ИНСТРУКЦИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ УТЕЧКИ ИЗ РЕЛЬСОВ ТРАМВАЯ

Разработана Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова
Утверждена приказом Минжилкомхоза РСФСР 22 декабря 1982 г. № 652

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Виды коррозии подземных металлических сооружений и критерии опасности

1. Коррозией металлов называется разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой. Средой, контактирующей с подземными металлическими сооружениями, является почва или грунт.

2. В зависимости от условий различают следующие виды электрохимической коррозии подземных металлических сооружений:

почвенная коррозия — электрохимическое разрушение подземных сооружений, вызванное действием окружающей среды (почвы, грунты, грунтовые и другие воды);

коррозия блуждающими токами — электрохимическое разрушение подземных металлических сооружений, вызванное воздействием блуждающего тока (токи утечки из рельсов).

3. Коррозионные повреждения стальных подземных сооружений при почвенной коррозии на участках повреждения изоляции или на неизолированных участках носят обычно местный характер (коррозия пятнами, каверны, язвы), однако наблюдается и общая коррозия.

4. Коррозионные повреждения стальных подземных сооружений при коррозии блуждающими токами концентрируются обычно на небольшой поверхности металла, носят ярко выраженный язвенный характер и имеют круглую или продолговатую форму с круглыми стенками.

5. Основными источниками блуждающих токов в городских условиях являются пути электрифицированного рельсового транс-

gost.e-ecolog.ru

порта (трамвай, метрополитен, электрифицированные железные дороги), работающего на постоянном токе. Несовершенная изоляция рельсов от земли вызывает утечку тока в землю. Часть блуждающего тока протекает по подземным металлическим сооружениям, удельное сопротивление которых значительно ниже удельного сопротивления окружающего их грунта.

6. Под влиянием непрерывного изменения тяговой нагрузки подвижного состава рельсы электрифицированного транспорта непрерывно меняют значение потенциала по отношению к земле. Определенные участки рельсовой сети имеют постоянную положительную или отрицательную полярность по отношению к земле и характеризуются лишь изменением амплитуды потенциалов. На других участках меняется во времени как амплитуда потенциалов, так и полярность.

7. Участки постоянной полярности рельсов обычно наблюдаются вблизи подстанций и пунктов присоединения отрицательных кабелей к рельсам (отрицательная полярность) и на значительном удалении от них (положительная полярность). На промежуточных участках имеет место знакопеременная полярность потенциалов рельсов.

8. Подземные сооружения, находящиеся под влиянием блуждающих токов, имеют, как правило, обратную полярность потенциалов по отношению к земле по сравнению с соответствующими участками рельсовой сети.

9. Участки, где ток натекает на сооружение, являются катодами (катодные зоны), на которых происходит восстановление кислорода или молекул воды, что снижает их коррозионное разрушение, вызываемое контактом с грунтом.

10. Участки, где ток стекает с сооружения, являются анодами (анодные зоны) и подвергаются дополнительному электрохимическому растворению, пропорциональному току. Это повышает скорость их коррозионного разрушения, вызываемого контактом с грунтом.

11. Наличие на подземных сооружениях анодных и знакопеременных зон является в коррозионном отношении опасным независимо от разности потенциалов между сооружением и землей и коррозионной активности грунта.

Организация работ по ограничению токов утечки

12. Мероприятия по ограничению токов утечки осуществляют организации и предприятия, в ведении которых находятся действующие и строящиеся сооружения, являющиеся источниками блуждающих токов.

13. К мероприятиям по ограничению токов утечки, осуществляемым при проектировании и строительстве сооружений и устройств трамвая, относятся: обеспечение расчетных норм падения напряжения в рельсах, а также разности потенциала между пунктами присоединения отрицательных кабелей к рельсам; обес-

печение максимальной продольной проводимости рельсовых путей, а также высокого переходного сопротивления между рельсами и землей.

14. Мероприятия по ограничению токов утечки, осуществляемые при эксплуатации сооружений и устройств трамвая, состоят в периодическом контроле эффективности выполненных при строительстве мероприятий, а также в поддержании оптимального, с точки зрения уменьшения блуждающих токов, режима работы системы электроснабжения.

15. Организации, проектирующие линии, сооружения и устройства трамвая, должны предусматривать в проектах необходимые мероприятия по ограничению токов утечки в соответствии с ГОСТ 9.015—74 «Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения. Общие технические требования» и настоящей Инструкцией.

16. Организации, эксплуатирующие трамвайное хозяйство, должны располагать данными расчета, подтверждающими соответствие рельсовой и кабельной сети трамвая нормам по ограничению токов утечки.

17. Не допускается принимать в эксплуатацию линии, сооружения и устройства трамвая до осуществления всех предусмотренных настоящей Инструкцией мер по ограничению блуждающих токов.

18. Требования настоящей Инструкции в процессе эксплуатации сооружений трамвая должны выполняться организациями, осуществляющими эксплуатацию этих сооружений.

19. Трамвайные предприятия обязаны сообщать по требованию заинтересованных организаций, владельцев подземных сооружений сведения о выполнении основных мероприятий по ограничению токов утечки в соответствии с настоящей Инструкцией, включающие в себя результаты эксплуатационных измерений.

20. Сведения об изменениях режима работы сооружений трамвая, способных привести к увеличению опасности коррозии подземных сооружений, находящихся в зоне действия блуждающих токов трамвая, должны сообщаться организациям, осуществляющим координацию и контроль противокоррозионной защиты за месяц до перехода на новый режим работы.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ УТЕЧКИ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВ ТРАМВАЯ

Требования к трамвайному пути

21. При выборе расположения городских трамвайных линий в целях ограничения блуждающих токов при прочих равных условиях следует отдавать предпочтение расположению путей на

обособленном полотне. При сооружении загородных участков трамвайных линий пути следует располагать на самостоятельном полотне.

22. Расстояние от пассажирского трамвайного пути до подземных коммуникаций должно быть не менее 2 м (от бровки относа выемки или подошвы насыпи). В нулевых отметках горизонтальные расстояния в свету от оси пути до подземных коммуникаций должны быть не менее, м: до водопровода, напорной и самотечной канализации (бытовой и дождевой), дренажей, тепловых сетей (до наружной стенки канала), газопроводов с давлением до 3 кгс/см^2, силовых кабелей и кабелей связи, общих коллекторов — 2,8; до газопроводов высокого давления (>3—12 кгс/см^2) — 3,8.

23. Пересечение трамвайных путей с линиями электропередачи и связи, газопроводами, водопроводами и другими подземными устройствами и сооружениями следует проектировать, соблюдая требования соответствующих нормативных документов по проектированию этих устройств и сооружений. Места пересечения трамвайных путей силовыми кабелями и кабелями связи следует располагать вне зоны узловых соединений и на расстоянии не менее 3 м от пунктов присоединения отрицательных кабелей к рельсам. Расстояние от подошвы рельса до трубопровода в месте пересечения должно быть не менее 1,5 м (по условиям защиты от коррозии).

24. Земляное полотно трамвайного пути должно обеспечивать надежный отвод поверхностных и грунтовых вод от основания пути. Оно должно быть прочным и устойчивым и не изменять своей формы под действием нагрузки, а также атмосферных и других факторов.

25. Для трамвайных путей следует предусматривать рельсы следующих типов: трамвайные желобчатые Тв-60; трамвайные желобчатые с утолщенной губой Тв-65; железнодорожные Р-50 и Р-65.

Старогодные рельсы применяют, как правило, на путях грузовых, служебных, запасных, а также расположенных на территории депо и мастерских (заводов).

26. Для уменьшения числа стыков следует предусматривать сварку рельсов с соблюдением требований технических условий на устройство и содержание пути с рельсами длинными и бесстыковыми рельсовыми плетями.

27. В качестве подрельсовых оснований следует применять железобетонные и деревянные шпалы, укладываемые на балласт.

28. Для путей, укладываемых на железобетонные шпалы или железобетонные конструкции, следует предусматривать упругие прокладки между рельсом и подрельсовым основанием.

29. Деревянные шпалы должны быть пропитаны антисептиками, не проводящими электрический ток, и должны удовлетворять требованиям ГОСТ 78 — 65 (заменен на ГОСТ 78 — 65 *).

30. Рельсовые пути, уложенные на железобетонные шпалы или на железобетонные подрельсовые основания, должны иметь пере-

ходное сопротивление не ниже, чем при применении деревянных шпал.

31. Поперечный профиль трамвайного пути должен гарантировать отвод воды с трамвайного полотна в обе стороны от междупутья, для чего внутренняя рельсовая нить должна быть приподнята над наружной на 10 мм. Если проезжая часть улицы имеет односторонний поперечный уклон, допускается в виде исключения устройство поперечного профиля трамвайного пути с уклоном в сторону общего уклона проезжей части при возвышении соответствующей нити не более чем на 10 мм.

32. На открытых путях сборные стыки должны устанавливаться при открытом полотне — через 50 м; на участках пути, засыпанных балластом до головки рельса,— через 200 мм с установкой температурных компенсаторов; при бесстыковом пути — по специальному расчету.

33. Сборные рельсовые стыки необходимо соединять накладками и туго затягивать болтами, снабженными пружинными шайбами. Электрическое сопротивление сборного стыка не должно превышать сопротивление целого рельса длиной 2,5 м.

Для повышения надежности электропроводности сборных рельсовых стыков необходимо обеспечивать приварку электросоединений из гибкого медного провода или медных пластин общим сечением не менее 70 мм^2 с площадью поверхности контакта в местах приварки не менее 500 мм^2. Сварные стыки не должны увеличивать сопротивление сплошного рельса.

34. Электрические соединения, выполняемые в местах присоединения отрицательных кабелей между всеми нитями рельсовых путей, а также обходные соединения на спецчастях должны быть изготовлены из медного провода или пластин общей площадью не менее 70 мм^2 или из стальных с соответствующим эквивалентным сечением. Площадь поверхности контакта в местах приварки соединения к рельсам должна составлять не менее 500 мм^2.

35. Электрические междурельсовые соединения должны изготавливаться из медного провода или пластин общей площадью не менее 35 мм^2 или из стальных с соответствующим эквивалентным сечением и площадью поверхности контакта в местах приварки соединения к рельсам не менее 250 мм^2. Эти соединения устанавливают в следующих местах: путевые — через 150 м между обеими рельсовыми нитями; междупутные — через 300 м между всеми рельсовыми нитями путей данной линии; обходные (стрелочные и крестовинные) — по обе стороны стрелок и крестовин.

36. При выборе конструкции трамвайного пути в целях ограничения блуждающих токов рекомендуется при прочих равных условиях отдавать предпочтение конструкциям, имеющим большее переходное удельное сопротивление между рельсами и землей (под переходным удельным сопротивлением между рельсовыми путями и землей понимается сумма контактного сопротивления между рельсами и землей и сопротивления грунта растеканию тока, стекающего с 1 км рельсового пути).

Ориентировочные значения переходных удельных сопротивлений для различных типов основания приведены ниже.

Характеристика нити	Предел минимальных переходных удельных сопротивлений, Ом·км
Бетонные основания с рельсами, заделанными в бетон . .	0,02—0,08
Шпально-песчаное основание с асфальтовым замощением	0,1—0,3
Шпально-щебеночное основание с замощением брусчаткой	0,2—0,55

Примечание. Минимальные значения — для путей при весьма высокой их влажности, максимальные — для сухих путей.

37. Рельсы на металлических и железобетонных мостах, а также канавах депо должны быть уложены электрически изолированно от форм моста.

38. Трубопроводы и другие металлические сооружения на территории депо, вагоноремонтных заводов и мастерских не должны иметь контакта с рельсами.

Требования к системе электроснабжения трамвая

39. Основными мероприятиями по ограничению токов утечки, осуществляемыми при проектировании систем электроснабжения трамвая, являются: выбор места присоединения отрицательных кабелей к рельсам, оптимальных расстояний между местами присоединения отрицательных кабелей; определение числа и сечения отрицательных кабелей; соблюдение нормы разности потенциалов

Таблица 1

Максимально допустимое падение напряжения, В, при количестве месяцев в году со среднемесячной температурой выше —5 °С

Тип основания рельсового пути трамвая	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12
Бетонное с рельсами, утопленными в бетон	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4
Песчаное с замощением	6	4	3	2,5	2
Щебеночное с замощением или песчаное со слоем битуминизированного песка под штучным покрытием	9,6	6,4	4,8	4	3,2
Бетонное с электроизоляцией корыта слоем 10—12 мм: шпально-песчаное или шпально-щебеночное без замощения	12	8	6	5	4

Примечание. При использовании в расчетах значений тяговых нагрузок для зимнего времени и максимального графика движения пересчет ведется по формуле

$$U_{доп} = U_{табл} \frac{24}{t} K_з K_{макс},$$

где t — среднегодовая продолжительность работы трамвая на линии в течение суток; $K_з$ — отношение удельного расхода электроэнергии на движение трамвая в зимнее время к удельному расходу в летнее время ($K_з$=1,1÷1,15); $K_{макс}$ — отношение удельного расхода электроэнергии в часы максимального движения к среднесуточному ($K_{макс}$ = 1,1 ÷ 1,2).

между местами присоединения отрицательных кабелей к рельсам; выбор схемы питания контактной сети.

40. Места присоединения отрицательных кабелей к рельсам должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы максимальное падение напряжения в рельсовой сети на участке питания, вычисленное по среднесуточной нагрузке за месяцы со среднесуточной температурой выше —5 °С, не превышало значений в табл. 1.

41. При расчетах рельсовой сети увеличение электрического сопротивления 1 км рельсовой нити из-за каждого сборного стыка на 1 км путей должно приниматься равным 25 %.

42. Средняя разность потенциалов между любыми пунктами подключения отрицательных линий одной подстанции в период интенсивного графика движения должна быть: не более 0,5 В при наличии автоматического регулирования потенциалов рельсовой сети; не более 1 В при регулировании потенциалов с помощью реостатов.

43. Для выравнивания потенциалов пунктов присоединения отрицательных кабелей одной подстанции к рельсовой сети должны применяться регулирующие устройства (статические вольтодобавочные установки или добавочные резисторы).

44. Параллельная работа тяговых подстанций допускается в том случае, если средняя разность потенциалов между пунктами присоединения отрицательных кабелей смежных параллельно работающих подстанций не превышает 1 В. Пересчет указанной разности потенциалов на среднесуточную — среднегодовую производят так же, как и в п. 40.

При расчете средней разности потенциалов необходимо учитывать неравенство напряжений на шинах питающих центров электроснабжения.

45. Кабели, используемые для прокладки отрицательных линий, должны иметь контрольные жилы для измерения потенциалов пунктов присоединения отрицательных кабелей к рельсам. При отсутствии у кабелей контрольных жил допускается прокладка воздушных контрольных проводов, сечение которых выбирают с таким расчетом, чтобы сопротивление одного провода было не более 15 Ом на 1 км.

46. Для контроля разности потенциалов между пунктами присоединения отрицательных кабелей смежных параллельно работающих подстанций последние должны быть оборудованы системой контрольных проводов.

47. Пункты присоединения отрицательных кабелей должны иметь разъемное электрическое соединение отрицательных кабелей с проводниками, идущими непосредственно к рельсовым нитям. Сопротивление в месте присоединения каждого из указанных проводников к рельсовой нити не должно превышать 0,0015 Ом.

48. Для автоматического поддержания эквипотенциального режима работы пунктов присоединения отрицательных кабелей к рельсам могут применяться вольтодобавочные устройства, обеспечивающие компенсацию падения напряжения в «длинном» от-

рицательном кабеле с помощью источника ЭДС, включенного последовательно в этот кабель. Значение ЭДС для каждого «длинного» кабеля, при котором будет обеспечена соответствующая нормам разность потенциалов между «длинным» и «коротким» кабелями, определяют из выражения

$$E = U_{\text{л}} - U_{\text{к}} = I_{\text{к. д}} r_{\text{к. д}} - I_{\text{к. к}} r_{\text{к. к}},$$

где $I_{\text{к. д}}$, $I_{\text{к. к}}$ — нагрузки «длинного» и «короткого» отрицательных кабелей, А; $r_{\text{к. д}}$, $r_{\text{к. к}}$ — сопротивления «длинного» и «короткого» отрицательных кабелей, Ом.

Мощность устройства, которая при этом необходима, кВт

$$P = EI_{\text{к. д}} \cdot 10^{-3}.$$

49. При применении резисторов для выравнивания потенциалов пунктов присоединения отрицательных кабелей к рельсам сопротивление R_{pi} (Ом) в цепи i-го отрицательного кабеля определяют из соотношения

$$R_{pi} = (U_{\text{к. макс}} - U_{\text{к}\,i})/I_{\text{к}\,i},$$

где $U_{\text{к. макс}}$ — максимальное из всех значений падение напряжения в различных отрицательных кабелях данной подстанции; $U_{\text{к}i}$ — падение напряжения в i-м отрицательном кабеле; $I_{\text{к}i}$ — нагрузка i-го отрицательного кабеля.

Сечение регулировочного резистора должно быть проверено на допустимую температуру нагрева материала, из которого выполнен резистор.

50. Использование отрицательных линий путей трамвая в качестве проводника тока троллейбусных нагрузок не допускается.

51. Отрицательная шина не должна иметь рабочего заземления. Уровень ее изоляции от земли должен быть таким же, как и для шины +600 В.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВ ТРАМВАЯ

Контроль продольной проводимости рельсовой сети

52. Продольная проводимость рельсовой сети обеспечивается за счет надлежащего содержания рельсовых путей, сборных стыков, путевых и междупутных электрических соединений.

53. Проверка цельности рельсов и сварных стыков, а также исправности стыковых соединителей должна проводиться наружным осмотром в сроки, установленные инструкцией по текущему содержанию пути, но не реже 1 раза в 3 мес. Измерение электрического сопротивления сборных стыков должно проводиться не реже 1 раза в год. Лопнувшие сварные стыки устраняют без промедления; сборные стыки, не удовлетворяющие требованиям п. 34, подлежат исправлению в течение суток после обнаружения.

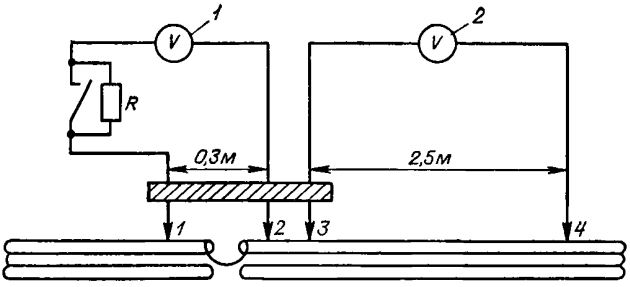

Рис. 1. Схема измерения сопротивления стыка рельсов.

54. Электрическое сопротивление стыков измеряют стыкомером или при помощи двух милливольтметров с пределами измерений 2—0—2 и 20—0—20 мВ, включенных по схеме, указанной на рис. 1. Расстояние между контактами *2* и *3* не должно превышать 0,3 м. При измерении должно обеспечиваться надежное и одновременное нажатие всех контактов на головку рельса. Сопротивление стыка считается исправным, если показание милливольтметра *1* будет меньше или равно показанию милливольтметра *2*. Результаты измерений заносят в протокол (прил. 1, форма 1).

55. Проверку исправности путевых и междупутных соединителей производят 1 раз в год путем измерения разности потенциалов между нитями одного пути и внешними нитями обоих путей через каждые 600 м, по возможности в местах установки соединителей. Измерение разности потенциалов производят вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 10 кОм/В. В каждой проверяемой точке фиксируется 60 показаний прибора. Результаты измерений заносят в протокол (прил. 1, форма 2). Среднее значение разности потенциалов между нитями одного пути не должно превышать 0,05, а между нитями разных путей — 0,5 В.

56. Проверку исправности обходных соединителей на стрелках, крестовинах и т. п. производят 1 раз в год внешним осмотром.

Примечание. На вновь сооружаемых, реконструированных и капитально ремонтируемых рельсовых путях должны быть предусмотрены обходные шунтирующие соединения проводами сечением 4,25 мм^2 по меди.

Контроль режима работы пунктов присоединения отрицательных кабелей к рельсам

57. Измерение разности потенциалов между пунктами присоединения отрицательных кабелей одной подстанции к рельсовой сети должно производиться в часы интенсивного движения с помощью регистрирующих приборов, включаемых между контрольными жилами различных кабелей одной подстанции.

58. Проверку разности потенциалов между различными пунктами присоединения отрицательных кабелей одной подстанции к рельсам производят 2 раза в год и при каждом длительном

(более 1 мес) изменении режима электроснабжения. Продолжительность измерений — не менее 1 ч. Результаты измерений заносят в протокол (прил. 1, форма 3).

59. При отсутствии в отрицательных кабелях контрольных жил разность потенциалов между пунктами присоединения отрицательных кабелей одной подстанции к рельсовой сети может быть определена как разность падений напряжения в отрицательных кабелях. Если эта разность не меняется по знаку, то среднее значение ее может быть определено как разность средних значений падений напряжения в кабелях.

Если разность падений напряжения в отрицательных кабелях изменяется по знаку, то среднее значение ее определяется на основании результатов синхронных измерений падений напряжения в отрицательных кабелях.

60. Измерение разности потенциалов между пунктами присоединения отрицательных кабелей смежных параллельно работающих подстанций должно производиться с использованием линий связи и контрольных проводов в часы интенсивного движения с помощью регистрирующих приборов, подключаемых к линии связи между подстанциями. Измерения производят 1 раз в год и, кроме того, при каждой проверке режима движения и схемы электроснабжения. Продолжительность измерения — не менее 1 ч. Схема измерения представлена на рис. 2.

61. Проверку состояния контактов присоединения отрицательных кабелей к рельсам производят 2 раза в год. При этом измеряют сопротивление контактов с помощью вольтметра с внутренним сопротивлением не менее 10 кОм/В и амперметра (рис. 3). На каждой нитке рельсового пути производят 10 измерений. Сопротивление контакта определяют как разность между сопротивлением, вычисленным по показаниям приборов, и расчетным сопротивлением соответствующего проводника, соединяющего отри-

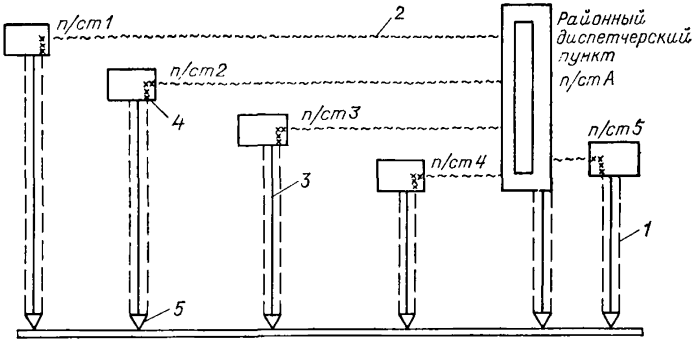

Рис. 2. Схема измерения разности потенциалов между пунктами присоединения отрицательных кабелей.

1 — контрольная жила; *2* — линия связи; *3* — отрицательный кабель; *4* — провода; *5* — пункт присоединения отрицательного кабеля к рельсам.

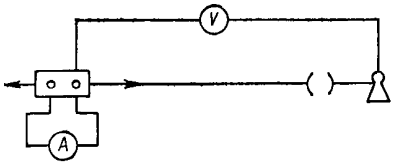

Рис. 3. Схема измерения сопротивления контактов в местах присоединения отрицательных кабелей.

цательный кабель с рельсовой нитью. При исправном состоянии контакта сопротивление его не должно превышать $15 \cdot 10^{-4}$ Ом. Результаты измерения заносят в протокол (прил. 1, форма 4).

Примечание. Данный метод пригоден при наличии контрольных жил. В случае отсутствия кабелей с контрольными жилами проверку состояния контактов осуществляют визуально.

62. Проверку состояния изоляции отрицательных кабелей относительно земли производят не реже 1 раза в год.

63. Сопротивление изоляции отрицательных кабелей измеряют при помощи мегомметра напряжением на 2500 В. При измерениях проверяют изоляцию токоведущей жилы относительно земли, контрольных жил относительно земли и контрольных жил относительно токоведущей жилы. Измерения производят при отключении отрицательных линий от шины тяговой подстанции и от рельсов. Сопротивление должно удовлетворять нормам, установленным для кабелей данного типа. Результаты измерений заносят в протокол (прил. 1, форма 5).

Контроль за выполнением норм падения напряжения в рельсах

64. Контроль за выполнением норм падения напряжения в рельсах производят расчетным путем, а также путем измерения разности потенциалов между рельсами и землей.

65. Проверочные расчеты рельсовой сети производят при каждом изменении схемы электроснабжения, после реконструкции рельсового пути и изменения схемы движения трамвая (прил. 2).

66. Измерение разности потенциалов между рельсами и землей необходимо производить 1 раз в год через 300 м и в характеристических точках рельсовой сети: пунктах присоединения кабелей, под секционными изоляторами между участками смежных подстанций, в конце консольных участков, в местах присоединения электродренажей.

67. Разность потенциалов между рельсами и землей следует измерять с помощью высокоомных приборов (не менее 20 кОм). В качестве измерительного электрода применяют стальной стержень диаметром 15 мм. Электрод забивают в грунт на глубину не менее 15 см. Минимальное расстояние от пункта установки электрода до ближайшей нити рельсов — 20 м. Продолжительность измерения в каждом пункте не менее 15 мин. При этом фиксируют 150 показаний прибора. Результаты измерений заносят в протокол (прил. 1, форма 6).

68. По результатам измерений (п. 66) строят диаграмму потенциалов рельсовой сети. На основе анализа этой диаграммы может быть проведена ориентировочная проверка выполнения норм падения напряжения в рельсах: сумма абсолютных значений любых двух координат анодной и катодной зон диаграммы потенциалов не должны превышать нормируемого для данных условий падения напряжения в рельсах (см. таблицу).

Обработка результатов измерений

69. Обработка результатов измерений потенциалов и токов заключается в определении средних, максимальных и минимальных значений за время измерений.

70. При измерениях с помощью визуальных приборов средние за период измерения значения потенциалов определяют по формулам

$$U_{ср}(+) = \frac{\sum_{i=1}^{l} U_i(+)}{n}; \qquad U_{ср}(-) = \frac{\sum_{i=1}^{m} U_i(-)}{n},$$

где $\sum_{i=1}^{l} U_i(+)$ — сумма мгновенных значений измеренных величин положительного знака; $\sum_{i=1}^{m} U_i(-)$ — сумма мгновенных значений измеренных величин отрицательного знака; n — общее число отсчетов; l и m — число отсчетов соответственно положительнсго и отрицательного знака.

71. Определение средних значений потенциалов и токов по лентам записи регистрирующего прибора выполняют методом планиметрирования лент. Общая техника планиметрирования площадей описывается в инструкциях, прилагаемых к планиметрам.

72. Планиметрирование лент записи потенциалов, произведенной в устойчивых анодных и катодных зонах рельсовой сети, выполняют в следующем порядке:

штифтом полярного планиметра обводят контур, ограниченный двумя ординатами, кривой записи и нулевой линией (прямая линия соответствует нулю отсчета);

если вся длина ленты больше, чем участок, охватываемый планиметром при одной его установке, ленты разбивают на ряд отрезков и планиметрируют отдельно каждый из них;

в итоге суммирования площадей, полученных при раздельном планиметрировании ряда отрезков ленты записи, получают общую площадь записи (см^2);

делением общей измеренной площади на длину обработанной ленты определяют среднее значение регистрируемой величины за период записи;

умножением найденного среднего значения (см) на цену 1 см (В) получают среднее значение регистрируемой величины для всего обработанного участка записи;

для приборов с равномерной шкалой масштаб напряжения определяют как отношение предела измерения, на котором велась запись, к половине ширины диаграммной бумаги;

для приборов с неравномерной шкалой (например, Н-39) перевод из среднего значения (см) в среднее значение регистрируемой величины выполняют по масштабной линейке, которая прикладывается к прибору и является копией его шкалы. Максимальные и минимальные значения регистрируемой величины также отсчитывают по масштабной линейке.

Планиметрирование лент записи потенциалов в знакопеременных зонах рельсовой сети отличается от описанного выше лишь тем, что раздельно определяют площади положительной и отрицательной части диаграмм потенциалов (относительно принятой нулевой линии). Делением измеренных площадей на всю длину обработанной ленты с последующим умножением на цену 1 см (В) определяют среднее отрицательное и среднее положительное значения измеряемой величины за период записи.

73. Результаты планиметрирования лент и расчет средних значений потенциалов, а также максимальное и минимальное их значения, отсчитанные по масштабной линейке, заносят в протокол (прил. 1, форма 7).

74. При изменении режимов в период записи (включение и отключение электрозащит, изменение в схеме электроснабжения и др.) всю ленту записи разбивают на участки, соответствующие каждому режиму, и обрабатывают раздельно по каждому участку. Для каждого участка записи (режима) находят средние, максимальные и минимальные значения потенциалов и заполняют отдельный протокол.

75. Для построения диаграммы потенциалов рельсовой сети на план рельсовой сети наносят пункты измерений. Средние значения потенциалов в каждом пункте измерения откладывают в масштабе в виде прямых отрезков перпендикулярно к изображению сети. Вверх откладывают положительные значения потенциалов, вниз — отрицательные, концы отрезков соединяют между собой.

ТРЕБОВАНИЯ К СХЕМАМ ВКЛЮЧЕНИЯ И РЕЖИМАМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДРЕНАЖНЫХ УСТАНОВОК

76. Для защиты подземных сооружений от коррозии, вызываемой блуждающими токами, применяют установки дренажной защиты (поляризованные и усиленные дренажи). В ряде случаев в комплексе с электродренажной защитой применяют установки катодной защиты.

77. Установки поляризованной дренажной защиты состоят из поляризованного дренажа (преобразователя) и соединительных кабелей. Установки автоматической усиленной дренажной защиты состоят из усиленного дренажа (преобразователя), соединительных кабелей и защитного заземления. Технические характеристики

преобразователей поляризованной дренажной защиты и автоматической усиленной дренажной защиты приведены в прил. 3.

78. Усиленную дренажную защиту используют для защиты от коррозии в тех случаях, когда применение поляризованных дренажей неэффективно по экономическим показателям.

79. Установки дренажной защиты должны подключаться только к тем источникам блуждающих токов, которые оказывают влияние на защищаемое сооружение.

80. Защиту подземных сооружений установками дренажной защиты должны осуществлять при минимальном значении среднего дренажного тока, обеспечивающего защиту сооружения.

81. Присоединение дренажного кабеля к отрицательной сети трамвая производят к рельсам или к пунктам присоединения отрицательных кабелей. Непосредственное присоединение установок дренажной защиты к отрицательным шинам тяговых подстанций трамвая, а также к сборке отрицательных линий этих подстанций не допускается.

82. Все работы, связанные с присоединением дренажных кабелей к рельсовой сети трамвая, должны производиться по согласованию с организациями, эксплуатирующими трамвай, и в присутствии представителей этих организаций.

ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ УТЕЧКИ ИЗ РЕЛЬСОВ ТРАМВАЯ

83. При проведении работ по ограничению токов утечки из рельсов трамвая следует руководствоваться «Правилами техники безопасности на городском электротранспорте», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами дорожного движения», «Правилами технической эксплуатации трамвая».

84. К работам по ограничению токов утечки из рельсов трамвая допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, инструктаж и сдавшие экзамены. Независимо от сдачи экзамена каждый работник при допуске к работе должен получить инструкцию по технике безопасности на рабочем месте.

85. При проведении работ должны быть установлены дорожные знаки и барьеры в соответствии с инструкцией по ограждению мест работ в условиях дорожного движения в городах.

86. При работах, связанных с электрическими измерениями на рельсовых сетях, а также на тяговых подстанциях следует соблюдать правила и требования безопасности, предписанные для персонала, обслуживающего электроустановки напряжением до 1 кВ.

87. Работы в пределах проезжей части улиц и дорог для автотранспорта на рельсовых путях трамвая выполняет бригада в составе не менее 2 человек. Один из работающих должен следить за безопасностью работ и за движением транспорта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Форма 1

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ

Район п/ст _____ Дата _____

Место измерения (адрес)	Состояние стыка				Примечание
	I нитка	II нитка	III нитка	IV нитка	

Измерения произвел _____

Примечание. В графе «Состояние стыка» следует писать «Исправный» или «Неисправный».

Форма 2

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕЖДУ РЕЛЬСАМИ

Район п/ст _____ Дата _____ Прибор (тип) _____

№ _____

Место измерения (адрес)	Разность потенциалов, мВ			Примечание
	между нитками правого пути	между нитками левого пути	между внешними нитками путей	

Измерения произвел _____

Примечание. Правый путь — со стороны четных номеров домов, левый — со стороны нечетных.

Форма 3

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕЖДУ ПУНКТАМИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ К РЕЛЬСАМ

Район п/ст _____ Прибор (тип) _____

№ _____

Дата	Время измерений	Разность потенциалов между кабелями, В							
		Номер кабеля		Номер кабеля		Номер кабеля		Номер кабеля	
		ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.
		+ −	+ −	+ −	+ −	+ −	+ −	+ −	+ −

Измерения произвел _____

Обработку произвел _____

Форма 4

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ В ПУНКТАХ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ К РЕЛЬСАМ

Вольтметр № _____

Амперметр № _____

Пункт присоединения № _____

Дата _____

Номер отсчета	I нитка		II нитка		III нитка		IV нитка	
	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Сумма								
Средняя								
Состояние контакта								

Измерения произвел _____

Форма 5

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Номер п/ст _____ Дата _____ Прибор (тип) _____

№ _____

Номер кабеля	Сопротивление изоляции, Ом		
	Контрольная жила—земля	Токоведущая жила—земля	Контрольная жила—токоведущая жила

Измерения произвел _____

Форма 6

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ ПОТЕНЦИАЛОВ РЕЛЬСОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ

Район п/ст _____ Время: начало ____ ч ____ мин

окончание ____ ч ____ мин

Тип и номер прибора _____

Данные измерений, В

Мин.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Камеральная обработка измерений

Разность потенциалов, В	Сумма	Максимальное значение	Среднее значение	Минимальное значение	Число измерений
Положительная (+)					
Отрицательная (—)					

Измерения произвел _____

Обработал _____

Проверил _____

Форма 7

ПРОТОКОЛ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПОТЕНЦИАЛОВ

Район п/ст _____ Время: начало _____ ч _____ мин

Дата _____ окончание _____ ч _____ мин

Тип и номер прибора _____

Камеральная обработка лент автоматической записи

Знак	Отсчитанная площадь, $см^2$	Длина обработанного участка ленты, см	Среднее значение регистрируемой величины, см
+			
—			

Разность потенциалов, В

Положительная (+)			Отрицательная (—)		
Максимальная	Средняя	Минимальная	Максимальная	Средняя	Минимальная

Измерения произвел _____

Обработал _____

Проверил _____

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЛЬСОВОЙ СЕТИ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ТРАМВАЯ

Задачи расчета

Целью проверочного расчета существующей сети трамвая является определение соответствия падения напряжения на участках рельсовой сети нормируемым величинам и соответствия теоретических точек токораздела в рельсовой сети, полученных из условия эквипотенциальности пунктов присоединения, месту установки секционного изолятора; выполнения условия эквипотенциальности пунктов присоединения кабелей к рельсам; нагрузок питающих положительных и отрицательных кабелей.

В основу расчета должны быть положены следующие исходные данные:

план рельсовой сети в масштабе 1 : 10 000 с указанием на нем длин участков, типов рельсов, оснований рельсового пути, номеров маршрутов трамвая, расположения трамвайных депо;

продольный профиль путей трамвая с указанием длин и радиусов кривых;

таблица маршрутов трамвая с указанием длин маршрутов, количества и типа подвижного состава в часы максимума движения, эксплуатационной скорости, средней продолжительности работы подвижного состава на маршрутах;

действующая схема электроснабжения трамвая в масштабе 1 : 10 000 с нанесением и привязкой тяговых подстанций, пунктов присоединения положительных и отрицательных кабелей и секционных вентиляторов;

таблица кабелей с указанием сечения, длины и материала кабеля;

количество электроэнергии, преобразованной тяговыми подстанциями по месяцам за год;

количество, тип и мощность преобразовательных агрегатов, установленных на каждой подстанции;

инвентарное количество подвижного состава, прикрепленного к депо и паркам;

суточные графики нагрузки подстанции в зимнее время (за несколько характерных дней);

выпрямленное напряжение на шинах постоянного тока тяговых подстанций;

данные о регулировании потенциалов пунктов присоединения отрицательных кабелей.

Определение расчетных нагрузок

Прежде чем перейти непосредственно к методике расчета сети трамвая, необходимо остановиться на определении расчетных нагрузок рельсовых сетей, являющихся основной исходной величиной при выборе параметров рельсовой сети и отрицательных питающих линий. При расчете трамвайной сети применяют метод средних, равномерно распределенных нагрузок. Всю трамвайную сеть разбивают на отдельные расчетные участки. Границами расчетных участков служат точки разветвления трамвайных линий, места окончаний маршрутов и точки резкого изменения продольного профиля трассы. Таким образом, в пределах расчетного участка сохраняется неизменное значение (на единицу длины) удельного расхода электроэнергии на движение подвижного состава. Для каждого расчетного участка определяется удельный расход электроэнергии на движение поезда в оба направления по формуле

$$A = \frac{2 \cdot 9{,}81}{3600} G \left\{ \frac{(w_0 + i_э) L}{\eta} + pq \left[\frac{v_п^2 K_п}{2 \cdot (3{,}6)^2} \times \right.\right.$$

$$\left.\left. \times \left(\frac{1000 K_и}{9{,}81} + \frac{w_0}{a_п} \right) + \frac{v_т^2}{2 \cdot (3{,}6)^2 \eta} \left(\frac{1000 K_и}{9{,}81} - \frac{w_0}{b_т} \right) \right] \right\} + A_{с.\,н}, \qquad (1)$$

где A — расход электроэнергии на движение поезда на участок в оба направления, Вт·ч/(поезд·участок); w_0 — удельное основное сопротивление движению, кг/т ($w_0=7\div13$ в зависимости от типа подвижного состава); L — длина расчетного участка в одном направлении, м; $i_э$ — эквивалентный подъем, ‰; p — коэффициент, учитывающий дополнительные пуски и торможения ($p=1{,}2—1{,}6$); q — количество перегонов на участке ($q=L/x$, где x — средняя длина перегона, $x=400\div500$ м); η — кпд тяговых двигателей и передаточных механизмов ($\eta=0{,}72\div0{,}83$); $v_п$ — скорость выхода на автоматическую характеристику, км/ч ($v_п=16\div28$); $v_т$ — скорость начала торможения, км/ч ($v_т=20\div30$); $K_п$ — коэффициент, зависящий от системы пуска и равный 1 при отсутствии и 0,5 при наличии последовательно-параллельного пуска; $K_и$ — коэффициент инерции вращающихся масс вагона ($K_и=1{,}1\div1{,}12$); $a_п$ — ускорение при пуске, м/с² ($a_п=0{,}8\div1{,}1$); $b_т$ — замедление при торможении, м/с² ($b_т=0{,}8$); $A_{с.н}$ — расход электроэнергии на собственные нужды поезда, Вт·ч/(поезд·участок); G — вес поезда при среднем наполнении, т.

Как следует из выражения (1), удельный расход электроэнергии зависит от эквивалентного подъема участка. Средний эквивалентный подъем участка, ‰, определяют по следующим формулам:

для одностороннего движения

$$i_э = (\sum i_п l_п + \sum w_к l_к - \sum i_{б.с} l_{б.с} - w_0 \sum l_{в.с})/L; \qquad (2)$$

для двустороннего движения

$$i_э = (\sum i_в l_в - w_0 \sum i_в + 2 \sum w_к l_к)/(2l), \qquad (3)$$

где $l_п$ и $i_п$ — длина, м, и уклон, ‰, всех подъемов и направлений движения; $l_{б.с}$ и $i_{б.с}$ — длина, м, и уклон, ‰, всех безвредных спусков в направлении движения; $i_в$ — значение вредных уклонов, т. е. таких уклонов, которые по абсолютному значению больше основного удельного сопротивления движению, ‰; $l_в$ — длина вредного уклона, м; $l_к$ — длина кривой, м; $l_{в.с}$ — длина вредного спуска в направлении движения, м; $w_к$ — удельное сопротивление движению от кривых, кг/т ($w_к=420/R_к$ — для четырехосных вагонов); $R_к$ — радиус кривой, м.

Эквивалентный подъем рассчитывают по данным продольного профиля трамвайного пути для каждого расчетного участка. После определения эквивалентных подъемов для всех участков трамвайной схемы определяют эквивалентный подъем трамвайных путей в целом по городу:

$$i_{э.ср} = \sum i_э L / \sum L. \qquad (4)$$

Для определения расхода электроэнергии на собственные нужды, Вт·ч/(поезд·участок), пользуются формулой

$$A_{с.н} = P_{с.н} \cdot 2L/v_{экс}, \qquad (5)$$

где $v_{экс}$ — средняя эксплуатационная скорость, км/ч (значение $v_{экс}$ для каждого участка берется по данным трамвайного управления и подсчитывается среднее значение в целом по городу, обычно $v_{экс}=14\div18$ км/ч); $P_{с.н}$ — мощность потребителей собственных нужд, Вт (подсчитывается для каждого типа подвижного состава, курсирующего в городе, для зимних и летних условий).

Рассчитав удельный расход электроэнергии на движение вагонов различных типов в зимнее и летнее время *, определяем нагрузку на расчетном участке, А,

$$I_{уч} = AC/U_с, \qquad (6)$$

где $U_с$ — среднее напряжение в сети, В; C — частота движения поездов на участке, поезд/ч, определяемая из выражения

---

* Нагрузки в летнее время отнесены к 24 ч работы подвижного состава.

$$C = nv_{экс}/(2l), \quad (7)$$

где l — длина маршрута по оси улицы, км; n — количество поездов на каждом маршруте.

Эти значения берутся по данным трамвайного управления города. Если на линии имеются поезда только одного типа, то в формуле (6) применяется действительная частота движения C. При наличии на линии поездов разного типа частоту движения поездов следует привести к частоте движения поездов преобладающего типа. Приведение производится сравнением потребления энергии поездами разных типов. Кроме приведенного выше аналитического метода определения нагрузок сети трамвая существует метод расчета по фактическому расходу электроэнергии на тягу. Этот метод точен, однако не всегда можно пользоваться им.

Нагрузки по фактическому расходу электроэнергии можно определять при следующих условиях:

когда городским наземным электротранспортом является только трамвай, или же при раздельном учете расхода энергии на электроснабжение трамвая и троллейбуса;

когда расход электроэнергии тяговыми подстанциями в течение последнего года являлся относительно стабильным по месяцам, не считая влияния сезонных климатических условий.

Сущность этого метода заключается в следующем. Определяется средняя нагрузка подстанций на выпрямленной стороне постоянного тока, отнесенная к 24 ч работы (среднесуточная), А:

$$I_{ср} = A\eta_{пст}/(24DU), \quad (8)$$

где A — количество электроэнергии, преобразованной подстанциями на стороне переменного тока, кВт·ч; $\eta_{пст}$ — кпд преобразовательных агрегатов тяговых подстанций ($\eta_{пст}$=0,96 для кремниевых выпрямительных агрегатов); D — количество дней, в течение которых израсходовано A, кВт·ч; U — выпрямленное напряжение подстанций, обычно U=0,6 кВ.

Распределение нагрузок по участкам производят с учетом длин, эквивалентных подъемов участков, количества типов поездов. Эквивалентные подъемы для каждого участка определяют по формулам (2) и (3) описанным выше методом. Для каждого типа подвижного состава определяют удельный расход электроэнергии на движение поезда на участке по формуле (1). Далее определяют коэффициент приведения $K_{пр}$ и приведенное количество поездов $n_{пр}$.

Нагрузку расчетного участка А, определяют по формуле

$$I_{уч} = \frac{I_{ср}}{\sum NLK} NLK, \quad (9)$$

где N — суточный приведенный пробег поездов на 1 км; L — длина расчетного участка км; K — коэффициент, учитывающий влияние продольного профиля пути.

Суточный приведенный пробег поездов N определяют из выражения

$$N = v_{экс}tn_{пр}/l, \quad (10)$$

где t — продолжительность работы в сутки, ч.

Коэффициент K, учитывающий влияние продольного профиля пути, равен отношению удельного расхода электроэнергии для участков с эквивалентным подъемом больше нуля к удельному расходу электроэнергии для участков с эквивалентным подъемом, равным нулю. Пересчет летних среднесуточных нагрузок на зимние нагрузки в часы максимума движения производят посредством коэффициентов $K_з$ и $K_{макс}$ ($K_з$ — отношение среднесуточного расхода электро-

энергии за зимние месяцы к среднесуточному расходу электроэнергии за месяцы со среднесуточной температурой выше —5 °С; $K_{макс}$ — отношение расхода электроэнергии в часы максимума движения к среднесуточному расходу электроэнергии за это же время).

Нагрузки, определенные аналитическим методом или методом фактического расхода электроэнергии, наносят на схему рельсовой сети трамвая. Обычно их изображают приложенными к середине соответствующих расчетных участков.

Определение падения напряжения в рельсовой сети

Падение напряжения в рельсовой сети, В, определяется из выражения

$$\Delta U_{\text{р}} = r_{\text{р}} \sum_{k=1}^{k=m} i_k l_k, \qquad (11)$$

где $i_k l_k$ — момент тока; m — количество нагрузок на участке; $r_{\text{р}}$ — сопротивление 1 км двухколейного рельсового пути, Ом/км.

Данные о сопротивлении и сечении некоторых типов рельсов, наиболее часто применяемых на трамвайных путях, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип рельса	Масса рельса, кг	Сопротивление двухколейного рельсового пути, 10^{-3} Ом/км*	Эквивалентное сечение по меди двухколейного рельсового пути s, мм²
Р-43 (В-1-А)	44,65	10,5	1670
Р-50	51,55	9,1	1930
Р-65	64,9	7,22	2430
ТН-55	55,39	8,45	2080
ТН-60	59,97	7,8	2250
ТВ-60 (для кривых)	60,14	7,8	2250
ТВ-65 (для кривых)	64,80	7,22	2430

* С учетом сопротивления сборных стыков.

Очень часто на расчетных участках бывают уложены различные типы рельсов. Для расчета необходимо привести длину рельсов различных сечений к какому-либо одному из них. При этом удобно пользоваться эквивалентным сечением по меди s. Падение напряжения в рельсах рассчитывают от пункта присоединения отрицательного кабеля до точки токораздела и до конца линии. При проверочном расчете рельсовой сети точки токораздела в рельсах между подстанциями принимаются под токоразделами в контактной сети. Остановимся подробнее на расчете токораспределения в рельсовой сети.

Разбиваем рельсовую сеть на участки, ограниченные пунктами присоединения кабелей к рельсам. Расчет ведем в предположении, что потенциалы пунктов присоединения равны между собой *.

* Такое предположение допустимо, если потенциалы пунктов присоединения регулируются реостатными или автоматическими устройствами.

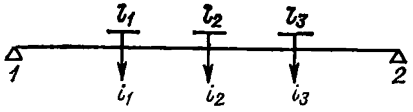

Рис. 4. Токораспределение на участке рельсовой сети.

Расчет неразветвленного контура

Определим токораспределение на участке рельсовой сети (рис. 4).

Обозначим через I_1 ток, текущий к пункту присоединения 1, через I_2 ток, текущий к пункту присоединения 2. Тогда

$$I_1 = \left[i\frac{l_3}{2} + i_2\left(l_3 + \frac{l_2}{2}\right) + i_1\left(l_3 + l_2 + \frac{l_1}{2}\right)\right]/(l_1 + l_2 + l_3); \qquad (12)$$

$$I_2 = \left[i\frac{l_1}{2} + i_2\left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) + i_3\left(l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2}\right)\right]/(l_1 + l_2 + l_3) \qquad (13)$$

или

$$I_2 = \sum_1^3 i - I_1.$$

Далее определяем точку токораздела и падение напряжения от нее до пункта присоединения отрицательного кабеля к рельсам.

Расчет разветвленного контура

Определение токораспределения в разветвленном контуре производят по методу узловых уравнений. Количество уравнений соответствует количеству узлов * в контуре. Расчет токораспределения для рельсовой сети с одним узлом производят следующим образом (рис. 5).

Обозначим разность потенциалов между пунктом присоединения кабелей к рельсам и узлом через $U_у$:

$$U_у\left(\frac{s_1}{l_1} + \frac{s_2}{l_2} + \frac{s_3}{l_3}\right) = \frac{1}{\gamma}\left(\frac{i_1}{2} + \frac{i_2}{2} + \frac{i_3}{2}\right), \qquad (14)$$

где s — эквивалентное сечение по меди двухколейного пути, мм²; γ — удельная проводимость меди, м/(Ом·мм²) (γ=57).

Распределение токов в узле находим из системы уравнений

$$j_1 = -U_у\gamma\frac{s_1}{l_1} + \frac{i_1}{2};$$

$$j_2 = -U_у\gamma\frac{s_2}{l_2} + \frac{i_2}{2}; \qquad (15)$$

$$j_3 = -U_у\gamma\frac{s_3}{l_3} + \frac{i_3}{2}.$$

В уравнениях (15) выражение $U_у\gamma(s/l)$ представляет собой уравнительный ток за счет неравенства потенциалов пунктов присоединения и узла. Знак (+), полученный в результате расчета, означает, что ток j направлен к узлу; знак

* Узлом называется точка, где сходятся не менее трех участков рельсовой сети. На противоположном от узла конце каждого участка находится пункт присоединения или другой узел.

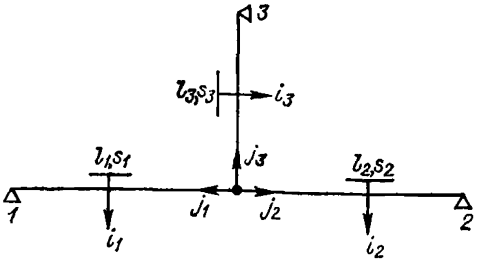

Рис. 5. Токораспределение для рельсовой сети с одним узлом.

(—) означает, что ток j вытекает из узла. При этом должно быть соблюдено основное условие $j_1+j_2+j_3=0$.

Если в контуре имеются два узла и более, то составляют столько уравнений, сколько узлов в контуре. Составим систему уравнений для схемы, показанной на рис. 6:

$$U_{y1}\left(\frac{s_1}{l_1}+\frac{s_2}{l_2}+\frac{s_3}{l_3}+\frac{s_4}{l_4+l_5}\right)=$$

$$=U_{y2}\frac{s_4}{l_4+l_5}+\frac{1}{\gamma}\left(\frac{i_1}{2}+\frac{i_2}{2}+\frac{i_3}{2}+\right.$$

$$\left.+\frac{i_5l_5/2+i_4(l_5+l_4/2)}{l_4+l_5}\right); \qquad (16)$$

$$U_{y2}\left(\frac{s_7}{l_7}+\frac{s_6}{l_6}+\frac{s_5}{l_4+l_5}\right)=U_{y1}\frac{s_5}{l_4+l_5}+$$

$$+\frac{1}{\gamma}\left(\frac{i_7}{2}+\frac{i_6}{2}+\frac{i_4l_4/2+i_5(l_4+l_5/2)}{l_4+l_5}\right).$$

Решив систему уравнений, получим значения потенциала первого узла U_{y1} и потенциала второго узла U_{y2}. Далее определяем токи.

В первом узле

$$j_1=-U_{y1}\gamma\frac{s_1}{l_1}+\frac{i_1}{2};$$

$$j_2=-U_{y1}\gamma\frac{s_2}{l_2}+\frac{i_2}{2};$$

$$j_3=-U_{y1}\gamma\frac{s_3}{l_3}+\frac{i_3}{2}; \qquad (17)$$

$$j_4=(U_{y2}-U_{y1})\gamma\frac{s_4}{l_4+l_5}+\frac{i_5l_5/2+l_4(l_5-l_4/2)}{l_4+l_5}.$$

Во втором узле

$$j_7=-U_{y2}\gamma\frac{s_7}{l_7}+\frac{i_7}{2}; \qquad (18)$$

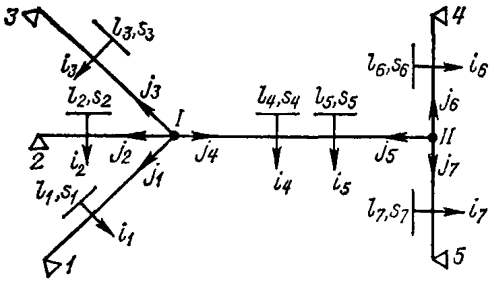

Рис. 6. Токораспределение для рельсовой сети с двумя узлами.

$$j_6 = -U_{y2}\gamma\frac{s_6}{l_6} + \frac{i_6}{2};$$

$$j_5 = (U_{y1} - U_{y2})\,\gamma\frac{s_4}{l_4 + l_5} + \frac{i_4 l_4/2 + i_5\,(l_4 + l_5/2)}{l_4 + l_5}. \qquad (18)$$

Точки токораздела и падения напряжения в рельсах находят так же, как и в неразветвленном контуре. В ряде случаев на расчетном участке рельсовой сети бывают уложены рельсы разного типа. Тогда длину рельсов разных сечений приводят к длине рельс одного типа.

Приведение производят по формуле

$$l_{пр} = l\frac{s_{пр}}{s},$$

т. е. при замене участка рельсового пути другим, эквивалентным, длина его должна быть изменена в отношении $s_{пр}/s$ (где $l_{пр}$ — приведенная длина, км; $s_{пр}$ — приведенное сечение, мм^2).

В тех случаях, когда отрицательная кабельная сеть не регулируется, необходимо разбить ее на расчетные контуры, в которые включаются вся рельсовая сеть района питания данной подстанции и все отрицательные линии. Точкой равного потенциала в данном случае является отрицательная шина тяговой подстанции. При этом длину и сечение отрицательных питающих кабелей приводят к сечению рельсов. Аналогичным образом рассчитывают падение напряжения в рельсах по всему городу, определяют участки, где не выдержана допустимая норма падения напряжения в рельсах, и намечают мероприятия по приведению падения напряжения в рельсах в соответствие с нормой.

Эти мероприятия заключаются в изменении схемы питания и секционирования контактной сети, изменении количества отрицательных кабелей, перенесении пунктов присоединения, установления средств регулирования на тяговых подстанциях, в строительстве новых тяговых подстанций и др. Для более экономичного и технически целесообразного решения вопроса необходимо рассмотреть несколько вариантов электроснабжения трамвая. При рассмотрении вариантов принимается во внимание ближайшее перспективное развитие сети трамвая. Производят технико-экономическое сравнение вариантов и выбирают наивыгоднейший вариант электроснабжения. Для выбранного варианта электроснабжения трамвая намечают конкретные мероприятия: прокладку новых кабелей (марка, длина, сечение), оборудование новых пунктов присоединения к рельсам, изменение секционирования контактной сети, установку устройств автоматического регулирования пунктов присоединения. Из всех мероприятий в первую очередь выделяют такие, которые не требуют капитальных затрат и связаны с изменением секционирования контактной сети. Далее производят расчет трамвайной сети с учетом всех предложенных мероприятий. Расчет проводят аналогично проверочному, изложенному выше.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ДРЕНАЖНОЙ ЗАЩИТЫ

Тип устройства	Номинальный ток, А	Допустимое обратное напряжение, В	Максимальное дренажное сопротивление, Ом
ПГД-60	60	150	0,5
ПГД-100	100	50	0,5
ПГД-200Н	200	50	0,5
ПД-3А	500	100	0,936
ПД-200	500	300	0,3
ПД-500	500	300	0,15

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСИЛЕННОЙ ДРЕНАЖНОЙ ЗАЩИТЫ

Тип устройства	Входная мощность, кВт	Выпрямленный ток, А	Выпрямленное напряжение, В	Допустимое обратное напряжение, В
ПАД-1,2	1,2	100/200	12/6	300
ПАД-2	2	165/330	12/6	300
ПАД-3	3	250/500	12/6	300
ПДУ-АКХ	3	250/500	12/6	300

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБОРОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКОВ

Тип	Назначение	Класс точности	Пределы измерений		Входное сопротивление, Ом/В	Время успокоения стрелки, с	Условия эксплуатации		Размеры, мм	Масса, кг	Питание
			по току, А	по напряжению, В			Температура, °С	Относительная влажность, %			
М-231	Измерение постоянных напряжений и токов	5	0,005—0—0,005; 0,05—0—0,05; 0,1—0—0,1, 1—0—1; 5—0—5; 10—0—10	0,075—0—0,075; 0,5—0—0,5; 1—0—1; 5—0—5; 10—0—10; 50—0—50; 100—0—100	$20 \cdot 10^3$	Менее 3	От —30 до 40	90 (при 30 °С)	180×178×94	1,5	—
ВУ	Измерение постоянных напряжений и токов, эффективных значений переменных напряжений и токов электрического сопротивления постоянному току	5	Постоянного тока $0{,}3 \cdot 10^{-6}$; $1 \cdot 10^{-6}$; $10 \cdot 10^{-6}$; 0,001; 0,01; 1 Переменного тока $30 \cdot 10^{-6}$; $100 \cdot 10^{-6}$; 0,001; 0,01; 1	Постоянного напряжения 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300; 3000 Переменного напряжения	От $1{,}4 \cdot 10^6$ до $13 \cdot 10^6$ при постоянном напряжении; от $90 \cdot 10^3$ до $200 \cdot 10^3$ при переменном напряжении	4	От —30 до 50	98 (при 35 °С)	275×180×160	4,2	Автономное от элементов 373 «Марс»
Н-399	Измерение и регистрация токов и напряжений в цепях постоянного тока	1,5	Определяется используемым шунтом типа 75ШС или 75РИ	0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 1000; 300; 3000 0,001; 0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,075; 0,25; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 100	$10 \cdot 10^6$ на пределах до 250 кВ; $2 \cdot 10^5$ на пределах от 1 до 100 В	2	От 0 до 50	95 (при 30 °С)	230×180×315	10	От сети и автономное от преобразователей П-39
М-254	Измерение постоянного тока	0,5	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$; $3 \cdot 10^{-5}$; $6 \cdot 10^{-5}$; $1{,}5 \cdot 10^{-3}$; $5 \cdot 10^{-3}$; $15 \cdot 10^{-3}$; $60 \cdot 10^{-3}$	—	$2 \cdot 10^4$	4	От —10 до 35	80 (при 30 °С)	224×158×100	1,8	—
Ш-1312	Измерение напряжения постоянного тока (цифровой электроизмерительный прибор)	0,5	—	1; 10; 100; 500	$1 \cdot 10^6$	4	От 10 до 30	80 (при 30 °С)	220×125×260	4,5	От сети переменного тока напряжением 220 В
УКИП-75	Измерение напряжений и токов	2,5	0,5; 5; 10	0,6; 1,2; 3; 6; 12; 120	—	—	От 5 до 50	80 (при 30 °С)	290×220×135	1,5	Автономное

gost.e-ecolog.ru