



## РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КОНТАКТНЫХ СЕТЕЙ ТРАМВАЙНЫХ И ТРОЛЛЕЙБУСНЫХ ЛИНИЙ

*Ю. В. Лазуткин, В. А. Петров, Н. А. Сушилина*

**Лазуткин Юрий Викторович**, заместитель директора по городскому наземному электрическому транспорту, Научно-исследовательский и проектный институт городского транспорта города Москвы «МосТрансПроект»; аспирант, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

**Петров Василий Алексеевич**, начальник отдела контактных и кабельных сетей, Научно-исследовательский и проектный институт городского транспорта города Москвы «МосТрансПроект», г. Москва, Российская Федерация;

**Сушилина Наталья Алексеевна**, заместитель начальника отдела контактных и кабельных сетей, Научно-исследовательский и проектный институт городского транспорта города Москвы «МосТрансПроект», г. Москва, Российская Федерация

В статье представлен анализ развития конструктивно-технологических решений и элементов, применяемых при строительстве контактных сетей городского электрического транспорта, а также современные тенденции и перспективы развития. Инновационные конструкции и технологии, применяемые для строительства контактной сети городского транспорта, обеспечивают безопасность, скорость и эксплуатационную надежность всего комплекса. Исследование многих факторов влияет на выбор оптимальной схемы подвешивания контактного провода и расстановки опор контактной сети. Рассмотрены особенности замены стального каната на композитный трос из кевларовых волокон для устройства тросовых поперечин и подвешивания контактного провода применения, что будет серьезным шагом к фундаментальным преобразованиям технологий, применяемых при возведении городского электрического транспорта.

**Ключевые слова:** трамвайные пути, конструктивно-технологические решения, строительство, элементы контактной сети, грузовой компенсатор, фиксатор контактного провода, токоприемник.

## DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF CONTACT NETWORKS OF TRAM AND TROLLEYBUS LINES

*Yu. A. Lazutkin, V. A. Petrov, N. A. Sushilina*

**Lazutkin Yuriy Viktorovich**, Deputy Director for Urban Ground Electric Transport, Research and Design Institute of Urban Transport of Moscow "MosTransProekt"; postgraduate student, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

**Petrov Vasiliy Alekseyevich**, Head of the Department of Contact and Cable Networks, Scientific Research and Design Institute of Urban Transport of Moscow "MosTrans-Project", Moscow, Russian Federation;

**Sushilina Nataliya Alekseyevna**, Deputy Head of the Department of Contact and Cable Networks, Research and Design Institute of Urban Transport of Moscow "MosTransProekt", Moscow, Russian Federation

The article presents an analysis of the development of structural and technological solutions and elements used in the construction of urban electric transport contact networks, current trends and development prospects. Innovative designs and technologies used for the construction of the urban transport contact network ensure the safety, speed and operational reliability of the entire urban transport complex. The study of many factors influences the choice of the optimal scheme for hanging the contact wire and installing the supports of the contact network. The features of replacing a steel rope with a composite cable made of Kevlar fibers for the installation of cable crossbars and suspension of the contact wire of the application are considered, which will be a serious step towards fundamental transformations of technologies used in the construction of urban electric transport.

**Keywords:** tram tracks, contact network, elements of the contact network, contact wire, cargo compensator, contact wire retainer, current collector.

## Введение

Строительство любых видов транспорта положительно сказывается на экономике города, региона или страны. Запуск первой электрифицированной трамвайной линии стал отправной точкой к тому, что Москва постепенно приобрела звание крупнейшего города Европы и одной из самых больших транспортных систем мира. Торжественное открытие состоялось 6 апреля 1899 года.

Начиналась история московского трамвая с одной линии 2,5 км. Сегодня же протяженность трамвайных путей в столице составляет уже 417 км. Все это время рельсовую сеть транспорта сопровождает одна первостепенная и самая важная деталь – контактная сеть.

Современные материалы и технологии производства элементов контактной сети кардинально изменили облик и технические характеристики ее конструктивно-технологического решения, а главное – увеличили безопасность эксплуатации. С одной стороны, может показаться, что контактная сеть трамвая за более чем 100 лет не претерпела существенных изменений, но это не так.

Основным действующим сводом правил является СП 98.13330.2018 «Трамвайные и троллейбусные линии». Он устанавливает требования, которыми следует руководствоваться при проектировании, строительстве и эксплуатации контактных сетей городского наземного электрического транспорта.

### Питание контактной сети

Между трамвайной линией и линией пригородного электропоезда существует ряд значимых расхождений. Пожалуй, самое серьезно отличие – в напряжении питания контактной сети. Для трамвайного и троллейбусного движения в России используется сеть 600 В постоянного тока. Для магистрального и пригородного железнодорожного транспорта существует два вида питания – 3000 В постоянного тока и 25000 В переменного.

В настоящее время при электрификации железных дорог предпочтение отдается переменному току. При этой системе благодаря высокому напряжению тяговые подстанции можно располагать на большем расстоянии друг от друга (через 40–60, а иногда и 80 км), чем при постоянном токе (через 15–25 км). Общую площадь сечения проводов контактной сети можно существенно уменьшить (обычно 140 мм<sup>2</sup>, при постоянном токе она составляет 700 мм<sup>2</sup> и при необходимости протягивается второй провод).

Неоспоримыми положительными качествами системы переменного тока являются

высокие тяговые свойства электровозов и отсутствие интенсивной коррозии подземных искусственных сооружений. Можно существенно увеличивать вес составов, а отсюда возрастает пропускная способность железных дорог, да и материальные затраты при электрификации переменным током ниже. Однако есть у контактной сети переменного тока и существенный недостаток – она оказывает сильное индуктивное влияние на другие проводники электрического тока, находящиеся в зоне действия ее электромагнитного поля – воздушные и кабельные линии связи, телеуправления, радиовещания, силовые и осветительные, кабели питания автоблокировки и др. Приходится удалять их на большое расстояние или калибровать.

В системе городского электрического транспорта участки питания контактной сети значительно меньше железнодорожных и составляют порядка 1–1,5 км. Тяговые подстанции располагаются гораздо ближе друг к другу. В тесной городской застройке приходится изыскивать места для их установки.

Отличительной особенностью строения контактной сети на городском электрическом транспорте (ГЭТ) является применение в основном медного контактного провода номинальным сечением 85, 100 и реже 120 мм<sup>2</sup>, где элементы и специальные части более компактные и легкие.

Важные отличия заметны в радиусах кривых железных дорог и ГЭТ. В городских улочках они могут достигать нескольких десятков метров, в то время как на железной дороге этот показатель составляет сотни метров. В этом и кроется сложность при проектировании городских сетей транспорта. Большое количество подземных коммуникаций затрудняет установку опор контактной сети. В отличие от железной дороги, имеющей полосу отвода, в которой расположены поддерживающие устройства.

### Конструкция контактной сети

Основная задача всех систем и элементов контактной сети трамвая и троллейбуса – передача электрической энергии от тяговой подстанции к подвижному составу, следующему по линии. Согласно СП 98.13330.2018, «контактная сеть – совокупность устройств (опорные устройства, поддерживающие устройства, контактные подвески, специальные части, арматура), служащих для подведения электроэнергии непосредственно к токоприемнику подвижного состава.

Элементы сети можно разделить на два класса – токопроводящие части и непроводящие электрический ток.

К токопроводящим относится, главным образом, контактный провод и арматура на нем, питающие и междупутные электрические соединители. В зависимости от схемы питания и секционирования участка контактной сети возможно применение токопроводящего усиливающего провода, призванного увеличить сечение проводника, который пропускает электрический ток, для уменьшения сопротивления на участке и снижения падения напряжения.

К элементам контактной сети, по которым в нормальном режиме работы, не должен протекать электрический ток, относятся тросовые поперечины и системы; опоры; кронштейны; натяжные, подвесные изоляторы; система автоматического натяжения контактного провода; продольно несущий трос троллейбусной сети. В контактной сети трамвайных линий допускается использование продольно-несущего троса в качестве усиливающего провода, поэтому он электрически может быть не отделен от контактного.

Система подвешивания контактных проводов к поддерживающим конструкциям называется контактной подвеской. В зависимости от того, как поддерживается натяжение контактного провода, как он подвешивается и закрепляется, различают их типы.

На городском транспорте широкое распространение имеет простая подвеска, то есть подвеска, при которой контактный провод непосредственно закреплен на поддерживающих конструкциях (рис. 1).

На необходимой высоте провод фиксируется с помощью специальных поперечных устройств. Они могут быть гибкими, крепиться к опорам либо стенам домов или представлять собой жесткие конструкции – кронштейны, которые укрепляются на опорах. Места, где контактный провод прикреплен непосредственно к жестким поперечным конструкциям, не могут перемещаться в пространстве под воздействием токоприемника, поэтому последний здесь испытывает удар, что ухудшает токосъем. Жесткой простой подвеской считается система непосредственного крепления контактного провода к неупругим опорно-поддерживающим конструкциям, лишенная возможности точек подвешивания перемещаться под давлением проходящих под ними токоприемников. Токосъем может быть улучшен, если точка крепления контактного провода допускает смещение. В зависимости от размера этого смещения различают полужесткую и эластичную контактную подвески.

Полужесткой простой подвеской считается система непосредственного крепления контактного провода к относительно упругим поддерживающим конструкциям, обеспечивающим небольшой отжим. Для значительного улучшения токосъема в настоящее время применяют крепление контактного провода на дельта-подвесе (рис. 2, 3).

Такая подвеска является эластичной, так как позволяет перемещаться контактному проводу в точке подвеса. Эластичной простой петлевой подвеской считается система подвешивания контактного провода к поддерживающим конструкциям посредством промежуточных упругих звеньев, отклоняемых от своего статического положения при отжиме провода токоприемником.

Контактная сеть постоянно находится под воздействием внешней среды. При изменении температуры изменяется длина провода и стрелы его провеса. Чтобы автоматически натяжение контактного провода сохранить постоянным, применяют специальные грузовые компенсаторы. Если в подвеске установлены компенсаторы, то она называется компенсированной. Сегодня безопасность на транспорте занимает первостепенное место, поэтому все применяемые материалы направлены на обеспечение бесперебойного и безопасного движения. Современные грузовые компенсаторы (рис. 4), помимо своей основной функции, выполняют также и важную вспомогательную – они оборудованы аварийным тормозом и в случае обрыва контактного провода или троса препятствуют срыву токоведущих частей с точек крепления и падению провода на землю. В результате этого восстановительные работы занимают значительно меньше времени. Сегодняшние грузовые компенсаторы компактные, менее заметные в городской застройке и более эстетичные, что немаловажно для формирования привлекательного облика города.

Простую подвеску применяют при длинах пролетов не выше 30–35 м и скоростях движения не выше 30–45 км/ч. Простая петлевая подвеска дает лучшие результаты, с ее использованием длина пролета может быть увеличена до 35–45 м и скорость движения – до 50 км/ч.

Улучшение показателей воздушной контактной сети может быть получено при применении цепных подвесок. В общем случае она состоит из несущего троса, который непосредственно подвешивают к поперечным конструкциям, и контактного провода – к несущему тросу с помощью струнок (рис. 5, 6).



Рис. 1. Монтаж простой подвески на разворотном кольце троллейбуса

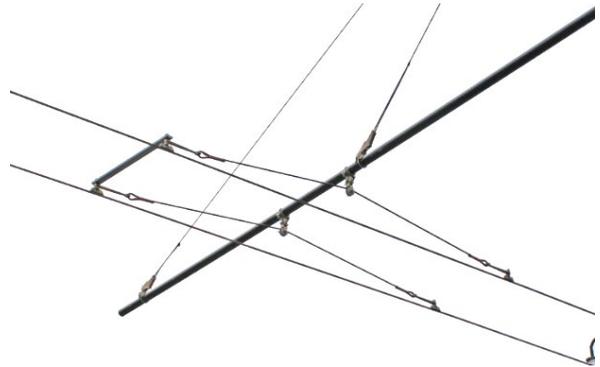


Рис. 2, 3. Дельта-подвес контактного провода



Рис. 4. Грузовой компенсатор контактной сети трамвая с аварийным тормозом



Рис. 5, 6. Цепная подвеска контактной сети троллейбуса

Длина пролета определяется расстоянием между подвесами несущего троса. В цепной подвеске возможно глухое закрепление в конце контактной сети как контактного провода, так и несущего троса. В этом случае цепная подвеска называется некомпенсированной. При использовании компенсатора в контактном проводе, но глухом закреплении несущего троса, цепная подвеска называется полукompенсированной. Если компенсаторы установлены как в контактном проводе, так и в несущем тросе, получаем полностью компенсированную цепную подвеску.

Цепные подвески позволяют заметно увеличить длину пролета, сделать контактную сеть эластичной, что улучшает качество токоотбора и, следовательно, способствует увеличению скоростей движения. Скорость подвижного состава при цепной подвеске достигает 80 км/ч и выше, что вполне удовлетворяет нужды со-временного трамвая и троллейбуса. В то же время эта система подвешивания дорожке простой и сложнее ее в монтаже, требует больших габаритов, поэтому ее применяют только на участках, на которых подвижной состав должен развивать скорость свыше 20 км/ч.

Применение цепной подвески рационально на крупных городских и вылетных магистралях, а также в загородном движении подвижного состава. При проектировании контактной сети городского электрического транспорта необходимо учитывать тот фактор, что поддерживающие конструкции являются опорами двойного назначения – на них расположены также и сети городского наружного освещения. Соответственно, необходимо учитывать и фактор освещенности проезжей части при расстановке опор, чтобы избежать создания участков с недостаточным уровнем

света. Анализ многих факторов влияет на выбор оптимальной схемы подвешивания контактного провода и расстановки опор контактной сети.

В трамвайных сетях крепление контактного провода в пространстве по отношению к рельсовому пути осуществляется фиксаторами (рис. 7).

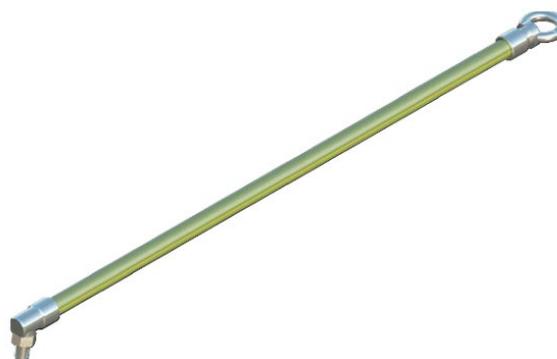


Рис. 7. Фиксатор трамвайный изолированный

На прямых участках с их помощью получают зигзагообразное расположение контактного провода, которое необходимо для равномерного износа полоза токоприемника. На кривых участках с их помощью получают многоугольник контактной сети, соответствующий кривой рельсового пути. Эволюция фиксатора изменила его внешний вид и свойства: если изначально он был массивным и выполнен из металла, то современные изделия изготавливают из изоляционных материалов. Они легче, практичны, безопаснее и долговечнее.

#### Заключение

Развитие конструктивно-технологических решений для производства и применения на контактной сети городского электрического транспорта не стоит на месте. В настоящее время ведутся работы по применению

композитного троса из кевларовых волокон для устройства тросовых поперечин и подвешивания контактного провода (рис. 8).

По заявленным параметрам, композитный трос должен являться диэлектриком, то есть не проводить электрический ток – это главное его преимущество. Данное свойство позволит использовать трос как одну из ступеней изоляции и сократить количество натяжных изоляторов в конструкции, тем самым облегчив общую сеть. Композитный трос легче стального каната, не подвержен растяжению, проще в монтаже за счет сокращения монтируемых элементов, но обладает на сегодняшний момент высокой стоимостью. Если производителям удастся подтвердить заявленные характеристики продукции и провести опытную эксплуатацию в реальных городских условиях при различной погоде, то это будет серьезный шаг к фундаментальным преобразованиям технологий, применяемых в контактной сети городского электрического транспорта.



Рис. 8. Композитный трос для использования в контактной сети

Контактная сеть городского транспорта – это живая система, которая развивается, изменяется, эволюционирует. Ведутся постоянные работы над новыми материалами и технологиями производства, обеспечивающими безопасность, скорость и эксплуатационную надежность всего комплекса городского транспорта [1–17].

#### Список литературы

1. Кочунов Ю. А. Анализ производства кронштейнов контактной сети трамвайных линий выполненных из полимерных композитных материалов / Ю. А. Кочунов, С. А. Чебаков // Транспортное дело России. – 2018. – № 5. – С. 120–123. – EDN YLQCQX.
2. Амосов Р. В. Трамвай, не имеющий питания от подвесной контактной сети / Р. В. Амосов // Наука. Технологии. Инновации : сборник научных трудов : в 9 ч. / под ред. Е. Г. Гуровой. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2016. – Ч. 5. – С. 166–167. – EDN XGOZND.
3. Вадополас Й. Р. Исторический обзор, анализ и перспективы развития трамвайного движения в Санкт-Петербурге / Й. Р. Вадополас, А. В. Сугоровский // Техник транспорта: образование и практика. – 2022. – Т. 3, № 1. – С. 70–79. – DOI 10.46684/2687-1033.2022.1.70-79. – EDN GKFQFP.
4. Трамвай-поезд с комбинированным тяговым приводом для Хемница // Железные дороги мира. – 2016. – № 6. – С. 31–34. – EDN WDOHEJ.
5. Федоров В. С. Об организации опытно-экспериментальной работы в ходе исследования влияния комплексности вибровоздействий наземного и подземного транспорта на здания и сооружения / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 1 (47). – С. 95–100. – DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-95-100. – EDN AVTRYO.
6. Купчикова Н. В. Свайные фундаменты с несколькими уширениями для слабых и структурно неустойчивых оснований. Часть 1 / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4 (46). – С. 81–86. – DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-81-86. – EDN CLDGEX.
7. Патент № 2783280 С1 Российская Федерация, МПК E01C 23/08. Способ подготовки дорожного покрытия перед нанесением разметки : № 2022113517 : заявл. 19.05.2022 : опубл. 11.11.2022 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина ; заявитель Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. – EDN NREYXR.
8. Федоров В. С. Учет рабочих и оборудования с помощью цифровых инструментов на стадии строительства / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Т. В. Золина // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы XI Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 17–18 мая 2022 года / под общ. ред. Т. В. Золиной. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – С. 583–586. – EDN YJNFJF.
9. Патент № 2777637 С1 Российская Федерация, МПК E01C 1/00. Планировочная структура вновь создаваемых городов : № 2021127271 : заявл. 15.09.2021 : опубл. 08.08.2022 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина ; заявитель Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. – EDN GEKAJB.
10. Купчикова Н. В. Градостроительная оценка с помощью графоаналитических методов в проектировании территориального пространства Астрахани / Н. В. Купчикова, К. Е. Джантазаева, Е. С. Иванова // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : материалы IV Нацио-

нальной научно-практической конференции, Астрахань, 08 февраля 2021 года / под общ. ред. Т. В. Золиной. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 302–307. – EDN TQCWPI.

11. Купчикова Н. В. Графоаналитическая оценка территориальных зон и транспортной динамики при реализации инвестиционно-строительных проектов Астрахани / Н. В. Купчикова, Д. Р. Шарафутдинова, Д. Р. Асланов // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : материалы IV Национальной научно-практической конференции, Астрахань, 08 февраля 2021 года / под общ. ред. Т. В. Золиной. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 308–314. – EDN DPFZS.

12. Купчикова, Н. В. Развитие методики оценки парковых агломераций биосферосовместимых городов и поселений / Н. В. Купчикова // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи - развитию науки и образования : материалы IX Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 28–29 апреля 2020 года / под общ. ред. Т. В. Золиной. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 494–499. – EDN PCNONM.

13. Купчикова Н. В. Территориально-пространственное развитие селитебных зон города Нижнеартовска с учетом биосферной совместимости / Н. В. Купчикова, Л. К. Аверина // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы IX Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 28–29 апреля 2020 года / под общ. ред. Т. В. Золиной. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 504–510. – EDN ESFVAI.

14. Стратегические коммуникации в современном мире : сборник материалов по результатам научно-практических конференций Пятой и Шестой Международных научно-практических конференций, Четвертой и Пятой всероссийских научно-практических конференций, Саратов, 23 октября 2017 года – 18 2018 года. – Саратов: Саратовский источник, 2018. – 808 с. – ISBN 978-5-91879-820-1. – EDN UWWKSS.

15. Вопросы управления городскими транспортными системами / И. Е. Агуреев, В. А. Пышный, Л. Е. Кущенко и др. // Современные социально-экономические процессы: проблемы, закономерности, перспективы : монография. – Пенза : Наука и просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2017. – С. 72–94. – EDN YFKSHZ.

16. Ефименко В. Л. Особенности тушения пожаров на автомобильном транспорте, в гаражах, троллейбусных и трамвайных парках / В. Л. Ефименко, В. А. Ладнюк, В. А. Ермак // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2022. – № 1 (11). – С. 118–126. – EDN OSYUHI.

17. Оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта на примере трамвайного движения города Екатеринбурга / Д. Г. Неволин, А. А. Цариков, В. Г. Бондаренко, А. В. Склянный // Инновационный транспорт. – 2023. – № 1 (47). – С. 21–29. – DOI 10.20291/2311-164X-2023-1-21-29. – EDN PDLYOP.

© Ю. В. Лазуткин, В. А. Петров, Н. А. Сушилина

#### **Ссылка для цитирования:**

Лазуткин Ю. В., Петров В. А., Сушилина Н. А. Развитие конструктивно-технологических решений при возведении контактных сетей трамвайных и троллейбусных линий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 3 (49). С. 50–56.