

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОНТАКТНОГО РЕЛЬСА В МОСКОВСКОМ МЕТРОПОЛИТЕНЕ НА ПРИМЕРЕ СОКОЛЬНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Сазанов Андрей Владимирович

Генеральный директор
ООО «ПК ТИТАЛИТ», г. Пермь, Россия

Гречишников Виктор Александрович

Профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта»,
Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Москва, Россия.

Белецкий Сергей Владимирович

Первый заместитель генерального директора
ООО «ЭнергоАльянс», г. Москва, Россия.

Щеглов Роман Валерьевич

Заместитель генерального директора –
руководитель по энергетическим проектам
ООО «ТрансЭнергоСнаб», г. Москва, Россия.

Аннотация. Описаны электротехнические проблемы в системе тягового электроснабжения метрополитена, связанные с повышением потерь энергии, снижением напряжения в тяговой сети, наличием «мертвых зон» при защите питающих линий 825В. Предложены технические решения, позволяющие снизить эффект от описанных проблем в виде использования биметаллического контактного рельса. Представлены предварительные результаты имитационного моделирования, которые подтверждают положительный эффект от использования предложенных технических решений. Предложено необходимое техническое оборудование.

Ключевые слова: тяговая сеть метрополитена, снижение потерь энергии, контактный рельс, биметалл.

Московский метрополитен является важнейшей частью развитой экосистемы транспорта Москвы. Московский метрополитен имеет пассажиропоток, превосходящий пассажиропотоки подобных мировых транспортных систем, и занимает первое место в мировом рейтинге по пиковому значению суточного пассажиропотока. По данным сетевого издания «РИА Новости» был зафиксирован рекорд по перевозке за день 9715635 человек.

На начало 2023 года Московский метрополитен обладает общей протяженностью линий 460.5 км, имеет 263 действующие станции и продолжает активно развиваться, что подтверждают планы правительства Москвы построить 58.1 км линий и 25 станций метро к 2027 году. Рост

полигона электрифицированных линий метрополитена, увеличивающийся объём перевозок, ввод нового электроподвижного состава делают этот вид транспорта является одними из самых энергоёмких в экономики Москвы. Для того, чтобы обеспечить увеличенную пропускную способность, в связи с ростом пассажиропотока, требуется выполнять необходимый размер движения поездов, что влечет за собой постоянное усиление технического оснащения, надежности и энергоэффективности системы электроснабжения.

В связи с этим проблема повышения надёжности и эффективности функционирования тяговых сетей метрополитена, а также снижение потерь электроэнергии является одной из важнейших задач в настоящее время [1,5].

Показатель уровня напряжения в тяговой сети – один из важных показателей работы системы тягового электроснабжения. Данный показатель влияет скорость движения электроподвижного состава (ЭПС), коэффициент полезного действия ЭПС, тепловой режим двигателей, токоведущих частей, силового оборудования, тяговой сети. Можно сказать, что усиление силового оборудования тяговых подстанций не только реализует необходимую мощность для тяги поездов, но и обеспечивает нормативный уровень напряжения на токоприёмнике ЭПС. Способ повышения уровня напряжения за счёт повышении суммарного сечения токоведущих частей не применим для условий метрополитенов. Увеличение числа и мощности оборудования тяговых подстанциях ограничено площадями тяговых подстанций метрополитенов [2]. В связи с этим, уменьшение сопротивления тяговой сети за счёт применения биметаллического контактного рельса (см. рисунок 1) комплексно заменяет все способы, перечисленные выше. Более того, для вновь строящихся линий применение биметаллического контактного рельса позволит увеличить расстояние между тяговыми подстанциями, а на существующих линиях повысить мощность электроподвижного состава или парность движения, при той же мощности оборудования на тяговых подстанциях [3,4].

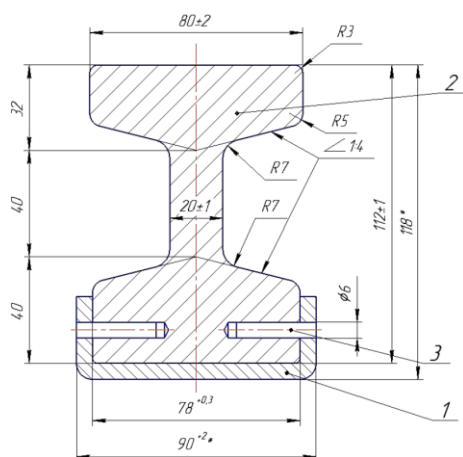


Рисунок А.1 – Конструкция и размеры сечения рельса РСК 118
 где: 1 – швеллер 90; 2 – контактный рельс; 3 – штифт А.6х30

а) б)

Наименование показателя	Единица измерения	Материал контактного рельса	
		Стальной	Биметаллический
Площадь рельса	кв.мм	6 600,00	6 600,00
Удельное сопротивление	ом*кв.мм/м	0,135	0,034
Стоимость с монтажом	руб/м	15 894	38 314
масса погонного метра	кг	50 (для Р50)	22

Рисунок 1 – Биметаллический контактный рельс производства ООО «ПК ТИТАЛИТ»:

а) Чертёж; б) Техничко-экономические характеристики

Для проверки энергетической эффективности внедрения биметаллического контактного рельса в систему тягового электроснабжения метрополитена были проведены расчёты на базе имитационного моделирования с помощью программного комплекса, разработанного на кафедре «Электроэнергетика транспорта» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)) [6,7,8]. На основании анализа результатов расчётов для нескольких линий Московского метрополитена можно сделать следующие выводы по энергетической эффективности применения биметаллического контактного рельса на Московском метрополитене:

Экономия электроэнергии за счёт снижения потерь электрической энергии в тяговой сети составляет от 4,5% или примерно 40 МВт·ч за рабочие сутки (кроме пятницы). Пример расчётов экономии электрической энергии за счёт снижения потерь электрической энергии в тяговой сети для Сокольнической линии Московского метрополитена представлен на рисунке 2 и 3;



Рисунок 2 – Графики изменения расхода электроэнергии по всей линии для стального (красный график) и биметаллического (синий график) контактного рельса



Рисунок 3 – Сравнение эффективных токов в контактном рельсе а) по 1-ому пути и б) по 2-ому пути

Напряжение на токоприёмнике электроподвижного состава повышается на 21% или приблизительно на 115 В (см. рисунок 4);

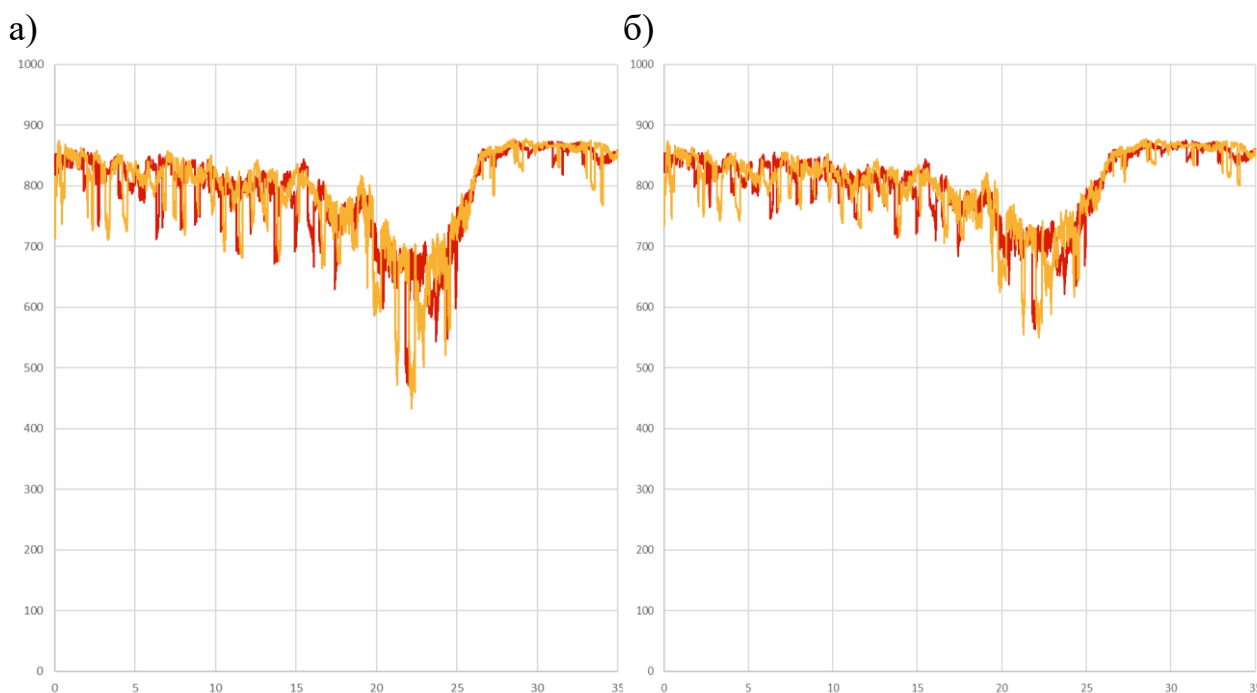


Рисунок 4 – Минимальное напряжение на токоприемнике всех ЭПС а) для стального и б) биметаллического контактного рельса

Повышается ток короткого замыкания, в среднем, на 45,7% и 52,8% для середины зоны и на всей длине зоны, соответственно (см. рисунок 5). Это, как правило, даёт возможность осуществить защищённость фидерной зоны на всей её длине за счёт действия максимальной токовой защиты [9]. Повышение защищённости фидерной зоны от токов короткого замыкания на всей её длине крайне важно для обеспечения безопасности пассажиров и всего перевозочного процесса. Если не отключить ток короткого замыкания из-за того, что выставить необходимую уставку защиты не представляется возможным, то длительное протекание тока короткого замыкания быстро нагревает токоведущие части до критических температур, может их расплавить, а также может привести к образованию электрической дуги – высокоэнергетического плазменного образования. Любое из этих последствий может привести к человеческим жертвам и надолго вывести важнейшую транспортную артерию мегаполиса из строя, что неминуемо приведёт к росту социальной напряжённости. Подтверждением всего вышеизложенного является случай возгорания на станции «Выхино» в июле 2016 года. Возможно, только раннее утро исключило более ужасные последствия.

Токи коротких замыканий в нормальном режиме работы (замыкание в середине зоны питания)

	Суммарное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом	Ток короткого замыкания, А
Стальной КР	0,10873	6829
Биметаллический КР	0,07114	10438

Токи коротких замыканий в вынужденном режиме работы (замыкание в конце зоны питания)

	Суммарное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом	Ток короткого замыкания, А
Стальной КР	0,05992	12392
Биметаллический КР	0,04112	18058

Токи уставки выключателей фидеров

Номер фидера	Стальной КР	Биметаллический КР
Ток выключателя при КЗ в середине зоны питания , А	12392	18058
Ток выключателя при КЗ в конце зоны питания , А	6829	10438
Максимальный рабочий ток, А	10868	10367
Ток уставки I_y , А	11900 (защита на $\frac{1}{2}$ зоны)	10400 (защита по всей длине)

Рисунок 5 – Расчёт токов коротких замыканий для участка Т2-Т3 Сокольнической линии Московского метрополитена для Фидера 2 Т2

Учитывая многофакторность положительного влияния биметаллического контактного рельса на инфраструктуру системы тягового электроснабжения метрополитена (снижение расхода электроэнергии, повышение уровня напряжения в тяговой сети, повышение к.п.д. электроподвижного состава, уменьшение нагрева оборудования и увеличение его срока службы за счёт снижения скорости старения изоляции, повышение безопасности пассажиров за счёт повышения защищённости зон питания от токов короткого замыкания, уменьшение объёмов дополнительной мощности силового оборудования тяговых подстанций и т.д.) можно оценочно говорить о среднесрочности проекта внедрения биметаллического контактного рельса на Московском метрополитене по окупаемости с оценочным сроком окупаемости 3-5 лет.

С точки зрения энергетической эффективности для системы тягового электроснабжения метрополитена внедрение биметаллического контактного рельса эффективно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гречишников В.А. Выбор этапов модернизации тяговых подстанций линий метрополитенов. Электротехника. 2022. № 9. С. 51-54.
- 2 Бадёр М.П., Гречишников В.А., Шевлюгин М.В., Король Ю.Н. Анализ показателей работы силового оборудования системы тягового электроснабжения ОАО "РЖД" на основе мониторинга тяговых подстанций в режиме реального времени. Электроника и электрооборудование транспорта. 2011. № 5-6. С. 5-8.
- 3 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.
- 4 Андреев В.В., Шевлюгин М.В., Гречишников В.А. Расчёт интегральных показателей работы разветвлённых систем тягового электроснабжения. Электротехника. 2012. № 12. С. 32-36.
- 5 Гречишников В.А., Шаламай И.В., Власов С.П. Уменьшение потерь электроэнергии в тяговой сети за счёт выравнивания напряжения на шинах тяговых подстанций постоянного тока. Электротехника. 2017. № 9. С. 46-48.
- 6 Савоськин А.Н., Гречишников В.А., Гарбузов И.И. Способ имитационного моделирования в реальном времени совместной работы электроэнергетических систем, систем тягового электроснабжения и электровозов. Патент на изобретение RU 2647352 C1, 15.03.2018. Заявка № 2016150478 от 21.12.2016.
- 7 Бадёр М.П., Гречишников В.А., Шевлюгин М.В., Король Ю.Н. Анализ показателей работы силового оборудования системы тягового оборудования электроснабжения ОАО «РЖД» на основе мониторинга тяговых подстанций в режиме реального времени. Электроника и электрооборудование транспорта. 2011. № 5-6. С. 5-8.
- 8 Андреев В.В., Шевлюгин М.В., Гречишников В.А. Расчёт

интегральных показателей работы разветвленных систем тягового электроснабжения. Электротехника. 2012. № 12. С. 32-36.

9 Гречишников В.А., Куров Н.Д., Власов С.П., Голицына А.Е. Определение электрических параметров цепи тягового тока по замеренным данным в системе тягового электроснабжения метрополитенов 825В. Электротехника. 2019. № 9. С. 32-35.