are having power reserves.*

*In this case the traction network sections of increased length appear. In the paper a comparison of several methods ensuring their energy supply are considered: installation of additional cables, placing stationary energy storage devices to flatten the voltage levels in the network and application of contact-battery rolling stock able to autonomous motion.*

*The maximal length of described traction network sections is estimated for each of proposed solutions. It is being limited by average and instant minimal voltage levels measured at pantographs of vehicles on the section. To find the voltage distribution at pantograph the distribution of traction currents was obtained first by traction calculation. Using the Monte-Carlo approach the instant voltage drops in the traction network were found for different states of the vehicles at the considered section.*

*A technical and economical comparison of proposed solutions is performed, the most suitable fields of application for each solution are shown.*

*Keywords: city electric transit, energy supply, traction network, contact-battery vehicle.*

Теруге 16.09.22 ж. жіберілді. Басуға 30.09.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 11,05 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 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)

[nitk.tou.edu.kz](http://nitk.tou.edu.kz)