

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**  
**ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ

по курсу

**«Электроснабжение электрического транспорта»**

(для студентов 3 курса всех форм обучения  
направления подготовки 6.050702 «Электромеханика»)

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электроснабжение электрического транспорта» (для студентов 3 курса всех форм обучения направления подготовки 6.050702 «Электромеханика») / Харьк. нац. акад. город. хоз-ва; сост.: В. К. Нем, М. И. Киселев, А. В. Яхлаков, Н. П. Лукашова. – Х.: ХНАГХ, 2007. – 84 с.

Составители: В. К. Нем,  
М. И. Киселев,  
А. В. Яхлаков,  
Н. П. Лукашова

Рецензент: В. Н. Фатеев

Рекомендовано кафедрой ЭТ,  
протокол № 12 от 12.01.2007 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение.....	4
1. Лабораторная работа № 1. Изучение и исследование специальных частей контактной сети.....	5
2. Лабораторная работа № 2. Исследование влияния температуры и нагрузки на стрелы провеса и натяжения контактной сети.....	15
3. Лабораторная работа № 3. Исследование режимов работы рельсовой сети электрического транспорта.....	26
4. Лабораторная работа № 4. Определение мест повреждения в силовых кабелях с помощью кабельного моста КМ-61.....	40
5. Лабораторная работа № 5. Определение мест повреждения в кабельных линиях импульсным методом.....	57
6. Лабораторная работа № 6. Изучение и исследование конструкции контактной сети трамвая и троллейбуса.....	70
Список литературы.....	84

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания переработаны в связи с изменением названия дисциплины по новому учебному плану утвержденному 18.03.2006 года.

Лабораторные занятия по курсу «Электроснабжение электрического транспорта» имеют цель углубить и закрепить теоретические знания, полученные студентами на лекциях, обучить их методам экспериментальных и научных исследований, привить навыки научного анализа и обобщения полученных результатов, работы с лабораторным оборудованием, аппаратурой, измерительными приборами и вычислительной техникой.

Лабораторные работы являются одним из важнейших этапов изучения основ электроснабжения и тяговых сетей. Они могут быть эффективными лишь в том случае, если каждый студент будет в достаточной степени подготовлен к очередному занятию. При этом каждый студент должен:

- изучить по конспекту и учебнику теоретический материал, относящийся к данной работе;
- изучить по методическим указаниям к лабораторным работам электрические схемы испытаний, уяснить назначение всех ее элементов;
- ознакомиться с устройством, элементами управления, порядком работы и мерами безопасности при работе на испытательном стенде;
- заготовить на бланке отчета таблицы для записи экспериментальных и расчетных данных, записать формулы, по которым будут производиться вычисления, зарисовать электрическую схему испытаний.

После проверки преподавателем данных, полученных студентами при испытаниях, все элементы управления испытательного стенда должны быть приведены в исходное состояние, после чего студенты приступают к оформлению индивидуального отчета о проделанной работе. При оформлении отчета особое внимание следует обратить на выполнение графических работ. Все схемы должны быть вычерчены согласно стандартным условным графическим обозначениям.

В конце отчета по работе формулируют выводы.

Отчет защищают индивидуально или в составе бригады.

## *Лабораторная работа №1*

### *Изучение и исследование специальных частей контактной сети*

#### **Цель работы:**

Практическое ознакомление с конструкциями спецчастей контактной сети. При изучении схем и конструкций управляемых стрелок выполняются исследования их привода. Изучение спецчастей контактной сети ведется по натуральным образцам и плакатам с составлением эскизов и схем специальных частей.

#### ***1. Краткие сведения о специальных частях контактной сети***

Специальные части контактной сети представляют собой группу наиболее сложных конструкций, устанавливаемых в особых местах контактных линий. К специальным частям относят следующие устройства.

***Секционные изоляторы*** служат для электрического разделения сети на изолированные участки, имеют обозначение СИТ-Д для сети трамвая и СИ-6Д, СИ-6М для сети троллейбуса.

Секционные изоляторы СИ-6Д имеют устройство для принудительного гашения электрической дуги в случае ее возникновения при прохождении токоприемника. Дугогасительное устройство работает следующим образом. В момент нахождения токоприемника троллейбуса на втором по ходу ходовом элементе ток протекает от контактного провода (элемент 1) через обмотку дугогасительной катушки  $L_3$  на второй элемент и через тяговый двигатель на отрицательный контактный провод. При этом в воздушном промежутке под камерой и в самой дугогасительной камере создается электромагнитное поле. При перемещении токоприемника на третий элемент ток к нему протекает через второй воздушный промежуток по возникшей электрической дуге, которая взаимодействуя с магнитным полем,

выдувается вверх дугогасительной камеры и гасится. Для повышения быстродействия камера выполнена в виде щелевой с роговыми направляющими для растягивания дуги. При попадании на четвертый элемент дуга должна быть погашена.

На базе этого изолятора разработана и успешно применяется облегченная конструкция секционного изолятора СИ-6М для сети троллейбуса, у которого отсутствует система гашения дуги, и поэтому масса и размеры изолятора значительно уменьшены. Также секционные изоляторы устанавливаются в качестве составных элементов в пересечениях троллейбусных линий и в управляемых стрелках.

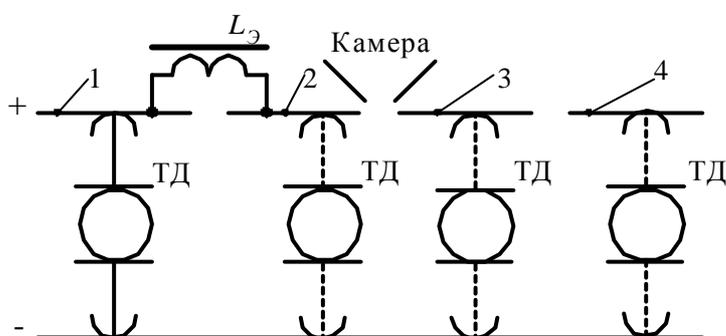


Рис. 1 - Схема секционного изолятора: 1,2,3 и 4 –ходовые элементы

Пересечение трамвайных проводов с троллейбусными проводами типа МТТ-40/90 устанавливается в местах пересечения линий трамвая и троллейбуса, выпускается для углов встречи 40-90°. Это пересечение выполняется в трех модификациях в зависимости от угла пересечения: МТТ-40/60 (угол встречи в пределах от 40 до 60°), МТТ-60/80 (угол встречи в пределах от 60 до 80°) и МТТ-80/90 (угол от 80 до 90°). Трамвай проходит это пересечение в режиме выбега. На отдельных участках трамвайных линий предусматриваются пересечения, обеспечивающие прохождение их трамваем под током, а троллейбусом в режиме выбега, в том числе: на подъемах более 25 ‰, на участках с кривыми радиусом менее 70 м, при сочетаниях подъема с кривым участком пути.

Проектируя трамвайные и троллейбусные линии, ориентируются на конструкции пересечений контактных проводов под углами:

- от 40 до 90° — в пересечениях трамвайного контактного провода с троллейбусными проводами;
- от 45 до 90° — в пересечениях троллейбусных контактных проводов между собой.

В конструкциях пересечений трамвайных и троллейбусных контактных линий обеспечивается изоляция между проводами трамвая и троллейбуса и между положительным и отрицательным проводами троллейбуса, рассчитанная на испытательное напряжение постоянного тока 5 кВ (рис. 2).

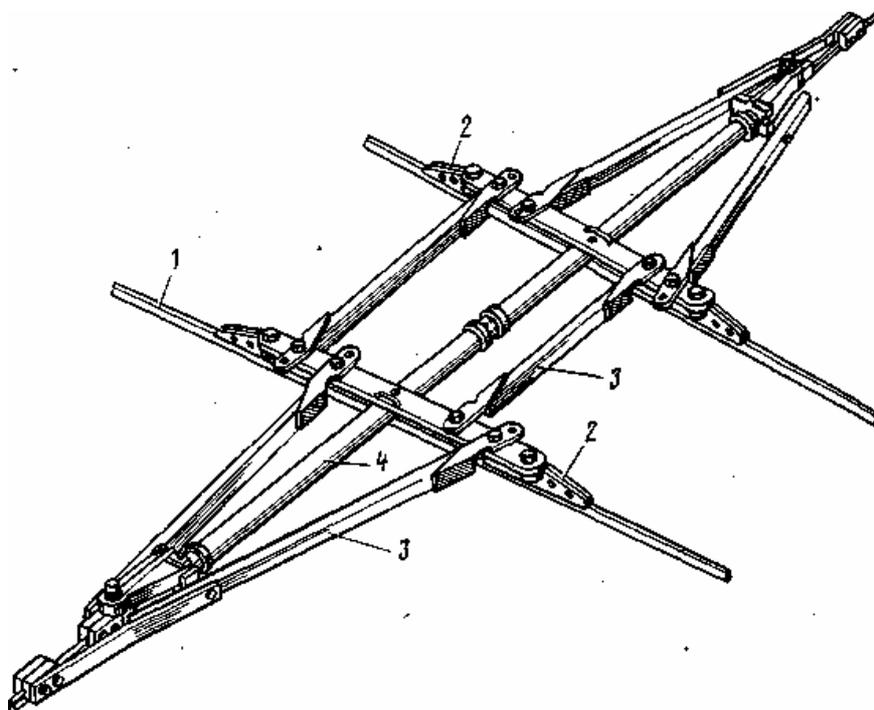


Рис. 2 - Пересечение контактных подвесок типа МТТ-40/90 трамвайной линии с троллейбусной:  
1 - контактные провода; 2 - подвесные зажимы; 3 - электроизоляционные полозья; 4 - бакелитовая труба

Пересечения троллейбусных линий выпускаются для углов встречи 50-900. При пересечении контактных подвесок двух троллейбусных линий применяют различные конструкции, например, типа МПИ-6Д (рис. 3) и КТТУ.

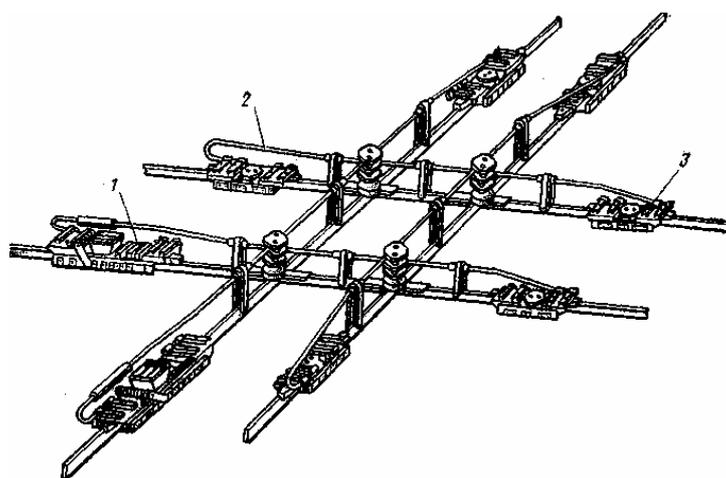


Рис.3 - Пересечение контактных подвесок типа МПИ-6Д  
двух троллейбусных линий

Пересечение МПИ-6Д надежно в эксплуатации, имеет высокую электрическую изоляцию между проводами пересекающихся контактных линий. Максимальная скорость прохода троллейбусов этого пересечения составляет 25 км/ч. Такие пересечения устанавливаются на горизонтальных участках троллейбусных линий и на продольных уклонах, не превышающих 15‰.

На подъемах более 15‰/00 используют пересечения, которые обеспечивают движение троллейбусов на подъем под током и в другом направлении движения на выбеге. Такие пересечения предусматривают и в тех случаях, когда расстояние между изолированными частями двух последовательно установленных пересечений менее 5м.

Пересечение конструкции КТТУ имеет центры встречи с ходовыми элементами для прохода головок токоприемников контактными вставками. Центры встречи имеют фиксированные углы на 20;45 и 90°. Центральная часть пересечения полностью изолирована секционными изоляторами так же, как и в МПИ-6Д. Центр встречи имеет ходовые элементы и центральной штырь. Между центровым штырем и ходовыми элементами созданы разрывы ходовой линии для пропуска головки токоприемника пересекающего направления. Высота ходовых элементов и штыря обеспечивает проход головки скольжением контактной вставкой. Электрическое соединение контактных проводов

осуществляется с помощью четырех изолированных соединителей (перемычек).

Возможность прохождения пересечения контактной вставкой является преимуществом пересечения КТТУ в сравнении с МПИ-6Д, наличие же различных решений для жестко определенных углов встречи усложняет конструкцию и ее эксплуатацию. Так же, как и для МПИ-6Д, наличие изолированной центральной части ограничивает применение пересечений КТТУ в местах, где троллейбусы должны проходить с включенными тяговыми двигателями. Такими местами являются значительные подъемы и повороты. Кроме того, по той же причине при расположении на близком расстоянии друг от друга трех и более пересечений образуется трудно проходимый участок для троллейбуса.

Одной из наиболее часто устанавливаемых специальных частей являются **кривые держатели** типа КД-25/45, которые применяются на криволинейных участках троллейбусных линий для создания плавной ходовой линии движения токоприемников троллейбуса.

Кривой держатель типа КД-25/45 имеет сборную конструкцию и предназначен для установки на углы поворота от 25 до 45<sup>0</sup>. Комплект состоит из двух плит, на которых закрепляют контактные провода МФ-85, двух стальных ходовых шин (бегунков) диаметром 18 мм с концевыми проходными зажимами, обеспечивающими плавность перехода с провода на ходовую шину и обратно. Он содержит четыре предохранителя от западания штанги между проводами и ходовой шиной при ее сходе, а также специального планочного изолятора, соединяющего плиты.

В местах разветвления троллейбусных линий устанавливают **управляемые стрелки** типа УСУ-74 для перевода движущихся токоприемников на одно из двух направлений по выбору водителя и имеют симметричный угол расхождения проводов 20<sup>0</sup>. В конструкции ее заложен принцип скольжения токоприемника контактными вставками по всем ходовым элементам в пределах стрелочного узла. Все подходящие к стрелке провода разрезаются и крепятся на ее конструкции, что обеспечивает отсутствие уклонов в ходовой линии в пределах стрелки.

Стрелочный узел (рис. 4) представляет сборную конструкцию из двух стрелок, соединенных тремя планочными изоляторами разной длины: крестовины, двух секционных изоляторов и ходовых присоединительных шин.

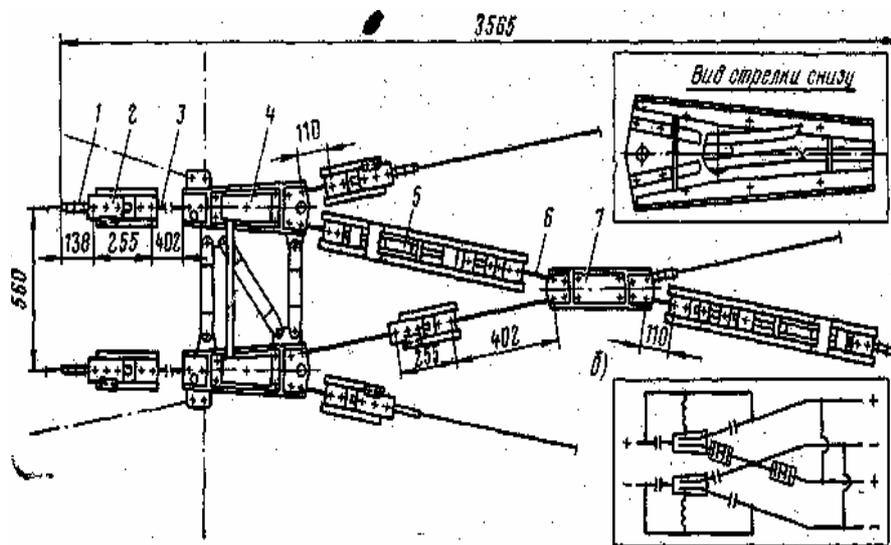


Рис. 4 - Управляемая стрелка УСУ-74 (а) и ее электромеханическая схема (б):  
 1 - клемма концевая; 2 - серийный контакт; 3,6 - шина; 4 - стрелка;  
 5 - специальный изолятор; 7 - крестовина

Основания стрелки выделены пятью изоляционными промежутками, которые вместе с шиной служат на входе серийными контактами. Механизм перевода стрелки линии во время движения имеет станину (см. стрелку УСУ-74), электрически соединенную с серийным контактом, и несет механизм привода пера. Механизм вместе с пером собран в отдельный съемный узел, что представляет большое удобство для замены его на линии в случае неисправности. Снизу плиты имеются ходовые элементы. Перевод перьев с совмещением одного из перьев с входным ходовым элементом обеспечивает движение головки токоприемника в том или ином направлении. Оба механизма являются управляемыми, они связаны тягой, обеспечивающей синхронность перевода перьев. Управление стрелкой осуществляется водителем. Перья постоянно удерживаются пружинами для проезда направо - движение троллейбусов с выключенными двигателями, для проезда налево - движение с включенными тяговыми двигателями, а перья переводятся и удерживаются электромагнитами механизмов. При этом ток протекает от положительного контактного провода

через электромагнит, тяговый двигатель, другой электромагнит к отрицательному контактному проводу.

В местах слияния двух троллейбусных линий для перевода токоприемников с двух линий на одну монтируют *сходные стрелки*. Сходная стрелка ССУ-74 аналогична УСУ-74. Плита стрелки имеет неподвижные сходящие ходовые элементы. Высота ходовых элементов на стрелке и крестовине обеспечивает скольжение головки токоприемников контактной вставкой на всем протяжении стрелочного узла. Максимальная скорость движения троллейбуса под стрелкой при отклонении от оси проводов не более 2 м составляет 30 км/час. Длина стрелочного узла - 3200 мм, масса (без распора) - 90 кг.

## ***2. Описание лабораторных устройств***

На лабораторном полигоне представлены плакаты с изображением специальных частей контактных сетей и их натуральные образцы. Управляемая стрелка установлена на специальном стенде. Схема питания электромагнитного привода стрелки приведена на рис. 5.

## ***3. Программа работ***

3.1. Изучение и изображение схемы управляемой стрелки УСУ-74.

3.2. Исследование электромагнитного привода на стенде.

Кинематическая схема привода представлена на рис. 6. Здесь пружина 3 имеет предварительную закрутку, вследствие чего перо 1 четко возвращается в исходное положение "направо". При протекании тока по обмотке электромагнита на рычаг 7 действует сила  $P$ , преодолевающая момент пружины и силы трения в опорных точках и создающая ускорение перу. Величина тока должна быть такой, чтобы обеспечивался четкий перевод пера. Величина момента, создаваемого закручиванием пружины:

$$M = \frac{E \cdot I_x}{p \cdot D \cdot N}, \quad (1)$$

где  $\varphi$ - угол закрутки в радианах;

$E=(1,8\div 2,2)\cdot 10^5$  - модуль упругости стальной проволоки, Н/мм<sup>2</sup> ;

$I_x$ - момент инерции сечения витка, мм<sup>4</sup>;

$N$ - число витков пружины.

Для проволоки диаметром  $d$ :

$$I_x = \frac{p \cdot d^4}{64}, \quad (2)$$

тогда формула (1) с учетом формулы (2) преобразуется:

$$M = \left( \frac{E \cdot d^4}{64 \cdot D \cdot N} \right). \quad (3)$$

Выражение в скобках (3) есть характеристика пружины на кручение. Обозначив его через  $C$ , можно записать:

$$M = \cdot C. \quad (4)$$

Величина нагружающего усилия  $P$ , преодолевающего момент пружины, зависит от тока  $I$ . Зависимость  $P(I)$  определить экспериментальным путем в следующей последовательности:

- измерить параметры пружины  $d, D, N$  и по (3) найти  $C$ ;
- задать различные значения  $\varphi$  и по (4) вычислить момент  $M$ , построить график  $M(\varphi)$ ;
- установить пружину в приводе, задавая различные значения угла закрутки пружины;
- измерить на стенде величину тока, при которой перо четко переходит налево, построить график зависимости  $\varphi(I), M(I)$ ;
- измерить плечо  $a$  приложения силы  $P$  (см. рис. 5) и, используя графики  $\varphi(I), M(I)$ , разделив  $M$  на  $a$ , получить зависимость  $P(I)$ , построить ее график.

Операция однократного срабатывания привода должна быть проведена за время не более 30 с. В противном случае схема принудительно примет исходное положение. Для каждого угла закрутки опыт с оценкой тока  $I$  повторяется два - три раза, в расчет принимают среднее его значение. В опытах ток через обмотку электромагнита не должен превышать 100 А.

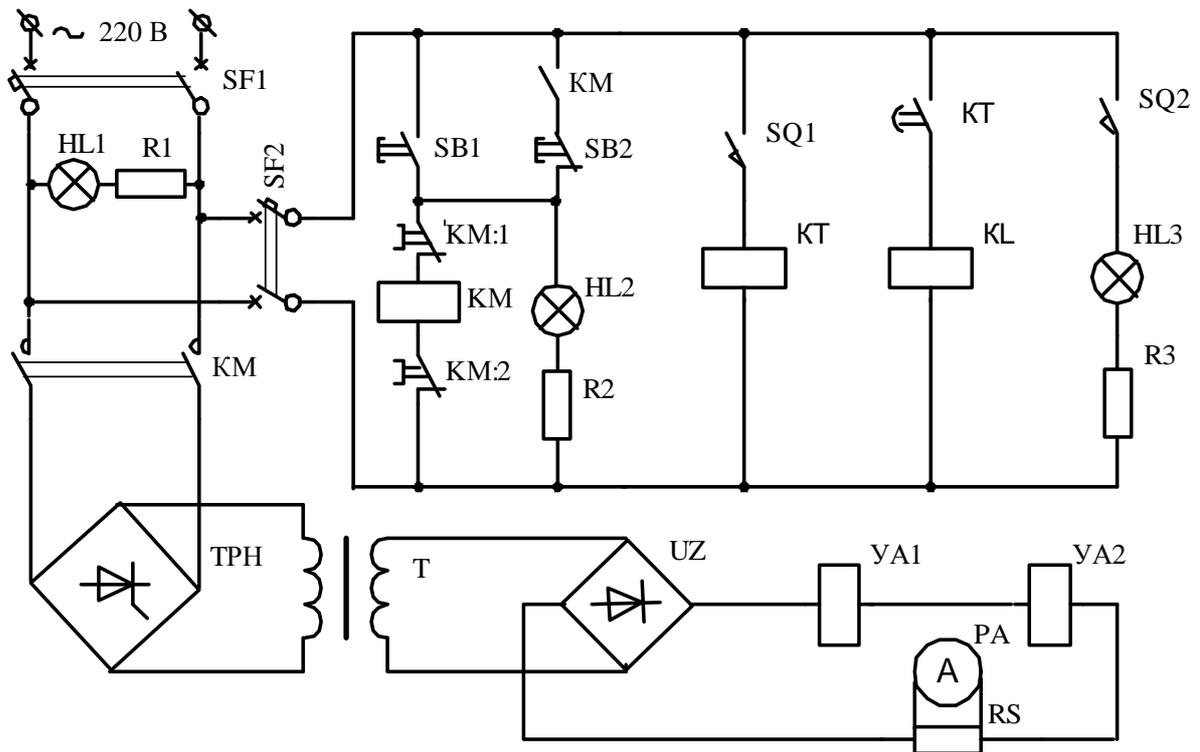


Рис. 5 - Схема установки для испытаний электромагнитного привода: SF1, SF2 – выключатель автоматический; КМ – пускатель магнитный; ТРН – тиристорный регулятор напряжения; Т - трансформатор; UZ – мост выпрямительный; YA1, YA2 - стрелочный электромагнит; РА - амперметр с шунтом RS; SB1, SB2 – выключатель кнопочный (включения и отключения); КМ:1, КМ:2 – контакт вспомогательный магнитного пускателя; КТ - реле времени; КЛ - реле промежуточное; SQ1, SQ2 – выключатель конечный, управляемый электромагнитом; HL - лампы сигнальные

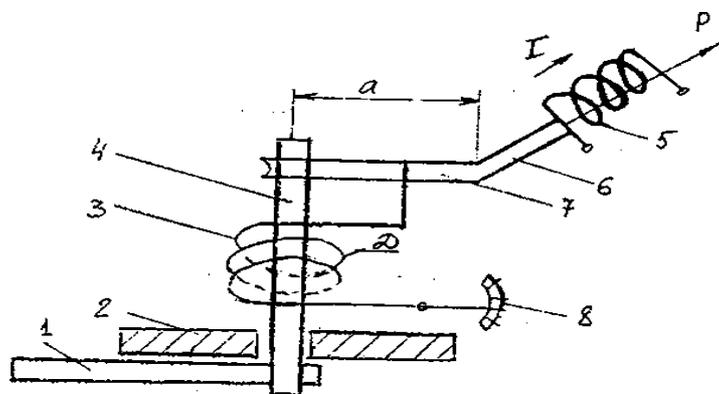


Рис. 6 - Кинематическая схема привода стрелки:

- 1 - перо; 2 - корпус; 3 - пружина; 4- ось; 5- электромагнит; 6- поводок; 7- рычаг;  
8- регулировочный сектор

Привод стрелки УСУ-74 должен четко срабатывать при токе электромагнита 40 А. При наличии зависимости  $P(I)$  для  $I=40$  А можно выбрать характеристику пружины и угол ее закрутки. Решение по оценке  $M, P$  и  $\phi$  для двух пружин при  $I = 40$  А показать на графиках.

#### ***4. Содержание отчета***

В отчете по работе решить следующие вопросы:

- дать кинематическую схему привода управляемой стрелки контактной сети троллейбуса;
- изложить результаты экспериментального исследования привода с приведением данных измерений, расчетов, графиков и выводов.

#### ***5. Контрольные вопросы***

1. Назначение секционирования контактной сети.
2. Секционные изоляторы: типы и принцип работы.
3. Кривые держатели, область применения, типы.
4. Пересечение троллейбусных линий, типы, особенности работы.
5. Для чего необходимы перемычки пересечений троллейбусных линий?
6. Чем отличаются пересечения троллейбусных линий МПИ-6Д и КТТУ?
7. Пересечение контактных проводов трамвая с троллейбусом: назначение, модификации, принцип устройства и конструктивные элементы.
8. В каких случаях пересечение проводов трамвая с троллейбусом выполняется так, что в режиме выбега находится троллейбус?
9. Сходные стрелки троллейбуса: назначение, устройство.
10. Управляемые стрелки троллейбуса: принцип работы и конструктивные особенности.

## *Лабораторная работа №2*

### *Исследование влияния температуры и нагрузки на стрелы провеса и натяжения контактной сети*

**Цель работы:** Изучить способы регулирования стрелы провеса и натяжения в контактной сети при различной системе подвески. Получить практические навыки построения монтажных кривых. Изучить влияние гололеда на режим работы контактной цепи.

#### *1. Краткие теоретические сведения*

Для улучшения токосъема необходимо стремиться к обеспечению по возможности меньшей стрелы провеса контактного провода, что может быть достигнуто путем увеличения его натяжения или точнее - поддерживанием более высокой степени его натяжения при всех режимах.

В то же время максимально допустимое натяжение в проводе, ограничиваемое его прочностью, должно быть выбрано таким, чтобы при самых неблагоприятных климатических условиях натяжение в проводе не превосходило величины, допускаемой по нормам. При всех других режимах работы подвески натяжение провода будет меньше допустимого, если не будут приняты какие-либо специальные меры для его регулировки.

Таким образом, чтобы правильно смонтировать контактную подвеску при ее сооружении и обеспечить ее надежную работу в эксплуатации, необходимо создать при монтаже нового провода и при его замене такое натяжение, которое соответствовало бы тому режиму, той температуре, при которой производится подвеска провода.

Для этой цели используются монтажные кривые или монтажные таблицы, в которых представлены зависимость натяжения провода  $H$  и стрелы провеса  $f$  от температуры  $t$  (рис. 1).

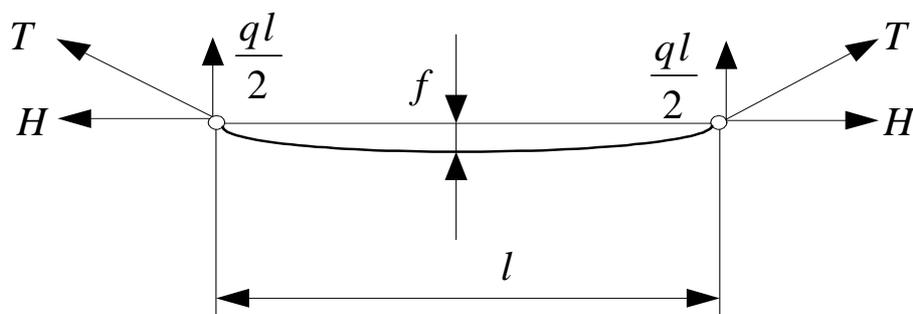


Рис. 1 - К расчету простой контактной подвески:  
 $T$  - натяжение провода,  $H$ ;  $H$  - горизонтальная составляющая натяжения,  
 $H$ ;  $q$  - распределенная результирующая нагрузка провода,  
 Н/м;  $l$  - длина пролета, м

Эти зависимости получаются в результате механического расчета контактной подвески, который производится исходя из указанного ранее условия, чтобы при наиболее тяжелых условиях при максимальной температуре или при наибольшей добавочной нагрузке (гололеде) натяжение в контактном проводе не превосходило максимально допустимого. При значительных температурах проводов, возникающих при эксплуатации подвески и воздействия окружающей среды, натяжения в них резко снижаются, что приводит, естественно, к увеличению стрелы провеса и ухудшению токосъема.

В нижней точке провода  $T=H$ . Для контактных проводов, имеющих небольшие стрелы провеса,  $T_{\max} = (1,02 \div 1,05)H$ . Поэтому считают, что  $T=H$ .

Положение контактного провода в пролете наиболее точно описывается уравнением гибкой нити.

Стрела провеса провода (в метрах), т. е. его наибольший провес, который при равенстве уровней подвеса провода будет в середине участка:  $f = ql^2 / 8H$ .

При изменении температуры происходит изменение его линейных размеров. Если изменить нагрузку, действующую на провод, происходит его деформация, которая определяется по закону Гука. Уравнение состояния контактного провода связывает два режима; параметры исходного условно обозначены индексом 1, а искомого — индексом  $i$ .

$$\frac{q_i^2 l^2}{24H_i^2} - \frac{q_1^2 l^2}{24H_1^2} = \alpha(t_i - t_1) + \frac{H_i - H_1}{ES},$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного удлинения,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$E$  — модуль упругости второго рода,  $\text{H}/\text{мм}^2$ ;

$S$  - площадь сечения провода,  $\text{мм}^2$ .

В тех случаях, когда  $q_i = q_1$ , т. е. нагрузка не изменяется, а происходит изменение только температуры, уравнение состояния решают относительно температуры  $t_i$ , задаваясь произвольными значениями  $H_i$ ;

В тех случаях, когда  $q_i \neq q_1$ , уравнение состояния относительно  $H_i$  является неполным кубическим уравнением, его решают методом подбора.

Целесообразно в уравнении состояния под индексом  $1$  использовать режим, при котором провод имеет максимальное натяжение  $H_1 = H_{\text{макс}}$ :

$$t_i = \left( t_1 - \frac{q_1^2 l^2}{24\alpha H_1^2} + \frac{H_1}{\alpha ES} \right) + \frac{q_i^2 l^2}{24\alpha H_i^2} - \frac{H_i}{\alpha ES}.$$

Для простой некомпенсированной подвески возможны два варианта наиболее тяжелого режима: режим минимальной температуры и режим гололеда. Для определения, какой же из этих режимов является наиболее тяжелым, вводится понятие **критического пролета**. Длина этого пролета:

$$l_{\text{кр}} = H_{\text{макс}} \sqrt{\frac{24\alpha(t_2 - t_{\text{мин}})}{q_2^2 - q_{\text{тмин}}^2}},$$

где :  $\alpha$  - коэффициент линейного удлинения,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$H_{\text{макс}}$  - максимальное натяжение провода,  $\text{H}$ ;

$t_2$  - температура гололеда, обычно  $t_2 = -5^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{мин}}$  - минимальная температура;

$q_2$  - результирующая нагрузка при гололеде;

$q_{\text{тмин}}$  - результирующая нагрузка при минимальной температуре.

Если реальный пролет  $l > l_{\text{кр}}$ , в качестве исходного расчетного режима принимается режим гололеда  $H_1 = H_2 = H_{\text{макс}}$ . Если же  $l < l_{\text{кр}}$ , исходным

расчетным режимом является режим, соответствующий минимальной температуре  $H_I = H_{\min} = H_{\max}$ .

Чтобы полностью исключить или хотя бы уменьшить влияние температуры на качество токосъема, приходится применять специальные меры, к числу которых относится сезонная регулировка натяжения. Сезонная регулировка осуществляется путем включения какого-либо приспособления (например, натяжной муфты), позволяющего регулировать натяжение контактного провода при изменении температуры (подтягивать провод при переходе от зимнего сезона к летнему сезону и отпускать его при обратном переходе). Автоматическое регулирование натяжения провода обеспечивается закреплением концов контактного провода на компенсаторах, выполняемых обычно в виде грузов и системе блоков. При трехблочной системе компенсация равна 1:4, при двухблочной – 1:2. Грузы, натягивающие полиспасть, помещают внутри трубчатых опор или снаружи. На загородных и на вылетных линиях допускается закрепление грузов снаружи опоры.

## ***2. Описание стенда***

На стенде смонтирована модель простой продольной подвески контактного провода марки МФ-85 с длиной пролета, равной 30м. Масштаб стрел провеса провода модели по отношению к действительным стрелам провеса составляет 1:2,5.

Изменение температуры провода достигается за счет нагревания его электрическим током. На шкале амперметра, включенного в цепь тока, проходящего по проводу, помечена условная температура, до которой он нагревается соответствующим значением проходящего через него тока. Температура провода, равная температуре окружающего его воздуха в помещении, принята условно соответствующей минимальной температуре. От этой начальной температуры происходит нагрев провода до температуры, принимаемой в качестве максимальной.

Включение питания стенда производится рубильником S1, установленным на вертикальной панели лабораторного стола. Стенд содержит: SF1, SF2 – выключатель автоматический; КМ – пускатель магнитный; Т1 – лабораторный автотрансформатор; Т2 - трансформатор; UZ – мост выпрямительный; РА1 – амперметр, включенный через трансформатор тока ТТ; РА2 - амперметр с шунтом RS; SB1, SB2 – выключатель кнопочный (включения и отключения); КМ:1, КМ:2 – контакт вспомогательный магнитного пускателя; НЛ - лампы сигнальные; SД – выключатель блокировки двери.

Регулировка тока, а следовательно, и температуры провода, осуществляется вращением ручки автотрансформатора, расположенной в верхней части шкафа. В этом же шкафу расположен и амперметр РА2, на шкале которого помечены условные температуры, до которых нагревается провод при том или ином токе. Поворот ручки трансформатора влево до упора приводит к уменьшению тока до нуля, а вправо - к его увеличению.

Увеличение нагрузки на провод при гололедном режиме осуществляется путем подвешивания к основному проводу дополнительного, который нормально подвешен под основным и имеет крючья для зацепления.

Провод подвески на одном из кронштейнов закреплен жестко, а на другом прикреплен к грузу через неподвижный блок, т.е. создана система с автоматическим регулированием натяжения контактного провода. Действие груза может быть прекращено путем завинчивания специального зажима, помещенного под грузом. Тогда подвеска становится некомпенсированной.

Замер стрел провеса производится по зеркальной шкале, расположенной в середине пролета модели.

Совмещая визуально верхнюю кромку провода с ее изображением в зеркале, определяют величину стрелы провеса, соответствующего каждому положению провода. Во избежание ожогов не следует прикасаться к нагретому проводу.

### ***3. Содержание работы***

В работе должно быть исследовано влияние температуры провода и нагрузки при гололеде на стрелу провеса и натяжение контактного провода при следующих системах простой подвески:

- а) некомпенсированная система;
- б) система с сезонным регулированием натяжения;

в) компенсированная система.

Для всех случаев перечисленных систем должны быть построены графики исследованных зависимостей и сделаны соответствующие выводы.

#### **4. Порядок выполнения работы**

##### **4.1. Некомпенсированная подвеска**

1) Подготовить табл.1:

Таблица 1

Температура $t$ , °C	- 40	- 24	- 8	8	24	40
Стрела провеса модели $f_m$ , мм						
Стрела провеса реального пролета $f$ , м						
Натяжение контактного провода $H$ , Н						

- 2) отпустить зажим под блоком компенсатора, дать проводу успокоиться и снова плотно завернуть верхний зажим;
- 3) записать величину стрелы провеса провода модели при отсутствии тока в проводе во второй горизонтальной графе табл. 1 (при  $t = - 40^{\circ}\text{C}$ );
- 4) повернуть ручку автотрансформатора влево до упора и включить питание стенда;
- 5) поворачивая ручку автотрансформатора вправо установить ток, соответствующий значениям температуры согласно табл.1, и записать получаемые стрелы провеса провода во второй горизонтальной графе табл.1.

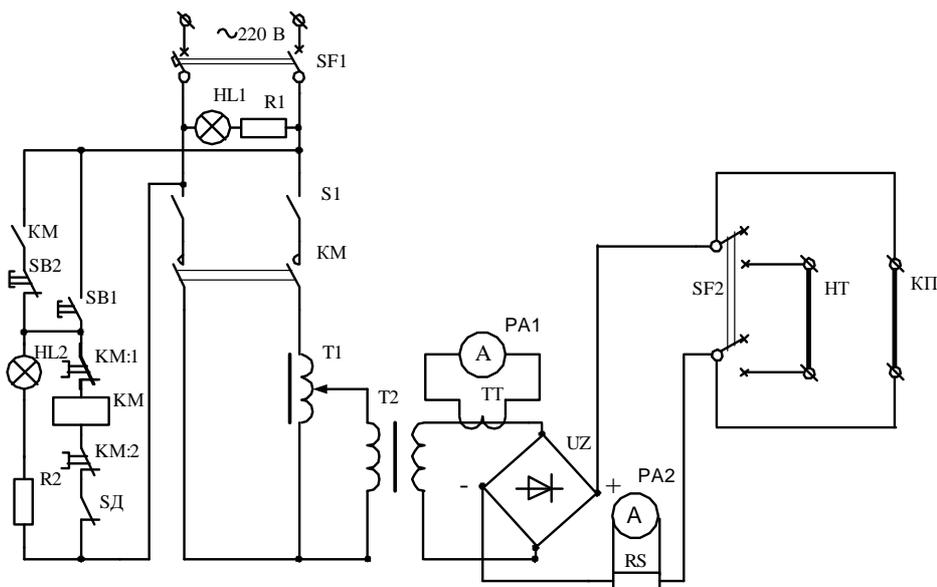


Рис. 2 - Электрическая схема установки нагрева несущего троса НТ и контактного провода КП

**Примечания:**

- 1) записи значений стрел провеса следует производить только после того, как температура провода установится. Для чего после установки стрелки прибора на деление, соответствующее требуемой температуре, подождать 1-2 минуты, и, когда ток вследствие нагрева проводов изменится, их сопротивления изменятся, снова установить необходимый ток. Снова подождать 1 -2 минуты и т.д. до тех пор, пока ток не перестанет изменяться;
- 2) не превышать значения тока, соответствующего температуре 40° С;
- 3) создание на модели дополнительной нагрузки, соответствующей гололедному режиму, производится путем поднятия рукой вверх груза дополнительного провода и подвески последнего при помощи крючков к основному проводу. После поднятия груза дополнительного провода, необходимо завернуть зажим, расположенный над грузом;
- 4) после заполнения второй графы (табл.1), повернуть ручку автотрансформатора влево до упора и выключить питание стенда;

- 5) заполнить третью горизонтальную графу (табл.1), увеличивая в 2,5 раза величины стрел провеса провода, измеренные на стенде и записанные во второй графе (табл. 1);
- 6) заполнить четвертую горизонтальную графу (табл.1), вычисляя соответствующие натяжения по уравнению состояния простой подвески.

$$1. H = \frac{gl^2}{8f}, \quad H$$

где  $g$  - вес единицы длины каждого провода, равный для провода сечения 85мм<sup>2</sup>- 7,6 Н/м;  $l$  - длина пролета подвески - 30м;

$f$ - стрела провеса в м (согласно третьей горизонтальной графе табл. 1);

- 7) по данным табл.1 построить монтажные кривые для некомпенсированной контактной подвески, т.е. кривые изменения стрел провеса и натяжений провода от температуры, приняв следующие масштабы:

- для температур: 0,5 °С в 1мм (ось абсцисс);
- для стрел провеса: 0.002 м в 1мм (ось ординат).

#### ***4.2. Система с сезонным регулированием натяжения***

1. Дать проводу остыть в течение 4-5 минут после выполнения указаний п. 5 раздел 4.1, затем записать во второй горизонтальной графе величину стрелы провеса провода при отсутствии тока в проводе и включить питание стенда.

2. Повторить действия, указанные в п.5 раздела 4.1, до достижения тока, соответствующего температуре провода +8°С, выполняя все требования и примечания к этому пункту.

**Примечание:** Расчетные диапазоны температур сезонной регулировки принять: зимней от 40°С до +8°С, летней от -8°С до +40°С.

3. Снизить ток до величины, соответствующей -8°С , и отпустить зажим под блоком компенсатора; когда температура провода установится и ток перестанет изменяться, записать стрелу провеса в третьей горизонтальной графе табл. 2, при этом должна установиться стрела провеса, соответствующая максимальному натяжению провода. После этого снова завернуть зажим.

4. Продолжать измерения стрел провеса при температурах до  $+40^{\circ}\text{C}$  и записать их значения в графе третьей табл. 2.

5. Отпустить зажим провода под блоком компенсатора.

6. Выключить питание стенда.

7. Заполнить графы 4, 5, 6 и 7 табл.2, пользуясь указаниями, приведенными в пунктах 7 и 8 раздела 4.1.

8. По данным табл. 2 построить монтажные кривые для подвески с сезонным регулированием натяжения в аналогичных осях координат и с тем же масштабом, что и для некомпенсированной подвески, но на отдельном графике.

### ***4.3. Компенсированная подвеска***

1. Подготовить табл. 3 по следующей форме:

после остывания провода открутить зажим под блоком компенсатора и записать величину стрелы провеса во второй горизонтальной графе табл.3.

2. Включить питание стенда.

3. Повторить действия, указанные в п. 5 раздела "4.1" и заполнить графу табл.3.

4. Повернуть ручку автотрансформатора влево и выключить питание стенда.

5. Заполнить графы третью и четвертую табл.3, пользуясь указаниями, приведенными в п. 7 и 8 раздела 4.1.

6. По данным табл.3 построить кривые зависимости стрелы провеса и натяжения провода от температуры для компенсированной подвески в аналогичных осях координат и на отдельном графике, но с таким же масштабом, что и для двух других систем подвески.

Таблица 2

Температура $t$ , °С	- 40	- 24	- 8	8	24	40
Стрела провеса модели (зимний сезон $f_m$ , мм)						
Стрела провеса модели (летний сезон $f_m$ , мм)						
Стрела провеса реального пролета (зимний сезон $f$ , м)						
Стрела провеса реального пролета (летний сезон $f$ , м)						
Натяжение контактного провода (зимний сезон $H$ , Н)						
Натяжение контактного провода (летний сезон $H$ , Н)						

Таблица 3

Температура $t$ , °С	- 40	- 24	- 8	8	24	40
Стрела провеса модели $f_m$ , мм						
Стрела провеса реального пролета $f$ , м						
Натяжение контактного провода $H$ , Н						

### 5. Содержание отчета по работе

1. Цель работы.

2. Электрическая схема установки нагрева несущего троса НТ и контактного провода КП (рис. 2).

2. Табл.1, 2, 3, а также графики зависимости натяжения и стрел провеса от температуры (монтажные кривые) для рассматриваемых трех систем простой подвески.

3. Сопоставление данных проведенных исследований разных типов простой подвески и сравнительные выводы в отношении их качества.

## ***6. Контрольные вопросы***

1. Методы регулирования стрелы провеса и натяжения контактной сети при различных системах подвески.
2. Влияние стрелы провеса контактного провода на качество токосъема.
3. Назначение монтажных кривых.
4. Системы подвески контактных проводов. Преимущества и недостатки.
5. Зависимость стрелы провеса от натяжения контактного провода.
6. Понятие критического пролета.
7. Назначение уравнения состояния контактного провода.
8. Порядок построения монтажных кривых при помощи уравнения состояния контактного провода.
9. Назовите наиболее тяжелые расчетные режимы контактной подвески.
10. Как установить, какой из двух режимов для данного пролета является наиболее тяжелым?
11. Какую компенсацию дают двухблочные и трехблочные компенсаторы?
12. Где устанавливаются грузы компенсатора?
13. Назначение сезонного регулирования простой некомпенсированной подвески?
14. Как осуществляется сезонное регулирование простой некомпенсированной подвески?

## *Лабораторная работа №3*

### *Исследование режимов работы рельсовой сети электрического транспорта*

#### *Цель работы*

Исследование режимов работы рельсовых сетей в зависимости от схем питания, характера нагрузки и способа регулировки потенциалов отрицательных питающих линий, ознакомление с методиками расчета, снятие потенциальных диаграмм "рельс-земля" и "подземное сооружение - земля" ; определение величины блуждающих токов при разных схемах питания и тяговых нагрузках; изучение электрических способов защиты подземных сооружений от коррозии блуждающих токов.

#### *1. Краткие теоретические сведения*

При электроснабжении рельсового электротранспорта рельсовая сеть выполняет роль обратного провода отрицательной полярности. В связи с несовершенством изоляции рельсов относительно земли часть тягового тока ответвляется в грунт и далее замыкается через отрицательный питающий пункт на отрицательную шину тяговой подстанции. Эти токи не имеют четко выраженных путей растекания по земле и поэтому называются блуждающими.

Блуждающие токи, кроме грунта, протекают также по металлическим подземным сооружениям (трубопроводы, оболочки кабелей и т.п.), вызывая в зонах своего выхода их интенсивную электрохимическую коррозию. Скорость коррозии металла  $V$  (мм/год) пропорциональна плотности стекающего с подземного сооружения тока и тем больше, чем больше величина блуждающего тока. Последний зависит от потенциала и переходного сопротивления рельсов относительно земли. Для любого элементарного участка рельсовой сети  $dx$  блуждающий ток, ответвляющийся в грунт в сечении  $x$ :

$$dI_{\sigma} = \frac{u_x}{r_n} dx, \text{ А,}$$

где  $u_x$  - разность потенциалов между рельсами и грунтом в этом сечении, В;

$r_n$  - переходное сопротивление между рельсами и грунтом, Ом·км.

Полный ток, ответвляющийся в землю на участке длиной  $x$  :

$$I_{\bar{0}x} = \frac{1}{r_n} \int u_x dx, \text{ А.}$$

В некотором масштабе он пропорционален площади, ограниченной потенциальной диаграммой «рельс - земля» и осью нулевого потенциала грунта (рис. 1 - для равномерно распределенной нагрузки), (рис. 2 - для сосредоточенной нагрузки), (рис. 3 - при двустороннем питании и равномерно распределенной нагрузке), (рис. 4 - при двустороннем питании и сосредоточенной нагрузке).

Если на потенциальной диаграмме (рис. 5) принять масштаб напряжений  $m_u$ , мм/В, масштаб расстояний  $m_l$ , мм/км, площадь соответствующего сектора диаграммы  $S_x$ , мм<sup>2</sup>, то блуждающий ток в любом сечении может быть найден по формуле

$$I_{\bar{0}x} = \frac{S_x}{r_n \cdot m_u \cdot m_l}, \text{ А.}$$

Например, для определения величины блуждающего тока (точка 1) определим площадь сектора диаграммы  $S_1$  (заштрихована). Затем определяем масштаб напряжений  $m_u$ , мм/В, масштаб расстояний  $m_l$ , мм/км. Подставляем также в формулу величину переходного сопротивления  $r_n = 0,25$  Ом·км. Находим величину блуждающего тока в точке 1, т.е.  $I_{\bar{0}1}$ , А.

Для вычисления блуждающего тока в точке 2 к найденной площади  $S_1$  прибавляем площадь следующего аналогичного сектора и определяем величину тока в точке 2 и т.д. до нейтрального сечения, где напряжение  $u_{p-3}$  равно нулю.

После чего из всей суммарной площади вычитаются аналогичные площади секторов, следующих за точкой нейтрального сечения.

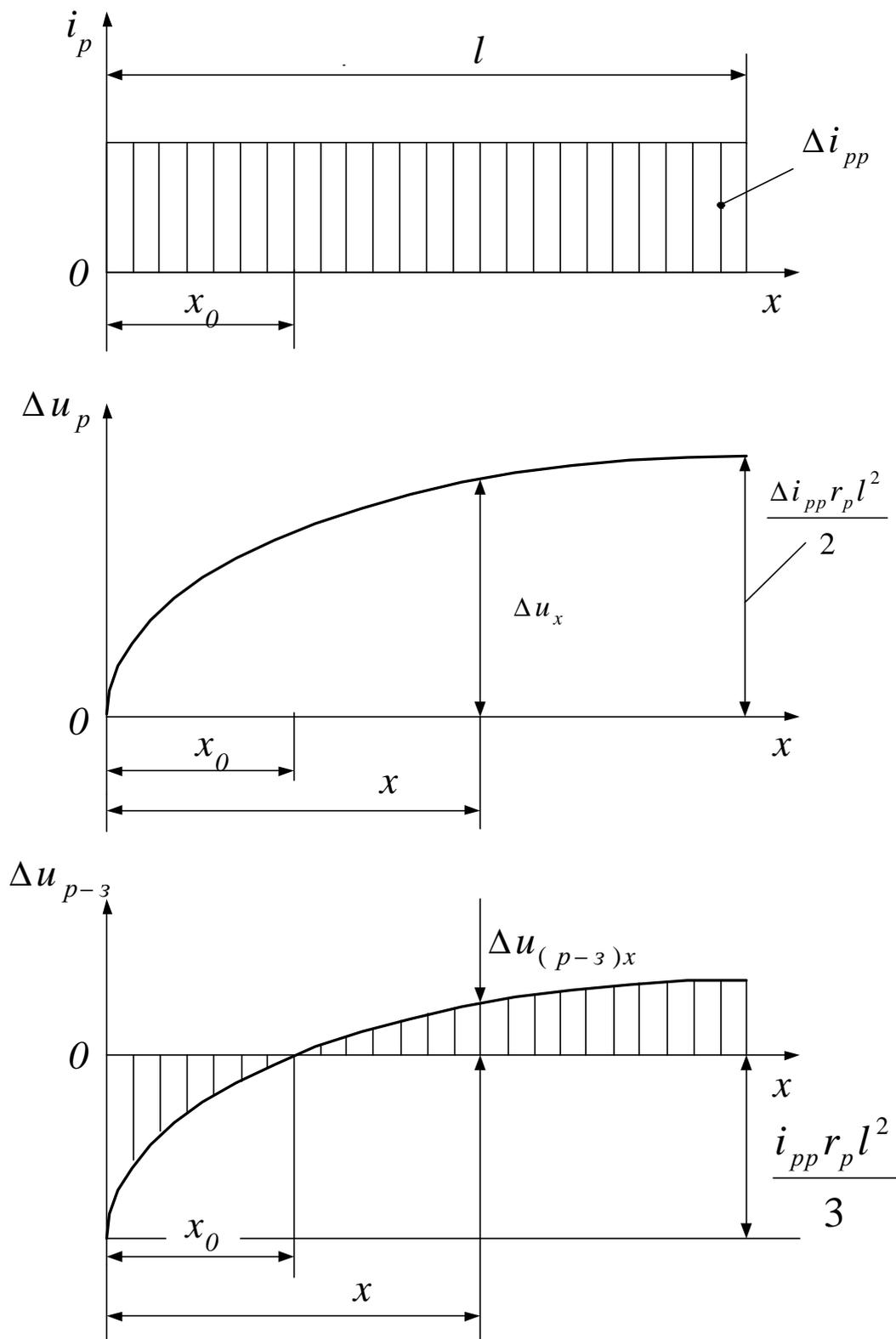


Рис. 1 - Построение потенциальных диаграмм для равномерно распределенной нагрузки,  $x_0 = (1 - \frac{\sqrt{3}}{3}) \cdot l$

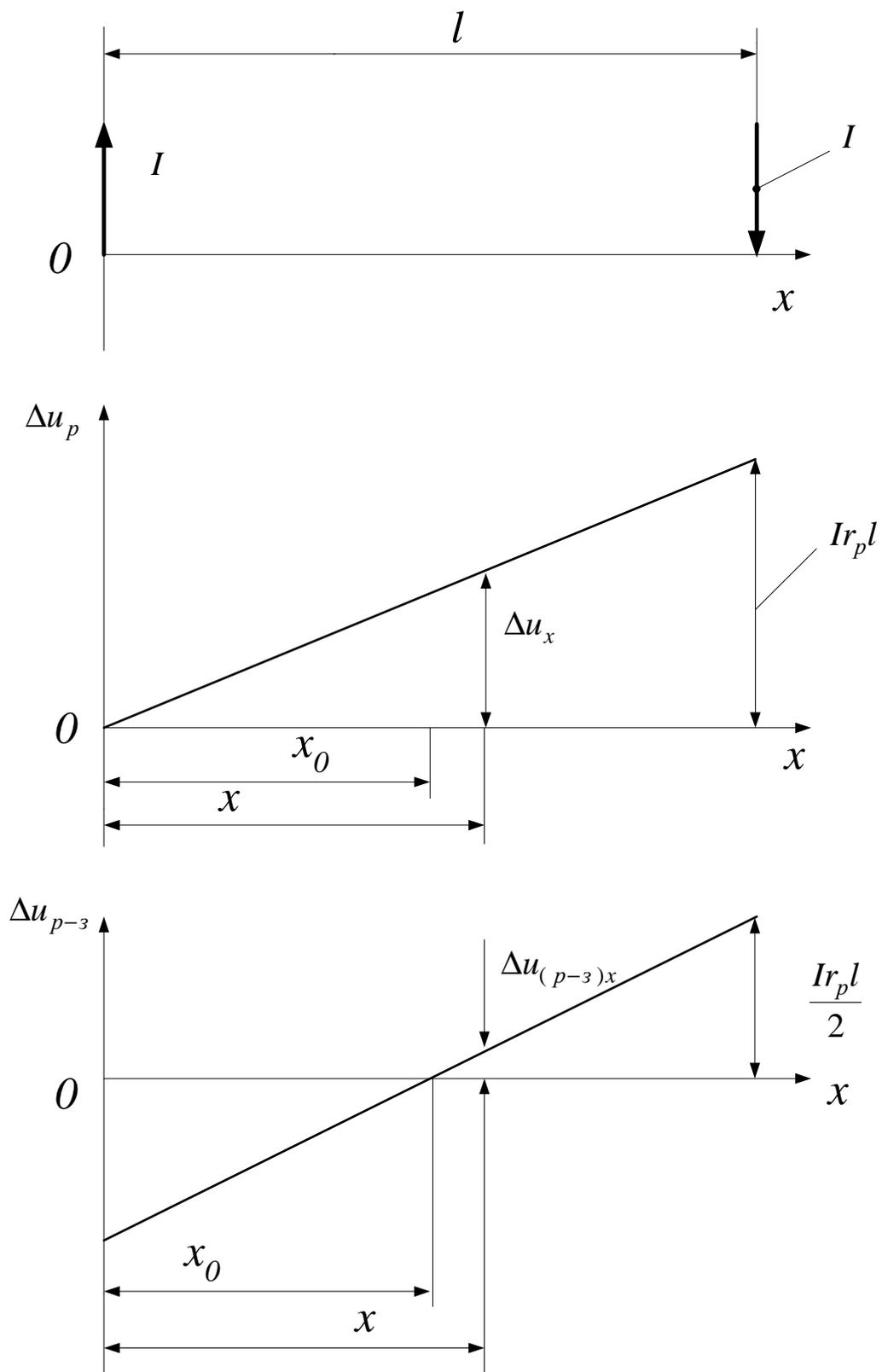


Рис. 2 - Построение потенциальных диаграмм для сосредоточенной нагрузки в конце участка,  $x_0 = l/2$

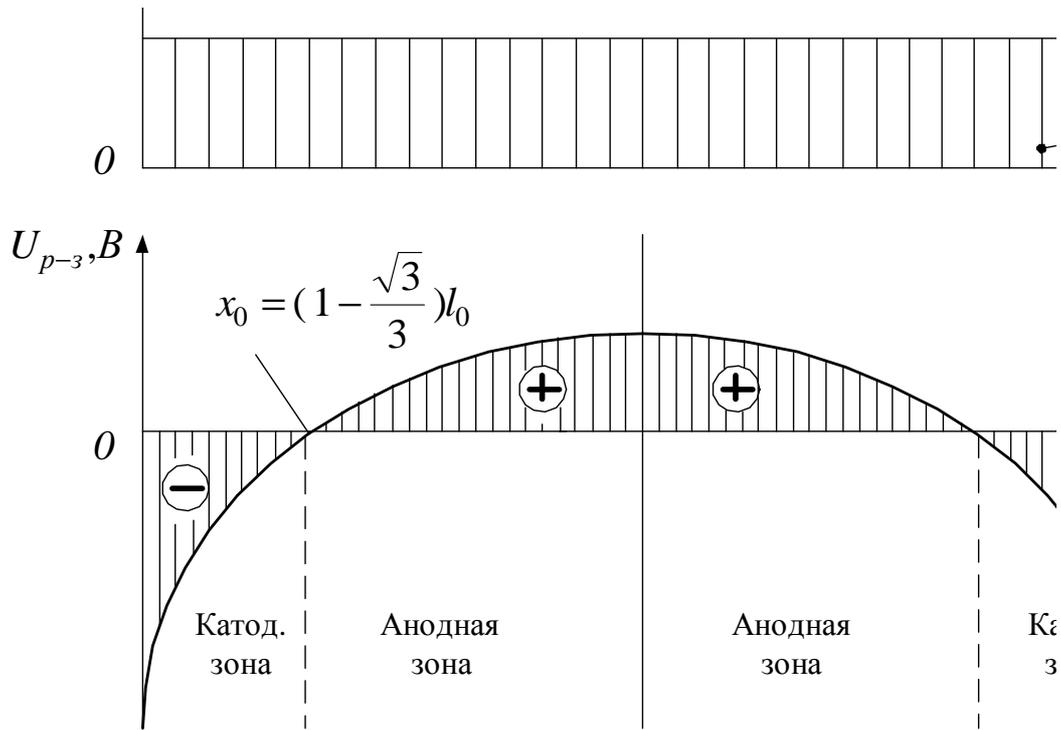


Рис. 3 - Распределение потенциалов рельсовой сети при двустороннем питании и равномерно распределенной нагрузке

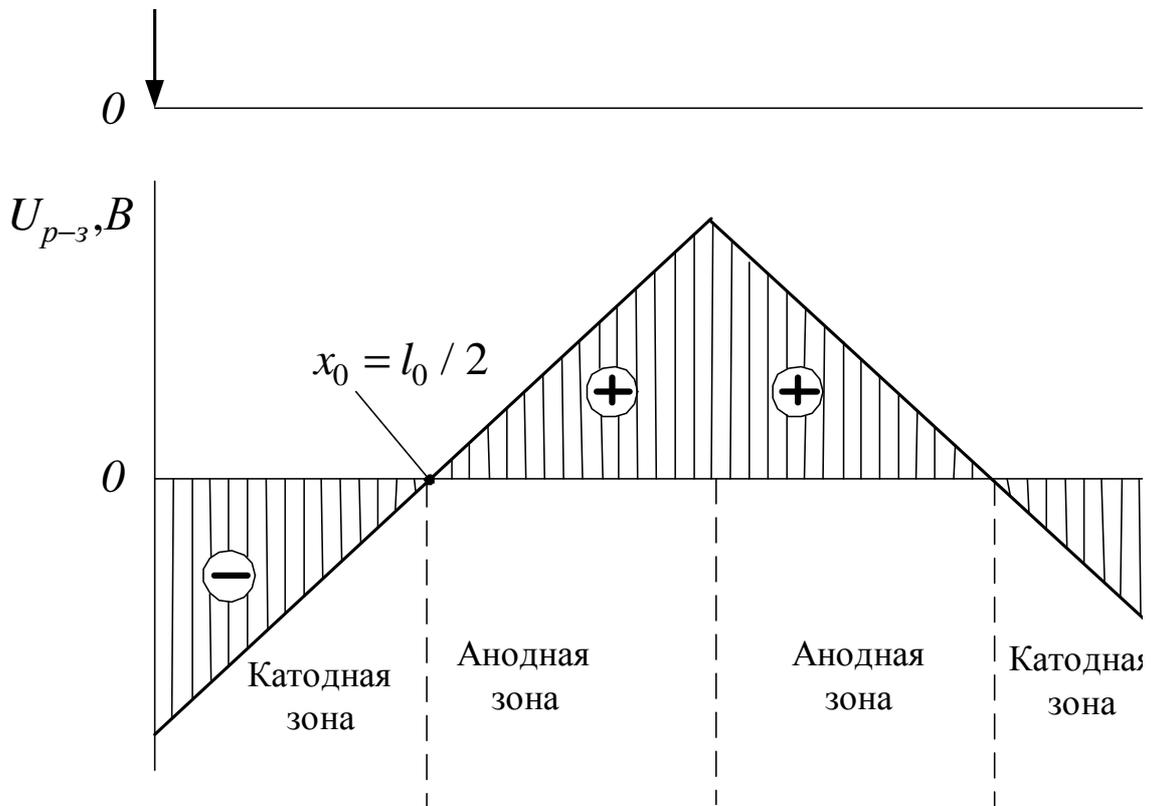


Рис. 4 - Распределение потенциалов рельсовой сети при двустороннем питании и сосредоточенной нагрузке

Блуждающие токи трамвая, протекая в земле, натекают на проложенные под землей металлические коммуникации различного назначения: газопроводы среднего и низкого давления, водопроводы, теплопроводы, силовые кабели, кабели связи и т. д., а затем снова стекают в землю. На тех участках, где токи стекают с сооружений, последние имеют положительный потенциал относительно земли, поэтому такие участки (зоны) называют *анодными*. Электролитическое разрушение металла сооружения происходит именно в анодных зонах. Чем больше величина блуждающих токов, тем выше потенциал сооружения в анодных зонах, больше плотность стекающего с поверхности сооружения тока, быстрее разрушается металл.

Для линий трамвая при проектировании, сооружении и эксплуатации рельсовых сетей осуществляют группу мероприятий по ограничению токов утечки с рельсов:

- увеличение проводимости рельсовой сети (снижение сопротивления рельсовой сети  $r_p$  путем устройства электрических соединителей на каждом температурном стыке ( $S \geq 70 \text{ мм}^2$  по меди), между рельсами одного пути через 150 м, между путями – через 300 м, обходных на стрелках и крестовинах ( $S \geq 35 \text{ мм}^2$  - по меди);
- увеличение переходных сопротивлений рельс-земля ( $r_n$ ). Сюда относятся требования к устройству путей на обособленном полотне, устройствам для отведения воды, применение изоляционных балластов из песка, смешанного с битумом; пропитка шпал масляными антисептиками, устройство изоляции от железобетонных шпал и др.;

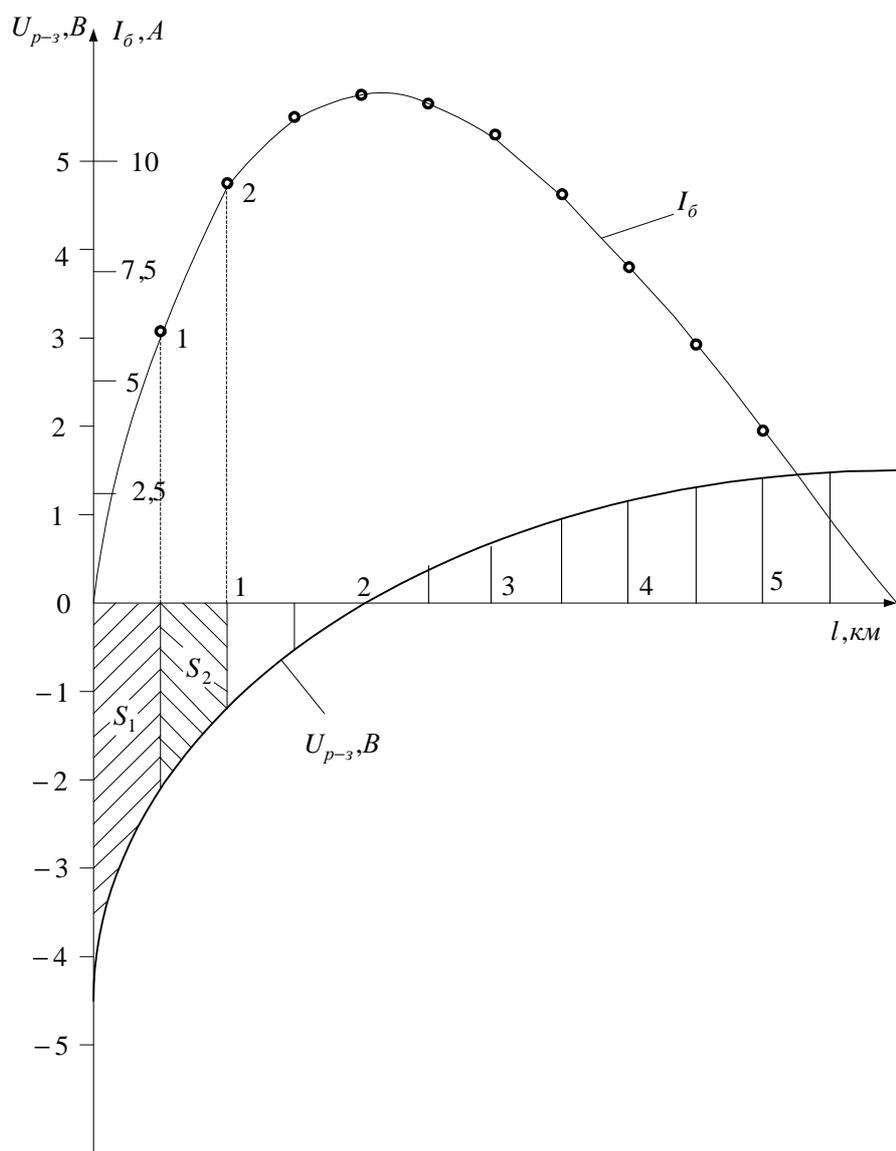


Рис. 5 - К расчету величины блуждающего тока в поперечном сечении рельсового пути

- ограничение длин участков функциональной сети между пунктами присоединения отрицательных линий на основе соблюдения норм допустимых падений напряжений. Допустимые потери напряжения в рельсовой сети нормируются согласно работе [2] в зависимости от типа основания рельсового пути и числа месяцев в году с температурой выше  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- соблюдение норм по разности потенциалов между отрицательными питающими пунктами (ОПП). Величина разности потенциалов должна быть

не больше 0,5 В при автоматическом регулировании и не более 1 В при реостатном регулировании;

- отсутствие рабочего заземления отрицательной шины подстанции.

При эксплуатации трамвайных линий осуществляют периодический контроль состояния продольной проводимости рельсовой сети, режима работы ОПП, выполнения норм падения напряжения в рельсовой сети. Не реже одного раза в год проводят измерения разности потенциалов "рельс-земля" через 300 м пути и в характерных точках (ОПП, секционный изолятор, конец участка и т.п.)

В практике обычно имеет место отличие потенциалов соседних ОПП из-за различия нагрузок и сопротивлений параллельно работающим отрицательным линиям. В результате возникает дополнительный контур блуждающих токов между ОПП. В целях снижения блуждающих токов на практике прибегают к регулированию потенциалов ОПП для их выравнивания, т.е. обеспечения эквипотенциальности ОПП. Для этой цели в отрицательные линии с малыми потерями напряжения (короткие линии) включают дополнительные резисторы.

Одним из наиболее эффективных пассивных способов противокоррозионной защиты является изоляция сооружения от грунта. Однако применяются покрытия, которые с течением времени значительно снижают свои изоляционные качества. Кроме того, в процессе монтажа подземных сооружений возможно нарушение покрытия. Все это приводит к необходимости дополнения защиты изоляционными покрытиями другими ее видами.

Кроме этих мероприятий, существуют еще активные способы защиты подземных металлических сооружений от блуждающих токов.

Предотвратить коррозию сооружения, т.е. прекратить выход тока с его поверхности, можно уменьшением потенциала сооружения до значения меньше чем потенциал ближайшего к сооружению слоя земли, иными словами, необходимо более отрицательно поляризовать металл защищаемого сооружения.

По этому принципу работают устройства электрохимической защиты подземных металлических сооружений. Установлены предельные значения поляризационных (защитных) потенциалов.

В соответствии со стандартом на действующих стальных изолированных трубопроводах, не оборудованных специальными контрольно-измерительными пунктами для измерения поляризационных потенциалов, допускается осуществлять катодную поляризацию сооружения таким образом, чтобы средние значения потенциала трубы по отношению к медно-сульфатному электроду сравнения (включающие в себя поляризационную и омическую составляющие) были в пределах от 0,87 до 2,5 В.

Наиболее распространены следующие основные виды электрохимической защиты:

- поляризованный электрический дренаж (рис. ба), представляющий собой электрическое соединение защищаемого сооружения (на участке его анодной зоны) с рельсами или отрицательной шиной тяговой подстанции. Во избежание возможности протекания тока в обратном направлении (от рельсов к сооружению) в электродренажную сеть включается полупроводниковый диод  $D$ . Ток в цепи электрического дренажа можно регулировать с помощью резисторов. Значение тока в свою очередь определяет норма установленного защитного потенциала;
- усиленный электрический дренаж (рис. бб), представляющий собой поляризованный электрический дренаж, где вместо диода и резисторов включен источник постоянного тока: трансформатор  $Tr$  с мостовой схемой выпрямления на диодах. Выходное напряжение включаемого вольтодобавочного устройства (ВДУ) в простейшем случае может регулироваться числом витков первичной обмотки трансформатора. Выходное напряжение в свою очередь устанавливает значение тока в цепи усиленного электрического дренажа;
- катодная защита, состоящая из источника постоянного тока, так называемой катодной установки (станции), и анодного заземлителя. При работе катодной защиты происходит коррозионное разрушение металла анодного заземлителя. Усиленный электрический дренаж представляет собой установку катодной защиты, где анодным заземлителем служат рельсовые

цепи. Отличительной особенностью работы усиленного электрического дренажа и катодной станции (рис. 6в) является потребление электрической энергии, т. е. питание их от внешнего источника;

- протекторная защита, в качестве которой используют гальванические аноды (протекторы) из материала (магний, алюминий, цинк), образующего со сталью защищаемого сооружения гальваническую пару. Эффективность работы протекторной защиты (рис. 6г) зависит от разности потенциалов между протектором и защищаемым сооружением и сопротивления образующейся электрической цепи, которые определяют защитный ток. Наибольшее распространение протекторы получили при защите сооружений от почвенной коррозии, так как ток при протекторной защите относительно невелик.

## **2. Описание стенда**

Лабораторный стенд имитирует систему "рельсовая сеть - грунт" в виде модели с равномерно -распределенными параметрами. Принципиальная схема модели приведена на рис. 7. Предусмотрено задание сосредоточенных или равномерно -распределенных тяговых нагрузок.

В основу модели положено представление равномерно распределенных сопротивлений сосредоточенными. Рельсовая сеть на модели соответствует двухпутному участку трамвая длиной 5,5 км. Сопротивление проводника, имитирующего рельсовый путь, принято равным 0,0063 Ом/км действительной линии для типа рельсов Т-60.

Величины переходного сопротивления выбраны так, что их сопротивление равно  $r_n=0.25$  Ом/км. В этом случае характеристика утечки будет равна

$$c = \sqrt{\frac{r_p}{r_n}} = \sqrt{\frac{0,0063}{0,25}} = 0,16 \text{ } _1 / \text{ км.}$$

Питание модели обеспечивается от сети 220В через автомат и регулируемый выпрямитель ВСА-6 по схеме (рис. 8). Величину нагрузки устанавливают по амперметру выпрямителя. Измерение разности потенциалов "рельс-земля"

осуществляется микровольтметром с двухсторонней шкалой (показания прибора должны быть умножены на 0,0222). Контакты для измерений потенциалов "рельс-земля" помечены на модели цифрами 1,2,3 и т.д. через каждые 0,5 км.

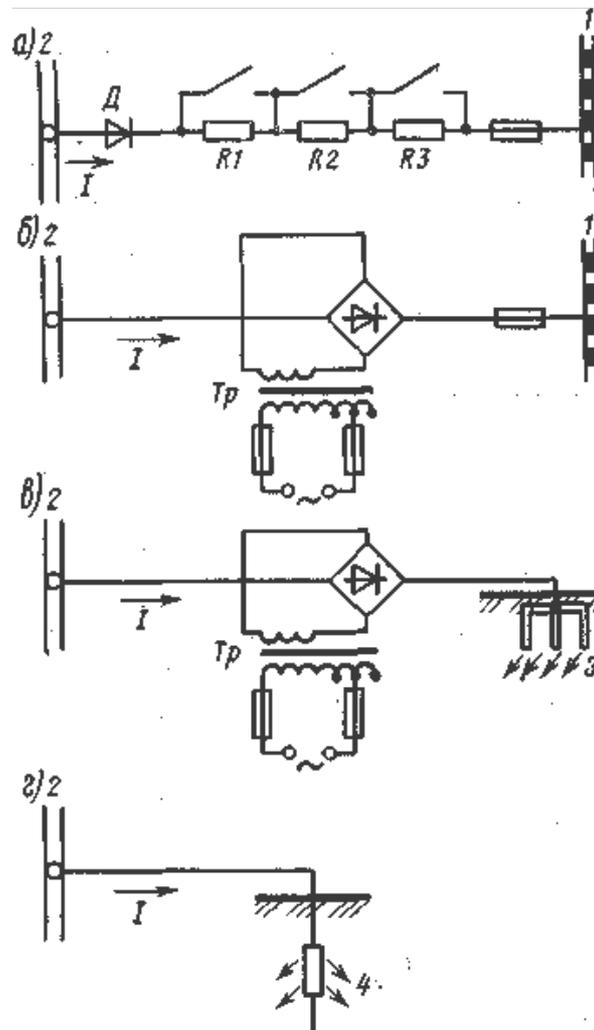


Рис. 6 - Принципиальные схемы основных видов электрохимической защиты подземных сооружений от коррозии:

а - поляризованный электродренаж; б - усиленный электродренаж; в - катодная защита; г - протекторная защита; 1 --рельсовый путь трамвая; 2 - подземное защищаемое сооружение; 3 - анодный заземлитель; 4 – протектор

При исследовании блуждающих токов положительный полюс выпрямителя подводится к питающей линии (рис. 7), отрицательный полюс выпрямителя соединяется с отрицательным питающим пунктом рельсовой сети в точках А, В или С в зависимости от выбранной (заданной) схемы нагрузок (рис. 8).

### 3. Порядок проведения работы

1. Собрать одну из схем рельсовой сети и нагрузок (рис. 9) по заданию преподавателя. Включить автоматом SF питание от сети и регулятором выпрямителя установить ток при равномерно - распределенной нагрузке 5 А, а в случае сосредоточенной нагрузки - 2А.

2. Произвести измерения разности потенциалов между рельсом и землей. Данные измерений занести в табл. 1.

3. На основании полученных данных измерений построить потенциальные диаграммы "Рельс-земля" в функции длины рельсовой сети.

4. По полученной потенциальной диаграмме "рельс-земля" рассчитать и построить диаграмму распределения вдоль рельсовой сети блуждающих токов (см. пример на рис. 5).

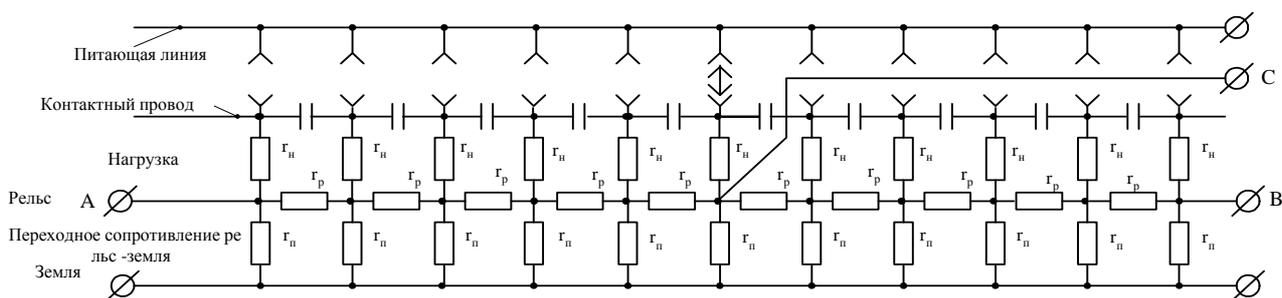


Рис. 7 - Схема модели исследования блуждающих токов

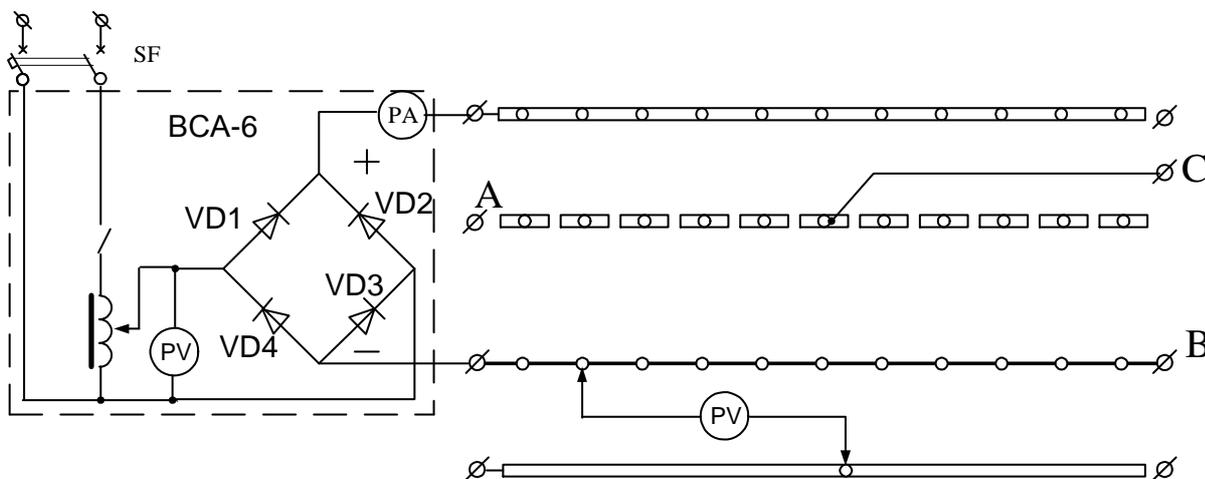


Рис. 8 - Общий вид модели и схема ее включения

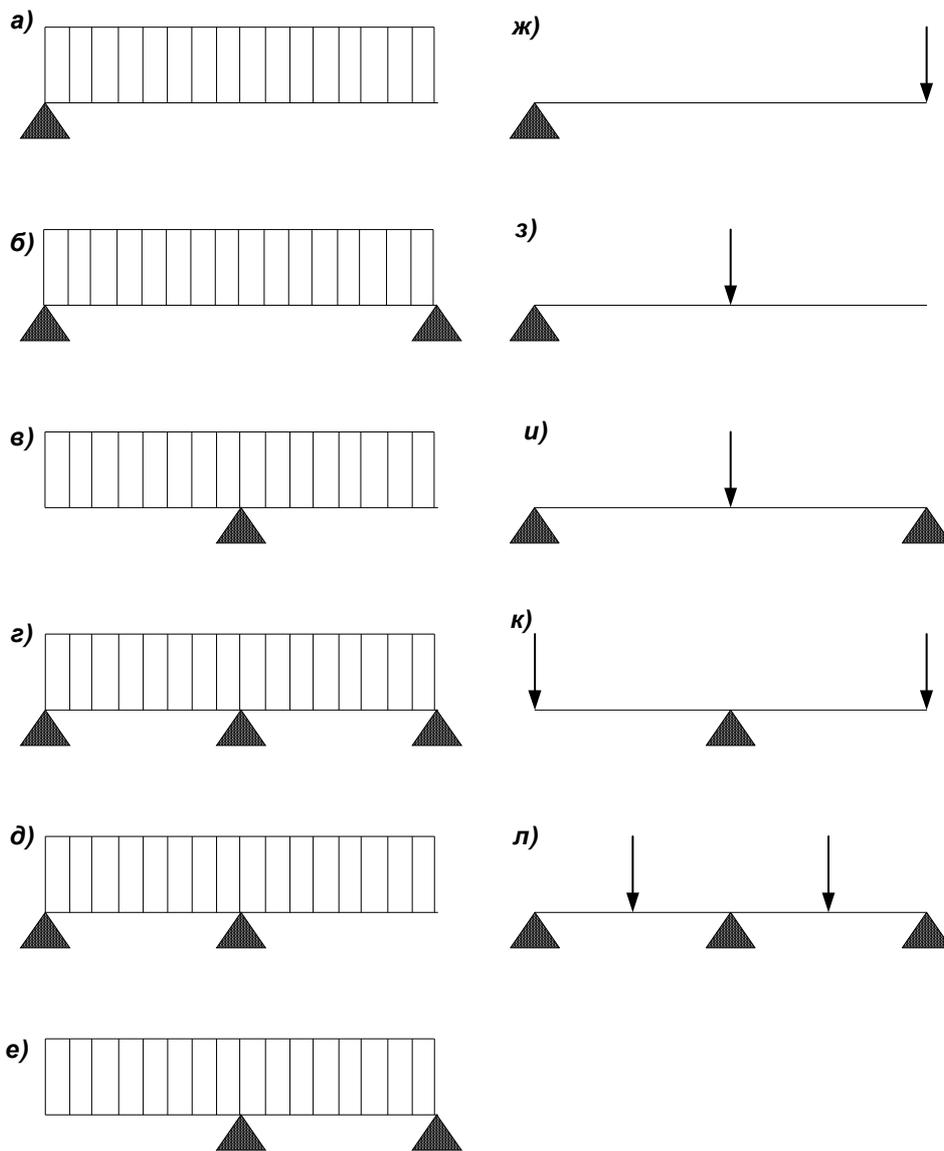


Рис. 9 - Схема нагрузок и подключения отрицательных питающих линий

#### ***4. Содержание отчета по работе***

1. Схема модели исследования блуждающих токов;
2. Табл.1 с измеренными значениями потенциалов и расчетными значениями блуждающих токов;
3. Потенциальные диаграммы для равномерно – распределенной и сосредоточенной нагрузок.;
4. Расчеты блуждающих токов и их графики зависимости от расстояния на тех же потенциальных диаграммах, аналогично рис. 5 (построение выполнить на миллиметровой бумаге формата А4);
5. Краткие выводы по результатам проведенных опытов.

Таблица 1

Точка рельсовой сети	Расстоя- ние, км	Потенциалы рельсов относительно земли		Блуждающий	
		Наименование схемы	Наименование схемы	Наименование схемы	Наименование схемы
А: и т.д.					
В: и т.д.					

### **5. Контрольные вопросы**

1. Какие причины возникновения блуждающих токов?
2. Понятие "катодных" и "анодных" зон.
3. От чего зависит величина блуждающего тока?
4. Допущения, принимаемые при исследовании блуждающих токов.
5. Методы измерения и построения потенциальных диаграмм.
6. Понятие «Эквипотенциальные пункты».
7. Методы выравнивания потенциалов между отрицательными питающими пунктами.
8. Мероприятия по ограничению токов утечки с рельсов на этапе проектирования.
9. Какие пассивные способы защиты от блуждающих токов?
10. Перечислите активные способы защиты от блуждающих токов.
11. Сущность поляризованного электрического дренажа.
12. Сущность усиленного электрического дренажа.
13. Особенности катодной защиты.
14. В чем заключается протекторная защита и в каком случае она применяется?
15. Понятие эквипотенциальных пунктов. С какой целью выравниваются потенциалы соседних отрицательных питающих пунктов.

## *Лабораторная работа №4*

### *Определение мест повреждения в силовых кабелях с помощью кабельного моста КМ-61*

#### *Цель работы:*

Изучение существующих методов определения характера и мест повреждения кабеля. Получить навыки эксплуатации приборов, применяемых при различных методах.

#### *1. Краткие теоретические сведения*

1.1. Методы определения мест повреждения кабельных линий, осуществляемые с помощью кабельного моста типа КМ-61.

В процессе эксплуатации кабельных линий могут наблюдаться случаи выхода из строя вследствие повреждения изоляции или обрыва токоведущих жил.

Повреждения изоляции кабельных линий могут возникать по следующим причинам:

- заводские дефекты (трещины или сквозные отверстия в свинцовой оболочке, заусеницы на проволоках токоведущих жил и т.п.);
- дефекты монтажа (непропаянные шейки муфт, подломы изоляции на жилах при разводке, плохая пропайка соединительных зажимов, неполная заливка муфт мастикой и т.п.);
- дефекты прокладки (крутые изгибы на поворотах, перекрутка кабеля, изломы, вмятины и т.п.);
- пробой и вмятины, нанесенные при раскопках на кабельных трассах;
- коррозия оболочки, вызванная действием блуждающих токов или химическим составом грунта;
- старение изоляции или ее перегрев.

Обрывы токоведущих жил могут явиться следствием осадки или

смещений грунта на трассе линии или перегоранием жил во время короткого замыкания. Повреждения изоляции кабеля сопровождаются, как правило, замыканием жилы на землю. Обрыв токоведущей жилы может быть как с одновременным заземлением оборванной жилы, так и без заземления.

В целях быстреего восстановления нормальной схемы электроснабжения необходимо установить место повреждения кабельной линии и произвести ее ремонт.

Существующие методы определения мест повреждения силовых кабельных линий можно разделить на две группы: *относительные методы*, позволяющие лишь приблизительно определить расстояние от конца кабеля до места повреждения, и *абсолютные* методы, позволяющие указать место повреждения непосредственно на трассе. К относительным методам относятся: колебательный разряд, мост, импульсный. К абсолютным методам относятся: индукционный и акустический.

Методам первой группы принципиально присущи ошибки, обусловленные пределами точности измерения приборов, а также ошибки, связанные с вычислениями и неизвестностью планов трассы кабельных линий.

Для выявления «заплывающих» пробоев изоляции, возникающих в муфтах, применяется метод *колебательного разряда*. «Заплывающий пробой» возникает в муфте при образовании в ней полостей, которые представляют собой искровые промежутки. Рассмотрим схему испытаний кабеля по методу колебательного разряда (рис. 1).

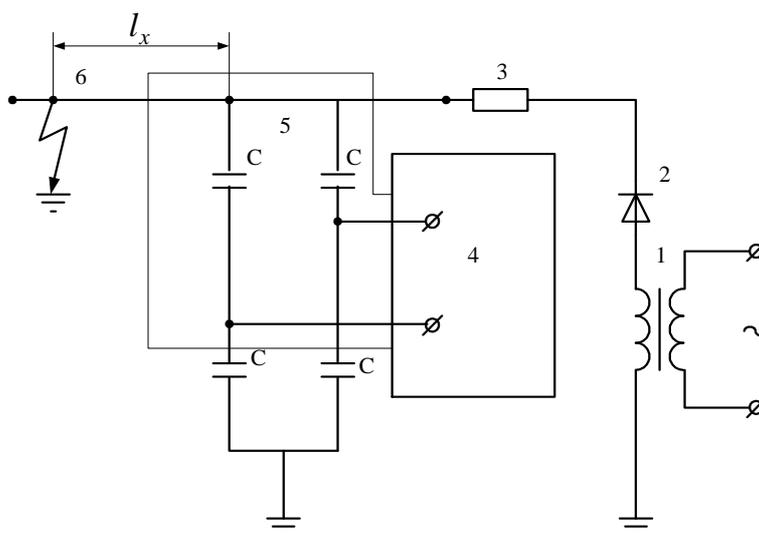


Рис. 1 – Схема определения места пробоя кабеля по методу колебательного разряда

К токоведущей жиле 6 поврежденного кабеля присоединяется экранированный емкостный делитель 5. С помощью трансформатора 1 и высоковольтного диода 2 через резистор 3 на кабель подается высокое напряжение. При повышении напряжения возникает пробой изоляции и благодаря индуктивному сопротивлению кабеля происходит колебательный разряд емкости. Индуктивное сопротивление кабеля, а значит, и период возникающих собственных колебаний зависят от длины кабеля до места пробоя.

Электронный микросекундомер 4 замеряет длительность первого полупериода колебательного процесса в момент пробоя. Для удобства измерения шкала прибора градуируется в километрах.

Рассмотренный метод обладает невысокой точностью определения места пробоя и позволяет установить лишь зону повреждения. Если в обнаруженной по методу колебательного разряда в зоне находится соединительная муфта, то с большой степенью уверенности можно предположить, что именно она является источником повреждения.

При определении места повреждения по *методу моста* в зависимости от характера повреждения в основном применяются три измерительные схемы: мост Уитстона (петля Муррея), мост Томпсона и емкостный мост. Первые две схемы используются, когда нет обрыва поврежденной жилы, причем мост Уитстона в том случае, когда имеется неповрежденная жила, а переходное сопротивление в месте повреждения не превышает 5 кОм. При малых значениях переходного сопротивления, не превышающих 100 Ом, или при коротком замыкании жил применяется мост Томпсона.

Рассмотренные выше методы позволяют определить лишь зону повреждения кабеля, а непосредственно на трассе место повреждения находят в установленной зоне индукционным или акустическим методом, относящимся к методам второй группы, которые свободны от ошибок первой группы и могут обеспечить необходимую точность установления мест повреждения, но требуют большой затраты времени на обследование приборами всей трассы

кабеля.

**Индукционный метод** основан на улавливании у поверхности земли с помощью кабелеискателя сигнала, возникающего при пропускании по жилам переменного тока звуковой частоты 1020 Гц. Этот метод применяется, если переходное сопротивление в месте повреждения составляет около 10 Ом. При движении с кабелеискателем вдоль трассы кабеля (рис. 2) слышимость сигнала остается неизменной, а над местом повреждения сигнал резко усиливается и быстро уменьшается за местом повреждения.

При заплывающих пробоях в кабельных муфтах и при замыканиях между жилой 1 и оболочкой кабеля 2 для обнаружения непосредственно на трассе места повреждения применяется **акустический метод** (рис. 3). В его основу положено образование электрических разрядов в месте повреждения и прослушивания на поверхности земли с помощью приемников звуковых колебаний щелчков от этих разрядов. Электрический разряд создается высоковольтной выпрямительной установкой, которая через искровой промежуток 3 соединяется с жилой 1 и оболочкой 2 испытываемого кабеля. Конденсатор 4 служит для увеличения мощности искрового разряда. При перемещении приемника звуковых колебаний вдоль кабеля в зоне его повреждения находят место наибольшей интенсивности воспринимаемых щелчков от разрядов, что соответствует месту повреждения кабеля.

Используемый в настоящей лабораторной работе кабельный мост типа КМ-61 позволяет производить измерения активных сопротивлений и определение места повреждения кабельной линии двумя методами: петлевым (по схеме Муррея и схеме Варлея) (мост постоянного тока) и емкостным (мост переменного тока), относящимся к относительным методам.

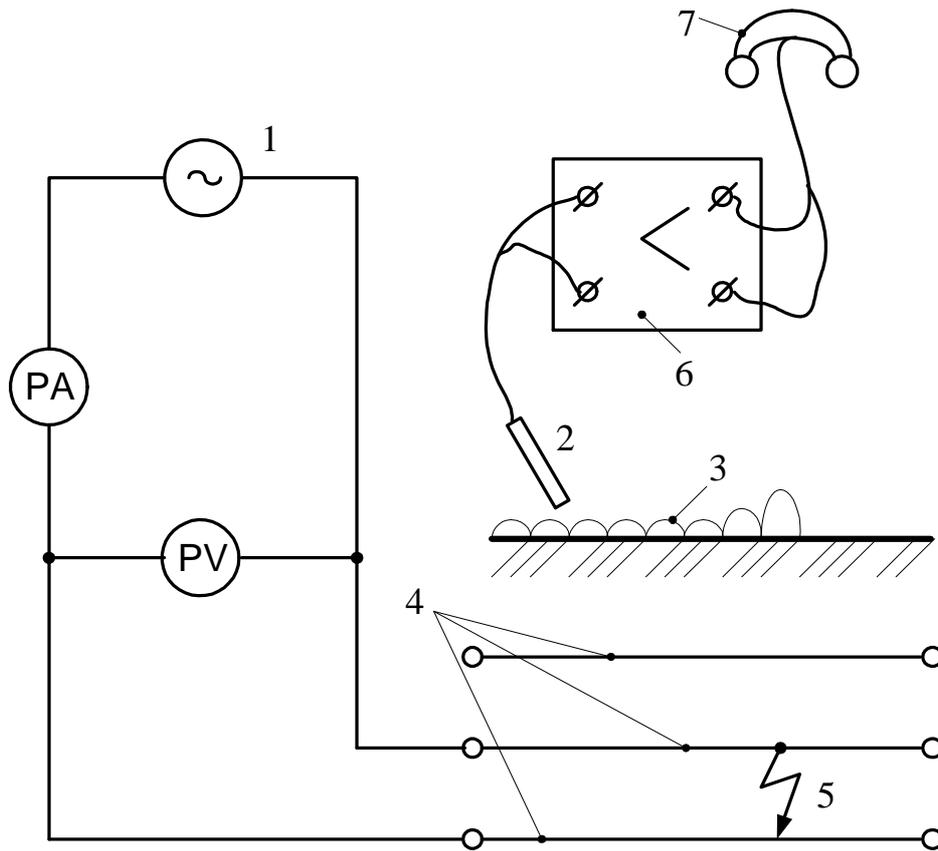


Рис. 2 - Схема определения места повреждения кабеля индукционным методом:

1 - генератор звуковой частоты; 2 - кабелеискатель; 3 - уровень звукового сигнала; 4 - жилы кабеля; 5 - место замыкания жил; 6 - усилитель; 7 - наушники

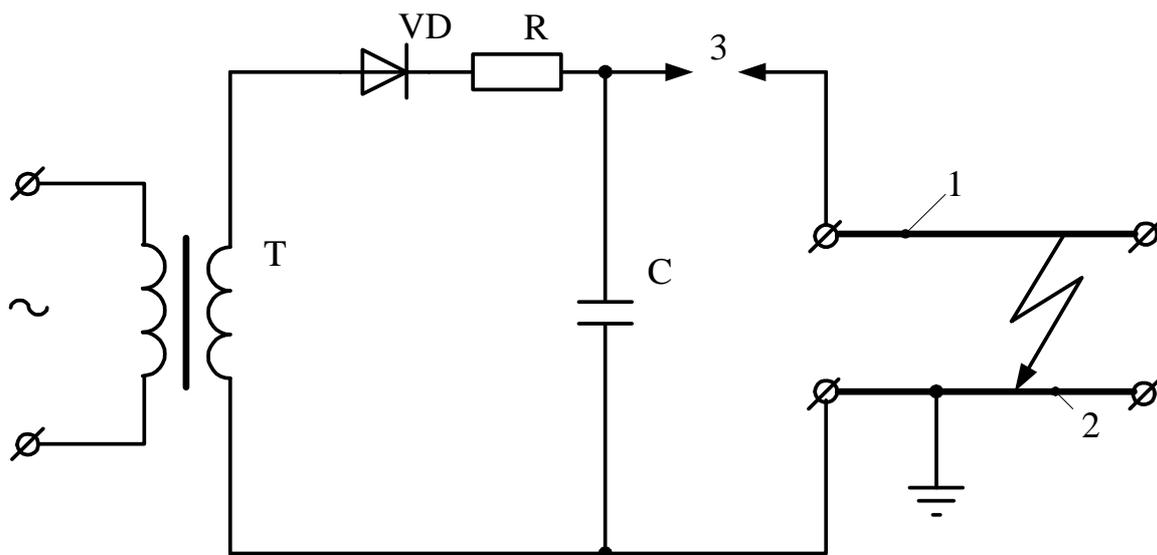


Рис. 3 - Схема акустического метода обнаружения места повреждения кабеля:

1, 2 – жилы кабеля; разрядник; VD – выпрямительный диод; C – конденсатор;  
R – ограничительный резистор

## 2. Назначение прибора

2.1. Прибор КМ-61С является переносным измерительным прибором и служит для измерения параметров кабельных линий, активных сопротивлений шлейфа ( $R_{шл}$ ), асимметрии жил ( $R_a$ ), сопротивления изоляции ( $R_{из}$ ), емкости жил ( $C_x$ ). а также для определения расстояния до места повреждения изоляции жил и для определения расстояния до места обрыва жил (путем измерения емкости поврежденной жилы кабеля относительно исправной).

2.2. Схема измерения сопротивления шлейфа приведена на рис. 4.

Мостовая схема состоит из двух плеч отношения  $r_2$ ,  $r_3$ , плеча сравнения  $R_m$  (четырёхдекадный магазин сопротивлений) и гальванометра  $G$ . Для улучшения режима движения подвижной системы гальванометра рамка гальванометра зашунтирована резистором  $r_4$ . Резистор  $r_5$  служит для регулировки чувствительности гальванометра. Питание мостовой схемы производится через ограничительный резистор  $r_1$  от выпрямителя ( $Un$ ).

При изменении величины сопротивления резистора  $R_m$  мост уравнивается. При равновесии моста ток, протекающий через рамку гальванометра, равен 0. При этом выполняется соотношение  $r_2 \cdot R_{шл} = r_3 \cdot R_m$ , откуда измеренное сопротивление определяется по формуле

$$R_{шл} = \frac{r_3}{r_2} \cdot R_m, \quad \text{или} \quad R_{шл} = n \cdot R_m,$$

где  $n$  – множитель, который может принимать значения: X0,01; X0,1 и т.д.;

$R_m$  – отсчет по магазину.

Благодаря применению четырехзажимной схемы подключения измеряемого сопротивления  $R_{шл}$  (клеммы Л2, Л2', Л1, Л1') и применению двойных соединительных проводов их сопротивление не оказывает влияния на результат измерения при измерении малых сопротивлений шлейфа от 0,1 до 10 Ом.

По мере уравнивания моста четырёхдекадным магазином  $R_m$  чувствительность гальванометра может увеличиваться при помощи соответствующего переключателя.

Положение «1» соответствует минимальной чувствительности.

2.3. При установке переключателя «РОД РАБОТЫ» в положение «М» мост представляет собой *схему Муррея* (схему моста с переменным отношением плеч), которая в упрощенном виде представлена на рис.5. Резистор  $r_2$  представляет собой сопротивление 1000 Ом, второе плечо моста образовано четырехдекадным магазином сопротивлений  $R_m$ . Другие два плеча образуются непосредственно сопротивлением самой линии. При этом отрицательный полюс напряжения питания  $U_{п}=500$  В поступает через переходное сопротивление  $R_{п}$  в месте повреждения изоляции линии.

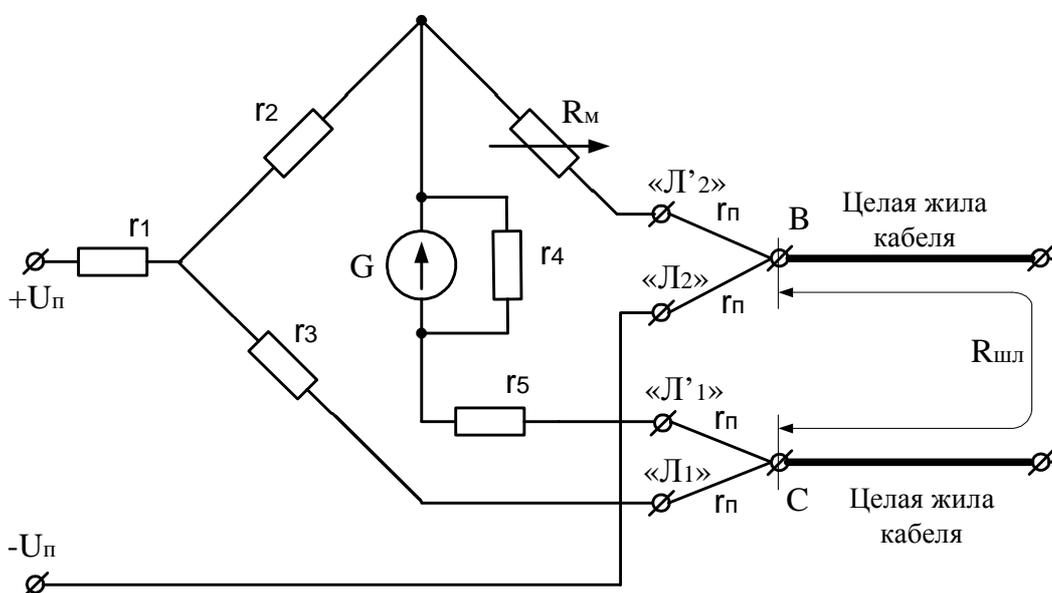


Рис. 4 - Схема измерения сопротивления шлейфа

При определении расстояния до места повреждения изоляции на симметричных линиях  $R'_l=R''_l=R_l$  производится только одно измерение. При этом к клемме «3» подключается оболочка кабеля или одна из жил с поврежденной изоляцией, если изоляция повреждена между двумя жилами. Мост уравнивается изменением сопротивления  $R_m$ . При равновесии моста выполняется соотношение:

$$R_m(2R_l - R_x) = r_2 * R_x.$$

Из этого соотношения величина сопротивления до места повреждения изоляции определяется:

$$R_x = \frac{2R_m}{R_m + 1000} * R_l,$$

где  $R_m$  — отсчет по магазину в момент равновесия моста;

$R_l = R_{\text{жил}} / 2$  - сопротивление одной жилы кабеля.

### 2.4. Схема измерения емкости

В случае обрыва жил применяют емкостный мост (рис. 6). Два плеча моста образуются из нерегулируемых резисторов  $r_2$  и  $r_3$ , а два других образованы из регулируемого конденсатора  $C_m$ , шунтированного резистором сопротивлением  $R_{из}$  и жилой кабеля, имеющей обрыв. Емкость  $C_x$  и сопротивление  $R_x$  являются распределенными параметрами кабельной жилы. Регулируемый резистор  $R_{из}$  служит для компенсации активной составляющей тока, обусловленной сопротивлением  $R_x$ . В равновесное состояние мост приводится регулированием значений емкости  $C_m$  и сопротивления  $R_{из}$ . Фиксируется этот момент по отсутствию тока в гальванометре. Питание моста осуществляется переменным током.

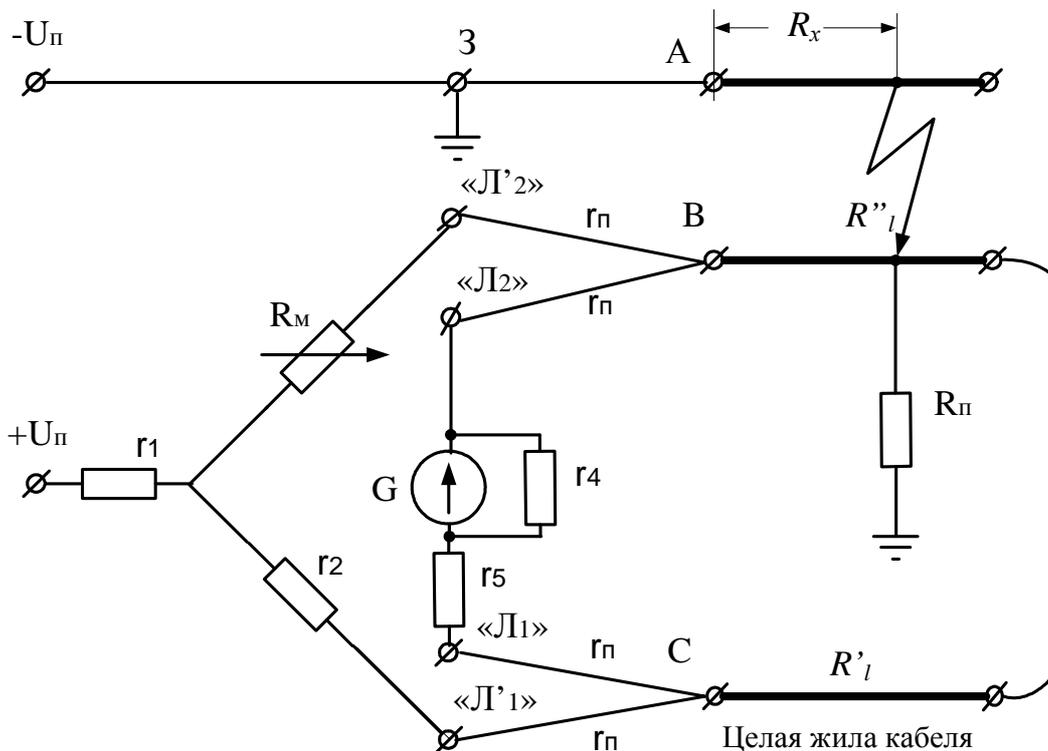


Рис. 5 - Схема Муррея - метод одного измерения

При обрыве жилы кабеля и отсутствии замыкания ее на землю измеряют

емкость  $C_x$  с одного конца жилы, а затем — емкость  $C_{x2}$  с другого конца.

Расстояние до места повреждения

$$l_x = LC_{x1} / (C_{x1} + C_{x2}),$$

где  $L$  — полная длина жилы.

При глухом заземлении одной из частей поврежденной жилы измерение производят с того конца, где нет заземления, и определяют емкость  $C_{x1}$ , затем измеряют емкость  $C$  неповрежденной жилы кабеля. Искомое расстояние

$$l_x = \frac{LC_{x1}}{C}.$$

### 3. Подготовка прибора к работе

Для включения прибора необходимо установить ручки в исходное положение:

- а) ручку «ПИТАНИЕ» — в положение «ОТКЛ.»;
- б) ручку «РОД РАБОТЫ» — в нейтральное положение;
- в) ручку «КАЛИБРОВКА Риз» — в крайнее положение по часовой стрелке (вправо);
- г) ручку «ЧУВСТВ.» - в положение «1».

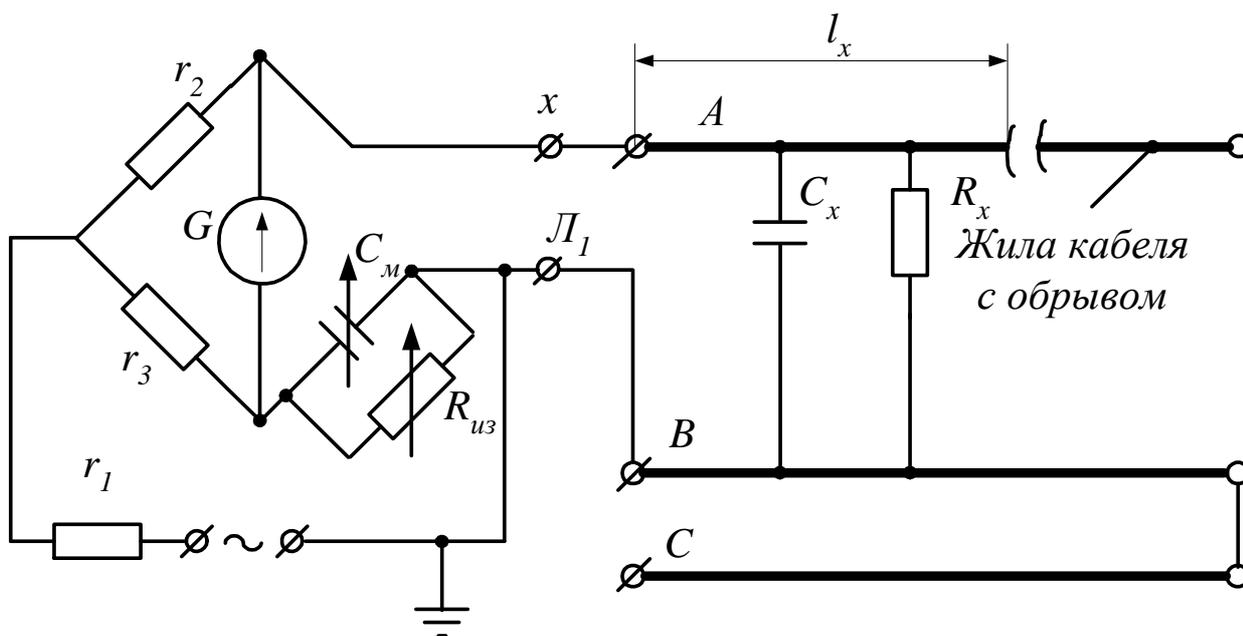


Рис. 6- Схема измерения емкости

Перевести ручку "Питание" в положение "ОСВ", при этом должен появиться световой указатель на шкале гальванометра. Если указатель не светится или яркость его недостаточна, необходимо отвинтить крышку осветителя на корпусе гальванометра и отрегулировать осветитель перемещением головки патрона в горизонтальном и вертикальном направлениях, добиваясь максимальной яркости и четкости указателя. После окончания регулировки закрутить крышку осветителя.

Установить указатель гальванометра на отметку «О» вращением ручки корректора, выведенной с правой стороны корпуса гальванометра.

Перевести ручку «РОД РАБОТЫ» в положение «Киз-К», ручку «ПИТАНИЕ» установить в положение «ВКЛ.» и вращением ручки «КАЛИБРОВКА Риз» установить указатель гальванометра на отметку «1» по шкале «МΩ». Перевести ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ОТКЛ.».

В этом состоянии прибор является подготовленным для всех видов измерений.

#### ***4. Порядок работы***

##### ***4.1. Измерение сопротивлений шлейфа***

Измерение сопротивлений шлейфа проводится в следующем порядке:

а) присоединить измеряемый шлейф к клеммам прибора (собрать схему), как показано на рис.4;

б) установить ручку «ЧУВСТВ.» в положение «1»;

в) установить ручку «РОД РАБОТЫ» в секторе «Rшл» на множитель в соответствии с табл. 1, исходя из ожидаемой величины;

г) установить ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ВКЛ.» и корректором установить указатель гальванометра на отметку «О»;

д) нажать кнопку «ИЗМ.» и сбалансировать мост при помощи ручек магазина. По мере уравнивания моста ручку «ЧУВСТВ.» последовательно переводить в положения «2», «3» и т. д. до получения достаточной

чувствительности.

Примечания:

1. Если в процессе уравнивания моста оказывается, что выбранный множитель не соответствует измеряемому сопротивлению (по табл. 1), необходимо выставить другой множитель и заново произвести измерение

2. Для устранения бросков указателя от сотрясения прибора при вращении рукояток следует их слегка прижимать к панели. При этом фиксаторы переключателей выходят из зацепления и сотрясение уменьшается.

3. Измеряемое сопротивление вычисляется по формуле:

$$R_{шл} = n \cdot R_m$$

где  $n$  — множитель предела, отсчитанный на ручке «РОД РАБОТЫ» в секторе  $R_{шл}$ ,  $R_m$  — отсчет по магазину сбалансированного моста.

е) Занести результаты измерения в табл. 2 для различных чувствительностей.

Таблица 1

Положение ручки «РОД РАБОТЫ»	X0.01	X0.1	X1	X10	X100
Измеряемое сопротивление $R_{шл}$ , Ом	$10^{-1}$ -10	10- $10^2$	$10^2$ - $10^3$	$10^3$ - $10^4$	$10^4$ - $10^5$

Таблица 2

Чувствительность	1	2	3	4	5	6
Сопротивление $R_{шл}$						

При выборе соединительных проводов для измерения сопротивлений  $R_{шл}$  следует учитывать, что прибор рассчитан на использование двойных проводов длиной 3 м.

Для уменьшения дополнительной погрешности следует из результата измерения вычесть сопротивление соединительных проводов (0,08 Ом для проводов длиной 3 м, 0,26 Ом для проводов длиной 10 м). При этом дополнительная погрешность не превышает 0,05%.

При применении одинарных проводов клеммы Л1 и Л', а также клеммы Л2 и Л2' должны быть соединены перемычками, входящими в комплект прибора.

ж) Рассчитать длину неповрежденной жилы кабеля для наибольшей чувствительности по формуле:

$$L = \frac{R_{\text{изл}}}{2r_k},$$

где  $r_k$  - сопротивление 1-го километра проводящей жилы кабеля (марка кабеля задается преподавателем), приведено в табл. 3.

Таблица 3

Материал кабеля	Сечение жилы кабеля, 3 x S, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление 1-го км жилы кабеля $r_k$ , Ом/км	Емкость 1-го км жилы по отношению к двум другим и оболочке кабеля, $C_{\text{ок}}$ , мкФ/км
Медь	3 x 70	0,260	0,22
Алюминий	3 x 70	0,420	0,22
Медь	3 x 95	0,194	0,23
Алюминий	3 x 95	0,310	0,23
Медь	3 x 120	0,133	0,26
Алюминий	3 x 120	0,240	0,26
Медь	3 x 150	0,122	0,29
Алюминий	3 x 150	0,200	0,29
Медь	3 x 185	0,099	0,33
Алюминий	3 x 185	0,16	0,33
Медь	3 x 240	0,077	0,36
Алюминий	3 x 240	0,012	0,36

4.2. Определение расстояния до места повреждения изоляции кабеля по схеме Муррея (по схеме моста с переменным отношением плеч)

4.2.1. Метод одного измерения применяется в случае, когда исправная жила (сопротивление  $R'_l$ ) и поврежденная жила (сопротивление  $R''_l$ ) имеют одинаковый диаметр, длину и изготовлены из одного и того же материала.

Определение расстояния до места повреждения по схеме Муррея проводится в следующем порядке:

а) собрать схему рис. 5;

б) перевести ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ОСВ.»;

в) установить ручку «ЧУВСТВ.» в положение «7» и при помощи корректора установить указатель гальванометра на отметку «О»; установить ручку «РОД РАБОТЫ» в положение «М»;

г) нажать кнопку «ИЗМ.» и отсчитать по равномерной шкале отклонение указателя от «О». Если отклонение указателя не превышает половины малого деления, то это значит, что «паразитные» э.д.с. в цепи гальванометра малы и при измерениях ими можно пренебречь.

В этом случае:

д) перевести ручку «ЧУВСТВ.» в положение «1», отпустив кнопку «ИЗМ.»;

е) перевести ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ВКЛ.» и оставить ее в этом положении в течение 10 - 15 сек;

ж) нажать кнопку «ИЗМ.» и уравновесить мост с помощью ручек магазина. По мере уравнивания ручку «ЧУВСТВ.» последовательно переводить в положения «2», «3» и т. д. Результаты занести в табл. 4. Окончательное уравнивание производить при установке ручки «ЧУВСТВ.» в положение «7»;

Таблица 4

Чувствительность	1	2	3	4	5	6	7
Сопротивление $R_m$							

з) определить расстояние до места повреждения для чувствительности 7 по формуле

$$l_x = \frac{2R_m}{R_m + 1000} \cdot L,$$

где  $R_m$  - отсчет по магазину в момент равновесия моста по наибольшей чувствительности;

$L$  - длина неповрежденной линии (найденной в первом опыте);

**Примечание.** Если мост не уравнивается, концы жил, подключенные к клеммам  $L_1$ ,  $L_1'$  и  $L_2$ ,  $L_2'$ , следует поменять местами. Перед этим необходимо ручку «ПИТАНИЕ» перевести в положение «ОСВ.» и проверить отсутствие зарядов на линии разрядной штангой. После этого произвести измерение по п. 4. 2. 1. е, ж, з.

Если при выполнении п. 4.2.1. г указатель гальванометра отклонится более чем на половину деления, то это свидетельствует о том, что в цепи гальванометра действуют значительные «паразитные» э.д.с., которые для получения правильных результатов измерений необходимо компенсировать.

Измерения с компенсацией производятся в следующем порядке:

и) после выполнения операции по п. 4.2.1. г перевести ручку «ЧУВСТВ.» в положение «КОМП.» и с помощью ручки потенциометра «КОМП.» установить указатель на нулевую отметку шкалы гальванометра. Если уход указателя превышает 15 делений, необходимо выждать 15-20 мин. и лишь после этого производить измерения;

к) отпустить кнопку «ИЗМ.» и перевести ручку «ЧУВСТВ.» в "положение «1»;

л) перевести ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ВКЛ.» и оставить его в этом положении в течение 10 - 15 сек;

м) нажать кнопку «ИЗМ.» и уравновесить мост с помощью ручек магазина.

По мере уравнивания моста ручку «ЧУВСТВ.» последовательно переводить в положения «2», «3» и т.п.; окончательное уравнивание моста производить при установке ручки «ЧУВСТВ.» в положение «КОМП.»;

н) отпустить кнопку «ИЗМ.», перевести ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ОСВ.» и оставить ее в этом положении в течение 10 - 15 сек.;

е) нажать кнопку «ИЗМ.» и проверить положение указателя; если указатель отклонился от нулевой отметки не более чем на половину деления, то это значит, что за время измерения «паразитные» э.д.с. остались практически

неизменными и скомпенсированными. В этом случае результат измерения считается достоверным и расстояние до места повреждения определяется по заданной выше формуле.

Если указатель отклонился от нулевой отметки более чем на половину деления, необходимо произвести повторную компенсацию и повторное измерение в соответствии с п. 4.2.1. и, к, л, м, н, о.

Результаты измерения занести в табл. 4.

Измерения с компенсацией производятся в следующем порядке:

и) после выполнения операции по п. 4.2.1. г перевести ручку «ЧУВСТВ.» в положение «КОМП.» и с помощью ручки потенциометра «КОМП.» установить указатель на нулевую отметку шкалы гальванометра. Если уход указателя превышает 15 делений, необходимо выждать 15-20 мин. и лишь после этого производить измерения;

к) отпустить кнопку «ИЗМ.» и перевести ручку «ЧУВСТВ.» в «положение «1».

После окончания измерений разрядить линию переводом ручки «ПИТАНИЕ» в положение «ОСВ.» или «ОТКЛ.». Убедиться в отсутствии заряда на линии путем прикосновения к жилам разрядной штангой.

### ***4.3. Измерение емкости***

4.3.1. Измерение емкости проводится в следующем порядке:

а) подключить с помощью одинарных соединительных проводов длиной 3 м или 10 м измеряемую линию к клеммам «Л1» и «Х» прибора (если измеряется емкость между жилой и оболочкой кабеля), то провод, подключаемый к оболочке кабеля, следует соединить с клеммой «Л1»;

б) установить ручку «ЧУВСТВ.» в положение «1»;

в) установить ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ОСВ.», ручку «РОД РАБОТЫ» — в нейтральное положение между «Сх—К» и «М»;

г) корректором установить указатель гальванометра на «О» шкалы, ручку «РОД РАБОТЫ» — в положение «Киз—К»;

д) перевести ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ВКЛ.» и с помощью ручки «КАЛИБРОВКА Rиз» установить указатель гальванометра на отметку «1» по шкале «MΩ»;

е) перевести ручку «РОД РАБОТЫ» в положение «Сх—К» и с помощью ручки «КАЛИБРОВКА Сх» установить указатель гальванометра на отметку 0,5 по шкале «μF»;

ж) перевести ручку «РОД РАБОТЫ» в положение «X10», нажать кнопку «ИЗМ.» и произвести отсчет (а) по шкале «μF». Если отклонение указателя мало, перевести ручку «РОД РАБОТЫ» в положение «X1» и повторить измерение и т. д.;

з) значение измеряемой емкости для диапазонов «X0,1», «X1» и «X10» определяется по формуле

$$C_x = n \cdot б ,$$

где  $n$  – множитель на переключателе «РОД РАБОТЫ»;

$б$  - отсчет по шкале емкости, мкФ.

4.3.2. Рассчитать по измеренной величине емкости жилы поврежденной (фаза А) относительно неповрежденной жилы (фаза В) длину до места повреждения кабеля:

$$L_x = \frac{C_x}{C_{ок}} ,$$

где  $C_{ок}$  - емкость одного километра жилы кабеля (мкФ/км), заданной марки кабеля (табл. 3).

## ***5. Содержание отчета***

1. Цель работы
2. Тип исследуемой линии.
3. Схема измерения сопротивления шлейфа (рис. 6).
4. Табл. 2 с результатами измерения сопротивлений шлейфа при различных чувствительностях.
5. Расчет длины неповрежденной жилы кабеля.

6. Схема Муррея - метод одного измерения (рис. 7).

7. Табл. 4 с результатами измерения сопротивлений моста  $R_m$  при различных чувствительностях.

8. Расчет длины поврежденной жилы кабеля до места короткого замыкания.

9. Схема измерения емкости (рис. 8).

10. Расчет длины поврежденной жилы кабеля до обрыва.

11 Выводы по работе.

### ***6. Контрольные вопросы***

1. Причины, вызывающие повреждения кабеля.
2. Классификация методов определения повреждения кабеля.
3. Что такое «Заплывающий пробой»?
4. В чем заключается метод колебательного разряда?
5. На чем основан индукционный метод отыскания места повреждения кабеля?
6. Какой принцип действия акустического метода обнаружения места повреждения кабеля ?
7. Основные функции, выполняемые кабельным мостом типа КМ.
8. Условие равновесия моста постоянного тока.
9. Какие измерительные схемы применяются по методу моста?
10. В каком случае применяется мост Уитстона, а в каком мост Томпсона?
11. Краткая характеристика метода «Петля Муррея».
12. Краткая характеристика емкостного метода.

## *Лабораторная работа №5*

### *Определение мест повреждения в кабельных линиях импульсным методом*

**Цель работы:** Определение характера повреждения (обрыв или короткое замыкание), снятие импульсной характеристики линии до повреждения и после и определение расстояния до места повреждения.

#### *1. Краткое содержание работы*

Кабельные линии, выходящие из строя в процессе эксплуатации, должны быть восстановлены в кратчайшие сроки, так как в кабельной линии, проложенной в земле, возникает опасность проникновения влаги внутрь изоляции и возможность интенсивного выхода из строя большого участка кабеля по длине.

Место повреждения кабельной линии определяется в два приема:

- определение зоны повреждения;
- уточнение места повреждения в пределах данной зоны.

Принцип импульсных измерений заключается в том, что в измеряемую линию подаются импульсы напряжения (зондирующие импульсы), которые распространяются по линии, частично отражаются от неоднородности волнового сопротивления и возвращаются к месту, с которого были посланы.

Новая компьютерная система для анализа неисправностей (CAF) в энергетических кабелях представляет собой соединение импульсно-отражательного измерительного прибора со специальной вычислительной системой. К созданию такой компьютерной системы привело развитие микропроцессоров, массивов данных, современных микроэлектронных компонентов. Различные способы измерения (прямое, сравнительное и разностное измерение, сравнение по разности измерения жил), все способы измерений (импульсно-отражательный, с транзитной памятью), а также

запоминание и переписывание измерительных данных набирается через клавиатуру и самостоятельно выполняются вычислительным устройством. Таким образом, пользователь освобождается от рутинной работы. Измерительный процесс осуществляется с помощью встроенного микропроцессора.

Все операции управляются микропроцессором. Внешняя и внутренняя память «эхোগраммы» и выбранных параметров открывает уникальные перспективы в локации кабельного повреждения и наблюдения за кабельными и проводными системами. Однако возможна и прямая запись измерительных данных на персональный компьютер или другое вычислительное устройство. Телефонные модемы позволяют передавать на расстояние все записанные данные и «эхোগраммы» для сравнения с прежними чертежами. При повторных измерениях САФ автоматически устанавливает все предыдущие измерительные параметры. Тем самым появляется возможность сравнить две эхограммы, выполненные в одинаковых измерительных условиях: старую и новую.

Зондирующий импульс и отраженные сигналы воспроизводятся на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) с временной разверткой луча. Сигналы, отражающиеся от неоднородностей волнового сопротивления, будут смещены по времени относительно зондирующего импульса в зависимости от расстояния до неоднородности, т.е. величина смещения однородного сигнала относительно зондирующего импульса на экране ЭЛТ пропорциональна расстоянию до неоднородности. Измерения импульсным методом обеспечивают получение быстрого и точного результата, особенно в том случае, когда повреждение имеет вид обрыва или короткого замыкания.

Неоднородность волнового сопротивления характеризуется коэффициентом отражения:

$$P = \frac{U_{отр}}{U_{зонд}} = \frac{Z - \rho}{Z + \rho}, \quad (1)$$

где  $P$  - коэффициент отражения;

$Z_{отр}$  - амплитуда отраженного сигнала;

$Z_{\text{зонд}}$  - амплитуда зондирующего импульса;

$Z$  - сопротивление в месте повреждения;

$\rho$  - номинальное волновое сопротивление линии.

Отсутствие отраженного сигнала свидетельствует о полном согласовании линии по волновому сопротивлению. При увеличении сопротивления в месте отражения (обрыв линии) отраженный импульс имеет ту же полярность, что и зондирующий, достигая предельной амплитуды, равной амплитуде зондирующего импульса (полное отражение).

При коротком замыкании и уменьшении сопротивления линии отраженный импульс меняет полярность, достигая предельной амплитуды, равной амплитуде зондирующего импульса (полное отражение).

Чтобы произвести импульсные измерения максимально объективными, необходима зарисовка нормально наблюдаемой характеристики (при определенном положении ручек длительности импульса, выходного сопротивления измерителя, масштаба) и сопоставление ее с картой линии. Таким образом осуществляется привязка отражений на экране к ориентирам на местности, позволяющая производить отсчет не от места подключения прибора, а от ближайшей к месту повреждения постоянно существующей кабельной вставки. При наличии зарисованных импульсных характеристик линии, отражающих все их неоднородности, место повреждения определяется по появлению нового всплеска.

Точность импульсных измерений определяется правильным выбором величины скорости распространения импульсного сигнала в измеряемой линии. Каждая линия, имеющая отличные от другой первичные параметры (тип диэлектрика, сечение, материал жил кабеля и т.д.), обладает своей собственной скоростью распространения импульсного сигнала. В измерителе обеспечен прямой непосредственный отсчет расстояния в единицах длины с учетом скорости распространения импульса в линии через коэффициент укорочения электромагнитной волны (ручка "укорочение"). Величина коэффициента укорочения электромагнитной волны для волнового канала определяется по

формуле

$$z = \frac{C}{V}, \quad (2)$$

где  $C$  - скорость света, 300 м/мкс;

$V$  - скорость распространения импульса в данном типе линии.

Для силовых высоковольтных кабелей  $\gamma = 1,87$ , а волновое сопротивление  $\rho = (25 \div 35)$  Ом.

В приборе Р5-10 отсчет расстояния производится следующим образом: в положении "О" ручки управления задержкой развертки "расстояние" зондирующий импульс с помощью ручки управления задержкой зондирующего импульса "УСТ.ОТСЧЕТА" совмещается с выбранной рисккой на экране электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) (слева экрана – первая или вторая вертикальная линия). Отраженный импульс ручкой "расстояние" совмещается с той же отсчетной рисккой. По шкале отсчетного устройства этой ручки, прокалиброванной в единицах длины (м, км в зависимости от диапазона измерений), производится непосредственный отсчет расстояния.

Переключателем «ДИАПАЗОНЫ» производится коммутация калибрационных меток и время задающих элементов в блоке измерителя. Измерение масштаба просматриваемого участка линии производится тумблером «ДИАПАЗОНЫ» (км). В зависимости от длины измеряемой линии и ее затухания можно производить выбор длительности зондирующего импульса, посылаемого в линию с помощью переключателя «ЗОНД. ИМП.» (мкс). Величина отраженного импульса, поступающего из линии, устанавливается удобной для измерения ручкой «УСИЛЕНИЕ».

При коротком замыкании и наличии переходного сопротивления выше 50 Ом (согласно государственному стандарту) импульсные измерения затрудняются, так как изменяется карта линии и все отраженные сигналы по амплитуде уменьшаются. При наличии переходного сопротивления измерения следует производить только после его снижения до 50 Ом и ниже, что осуществляется при помощи прожигающей установки (рис. 1). При помощи

автотрансформатора Т повышается напряжение, выпрямляется высоковольтным диодом VD и подается на кабель. Возникает электрическая дуга в месте пробоя кабеля. Ток фиксируется амперметром PA. Резистор R предназначен для ограничения тока.

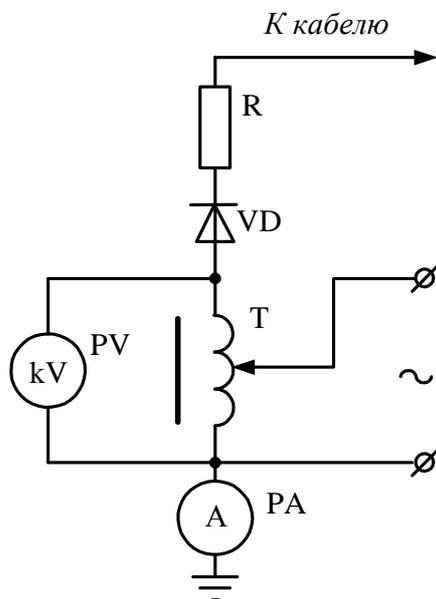


Рис. 1 - Схема прожигающей установки

## 2. Описание стенда

Кабельная линия представляет собой длинную линию с распределенными параметрами. В условиях лаборатории выполнить кабельную линию сложно, поэтому линия с распределенными параметрами (кабель) заменена линией с сосредоточенными параметрами. Схема стенда приведена на рис. 2. Индуктивные катушки  $L_1 \div L_{11}$  намотаны на пластиковой трубе медным проводом диаметром  $d = 0,33$  мм. Число витков каждой катушки  $W = 130$ , индуктивность каждой катушки около  $4 \cdot 10^{-5}$  Гн. Емкость конденсаторов  $C_1 \div C_{10}$  по 0.01 мкФ каждый.

Волновое сопротивление данной линии составляет

$$c = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-5}}{0.01 \cdot 10^6}} = 64 \text{ Ом.} \quad (3)$$

С помощью переключателей  $S_1 \div S_{10}$  задается место обрыва кабельной линии и переключателя SA<sub>1</sub> - место короткого замыкания одной жилы на

нейтральную жилу N кабеля и землю.

### ***3. Содержание работы***

В работе необходимо определить целостность жил кабеля и установить характер повреждения. Составить схему повреждения кабеля.

Найти зону повреждения импульсным методом. Исследовать зависимость длительности отражаемого импульса при коротком замыкании жилы кабеля на землю и обрыва, от расстояния до места повреждения. Исследовать зависимость амплитуды отражаемого импульса от расстояния до места повреждения. Рассчитать коэффициент отражения  $P$  и сопротивления  $Z$  до каждого места повреждения. Исследовать зависимость амплитуды отражаемого импульса от величины переходного сопротивления жилы кабеля относительно земли и определить область применения метода.

### ***4. Порядок проведения работ***

#### ***4.1. Мероприятия по безопасности***

Все измерения нужно производить при отключенной с обеих сторон линии. Во избежание выхода из строя измерителя необходимо предварительно разрядить линию, замкнув жилы между собой и землей. Перед включением измерителя необходимо заземлить зажимы защитного заземления на блоке питания.

#### ***4.2. Подготовка к работе***

1. Произвести внешний осмотр блока и убедиться в отсутствии механических повреждений и неисправностей;
2. Установить базовый блок измерителя в удобное для работы положение;
3. Установить органы управления в исходное положение:
  - "УСИЛЕНИЕ" - в крайнее левое положение; - "РАССТОЯНИЕ" - "0"; - "УСТ.ОТСЧЕТА" - в крайнее левое положение; - "ПИТАНИЕ" - в нижнее

положение (выключено);

4. Подключить к разъему "ВХОД-ВЫХОД" соединительный кабель;
5. Подключить к разъему "12.6 V" базового блока разъем "12.6 V" блока питания при работе от сети переменного тока 220В, 50Гц.
6. Включить измеритель и проверить на функционирование.
7. Перед включением измерителя обязательно установить ручку "\*" (управление яркости луча) в крайнее левое положение.
8. Подключить с помощью соответствующего кабеля измеритель к внешней сети. Включить тумблер "СЕТЬ" на блоке питания, если питание производится от сети переменного тока напряжением 220В, после включения тумблера "СЕТЬ" на блоке питания должна загореться сигнальная лампочка.
9. Включить тумблер "ПИТАНИЕ" на передней панели измерителя, при этом должна загореться сигнальная лампочка на передней панели.
10. Отрегулировать соответствующими ручками яркость, фокусировку и положение луча на экране ЭЛТ. Плавным вращением ручки "УСТ. ОТСЧЕТА" вправо добиться появления на экране зондирующего импульса.

### ***5. Порядок выполнения работы***

Для проведения работы необходимо:

1. Установить ручки управления на передней и боковой панелях в соответствующие положения:
  - «КОМПЕНС.» - крайнее левое; «ФИЛЬТР» -  $\cong$ ; «УСИЛЕНИЕ» - крайнее левое; «РАССТОЯНИЕ – О»; «УСТ.ОТСЧЕТА» - крайнее левое;
2. Заземлить измеритель, подключить кабель питания к питающей сети, включить тумблер «ПИТАНИЕ», при этом загорится сигнальная лампочка и через 0,5 ÷ 2 мин. на экране ЭЛТ появится линия развертки;
3. Соответствующими ручками отрегулировать яркость, фокусировку и положение луча на экране трубки. Положение линии развертки луча должно быть на середине экрана трубки;
4. К разъему «ВХОД-ВЫХОД» на левой панели измерителя подключить

соединительный кабель; к разъему соединительного кабеля - присоединительный кабель или блок входных цепей;

5. В зависимости от длины измеряемой линии работы производятся на одном из следующих диапазонов измерения, выбираемых переключателем и тумблером «ДИАПАЗОНЫ» (км): 0;3км; 3км; 10км; 30км; 90км; 100км; 300км. Результат измерения расстояния будет более точным, если отсчет производится в конце диапазона измерения;

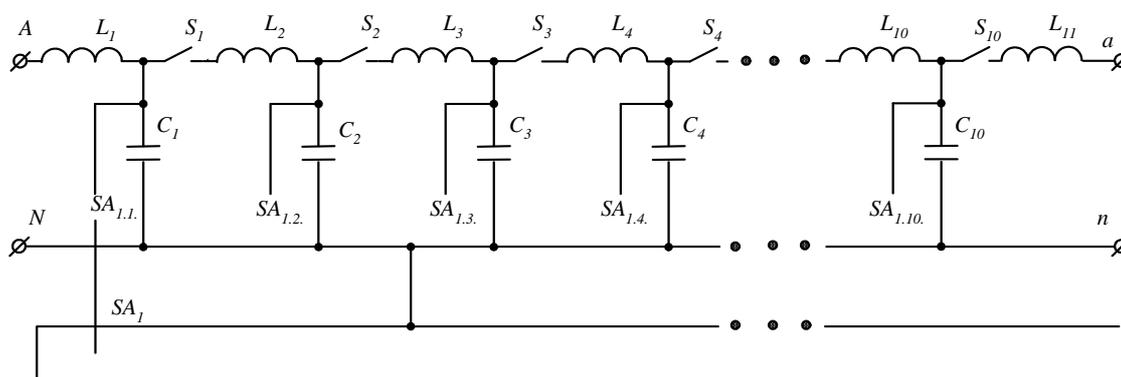


Рис. 2 - Электрическая схема модели кабельной сети

6. Установите ручку ЗОНД. ИМП. (мкс) в положения:

"0.05; 0.1; 0.3 мкс \_" (при длине измеряемой линии до 10км); "0.1; 0.3; 1; 3 мкс " (при длине измеряемой линии до 30 км); "1; 3; 10; 30 мкс " (при длине измеряемой линии до 300 км).

7. Установите ручку ВЫХ. СОПР. на величину волнового сопротивления измеряемой линии. Приближенные значения выходного сопротивления определяются цветными секторами, нанесенными на передней панели прибора под ручкой ВЫХ. СОПР. Светлому сектору соответствует выходное сопротивление от 20 до 100 Ом; серому от 100 до 250 Ом; темно-серому от 250 до 500 Ом;

8. Подключите присоединительный кабель к измеряемой линии. Установите ручку ОБЩ. - РАЗД. на левой панели прибора в положение ОБЩ. I - в случае измерений на одной паре;

9. Установить ручку УКРОЧЕНИЕ в положение, соответствующее

значению коэффициента укорочения измеряемого типа кабеля. Значение коэффициентов укорочения измеряемого типа кабеля (для силовых высоковольтных кабелей типа СБ,АСБ, ААБ, - 6 - 10 кВ)  $\gamma = 1,87$ . Волновое сопротивление (25--35) Ом.

5.1. Проведите зарисовку импульсной характеристики линии до повреждения (карта линии).

1. Установите переключатель П1 установки в крайнее правое положение;

2. Тумблеры  $S_1 \div S_{10}$  – в положение «ВНИЗ»;

3. Для получения более четкой импульсной характеристики произвести регулировку ручек «ВЫХ.СОПР.» и «ФИЛЬТР»;

4. Для отыскания сигнала, отраженного от места повреждения линии при сложной импульсной характеристике, насыщенной отражениями от транспозиций, вставок, повторными отражениями, *произведите зарисовку* импульсной характеристики (карта линии).

5.2. Проведите зарисовку импульсной характеристики линии при коротком замыкании.

5.3. Определите расстояние до места короткого замыкания, для чего:

- ручкой «УСТ.ОТСЧЕТА» совместите передний фронт зондирующего импульса с одной из рисок шкалы ЭЛТ;

- ручкой «РАССТОЯНИЕ» произведите совмещение начала фронта найденного всплеска импульсной характеристики (отраженного импульса) с отсчетной риской шкалы (с той, на которой находился зондирующий импульс);

- по показанию ручки «РАССТОЯНИЕ» произведите отсчет расстояния (в полученный результат входит длина соединительного кабеля).

5.4. Проведите зарисовку импульсной характеристики линии при обрыве (Производится аналогично пункту 5.3.).

В карту линии нужно записывать следующие данные:

- длительность импульса (положение ручки «ЗОНД.ИМП.»);
- величину выходного сопротивления (положение ручки «ВЫХ.СОПР.»);
- диапазон измерений (положение ручки "ДИАПАЗОН (км)");
- коэффициент усиления (положение ручки "УСИЛЕНИЕ");
- выход прибора и блока входных цепей (симметричный или несимметричный).

5.5. Исследовать зависимость длительности отраженного импульса ( $\tau_{и}$ ) и амплитуды ( $U_{отр}$ ) при коротком замыкании жилы кабеля на землю в зависимости от расстояния, для чего на стенде переключателем П1 установить поочередно короткое замыкание в линии и измерить относительную длительность (длительность, ближайшей к прибору точки короткого замыкания принять за единицу). Результаты занести в табл. 1.

5.6. Исследовать зависимость длительности отраженного импульса ( $\tau_{и}$ ) и амплитуды отраженного импульса ( $U_{отр}$ ) при обрыве жилы кабеля в зависимости от расстояния, для чего на стенде при помощи тумблеров  $S_1 \div S_{10}$  установить поочередно обрыв в линии и измерить относительную длительность (длительность, ближайшей к прибору точки короткого замыкания принять за единицу). Результаты занести в табл. 2.

5.7. Измерить амплитуду зондирующего импульса ( $U_{зонд}$ ) в делениях и рассчитать величину коэффициента отражения  $P$  для каждого места короткого замыкания и обрыва по формуле:

$$P = \frac{U_{отр}}{U_{зонд}} = \frac{Z - \rho}{Z + \rho},$$

где  $U_{отр}$ - амплитуда отраженного сигнала;

$U_{зонд}$  - амплитуда зондирующего сигнала (дел.).

5.8. Рассчитать сопротивления линии до места повреждения по формуле:

$$Z = \frac{\rho(1+P)}{1-P},$$

где  $\rho = 64$  Ом – волновое сопротивление линии. Результаты занести в табл. 1 и в 2.

5.9. Исследовать область применения импульсного метода при изменении переходного сопротивления. Установить на модели соответствующее переходное сопротивление при помощи переключателя П2. Измерить амплитуду в относительных единицах при коротком замыкании в указанной преподавателем точке. Результаты занести в табл.3.

Таблица 1

№ измерения при коротком замыкании линии	1	2	3	4	5
Расстояние до места короткого замыкания					
Длительность импульса $\tau_{и}$ , дел.					
Длительность импульса относительная $\tau_{иое}$ о.е.					
Амплитуда импульса $U_{отр}$ , дел					
Амплитуда импульса относительная $U_{отрое}$ , о.е.					
Коэффициент отражения P					
Сопротивление до места повреждения Z, Ом					

Таблица 2

№ измерения при обрыве линии	1	2	3	4	5
Расстояние до места обрыва					
Длительность импульса $\tau_{и}$ ,дел.					
Длительность импульса относительная $\tau_{иое}$ о.е.					
Амплитуда импульса $U_{отр}$ ,дел					
Амплитуда импульса относительная $U_{отрое}$ ,о.е.					
Коэффициент отражения $P$					
Сопротивление до места повреждения $Z$ , Ом					

Таблица 3

№ измерения при коротком замыкании линии	1	2	3	4	5
Величина переходного сопротивления $R_{пер}$ , Ом					
Амплитуда отраженного импульса в относительных единицах $U_{отрое}$ ,о.е.					

**6. Отчет должен содержать:**

- цель работы;
- карту линии (зарисовки импульсной характеристики линий до аварии и при повреждении: в случае короткого замыкания линии или при обрыве линии);
- анализ характера и места повреждения;

- графики зависимостей длительности импульса (о.е.) от расстояния до места повреждения при коротком замыкании и при обрыве;
- графики зависимости амплитуды отраженного сигнала (о.е.) от расстояния до места повреждения при коротком замыкании и при обрыве;
- график зависимости амплитуды отраженного сигнала (о.е.) от величины переходного сопротивления;
- выводы по работе.

### ***7. Контрольные вопросы:***

1. Сущность импульсного метода отыскания мест повреждений.
2. Область применения импульсного метода.
3. Чем характеризуется неоднородность волнового сопротивления?
4. Как определить коэффициент отражения  $P$ ?
5. Как рассчитать сопротивление до места повреждения через волновое сопротивление линии и коэффициент отражения?
6. В каком случае отсутствует отраженный сигнал при использовании импульсного метода?
7. От чего зависит точность определения места повреждения?
8. Как определяется коэффициент укорочения электромагнитной волны для волнового канала и как он влияет на точность измерения?
9. В каком случае при коротком замыкании жилы кабеля нельзя применять импульсный метод отыскания места повреждения?
10. С какой целью используется установка прожигка кабельной линии?

## *Лабораторная работа №6*

### *Изучение и исследование конструкции контактной сети трамвая и троллейбуса*

#### *Цель работы:*

Практическое ознакомление с конструкциями контактной сети, с системами, подвесками контактного провода, с подвесной арматурой, деталями и оборудованием контактной сети. Получение навыков монтажа отдельных узлов и формирование на них различных систем подвешивания проводов. Изучение конструкции ведется по натуральным образцам с составлением конструктивных эскизов и схемных решений.

#### *1. Краткие сведения о конструкциях контактной сети*

*Под контактной сетью* понимают совокупность линейных токоведущих, поддерживающих и опорных элементов, которые служат для подведения электроэнергии непосредственно к токоприемникам подвижного состава.

Система подвешивания контактных проводов линии к поддерживающим конструкциям называется *контактной подвеской*. Контактная подвеска - это система тросов и проводов, подвешиваемых к поддерживающим устройствам, обеспечивающая подвод электроэнергии к токоприемнику посредством контакта. В зависимости от числа проводов подвески могут быть простыми и цепными.

*Простая подвеска* - это подвеска, при которой контактный провод непосредственно закреплен на поддерживающих конструкциях, к стенам домов на поперечинах, жестких конструкциях-кронштейнах, ригелях, консолях, которые укрепляются на опорах. В простых подвесках способ подвешивания провода к поддерживающему устройству может быть жестким, полужестким и эластичным.

**Жесткой простой подвеской** считается система непосредственного крепления контактного провода к неупругим опорно-поддерживающим конструкциям, лишенная смещаемости точек подвешивания под давлением проходящих под ними токоприемников.

**Полужесткой простой подвеской** считается система непосредственного крепления контактного провода к относительно упругим поддерживающим конструкциям, обеспечивающим незначительный отжим провода в точке подвешивания, токоприемниками подвижного состава.

**Эластичной простой подвеской** считается система подвешивания контактного провода к поддерживающим конструкциям с помощью промежуточных упругих звеньев, отклоняемых из своего статистического положения при отжиге провода токоприемником. Цепная подвеска состоит из несущего троса, который непосредственно подвешивают к поперечным конструкциям, и контактного провода, подвешиваемого к несущему тросу с помощью струнок. Различают цепные подвески с двумя или более числом струн в пролете с жесткими, смещенными или рессорными струнами под опорой.

**Поддерживающие и фиксирующие устройства** включают кронштейны, простые и цепные гибкие поперечины, а также тросовые системы, выполненные в виде угольников, трапеций и многоугольников. Фиксирующие устройства выполняют в виде фиксирующих стоек, стержневых трубчатых фиксаторов, а также оттяжных тросов.

**Опорные конструкции** могут быть двух разновидностей: специально установленная в грунте железобетонная или металлическая трубчатая опора, или стенной крюк, устанавливаемый в стены кирпичных зданий.

**Материалы и детали**, применяемые в контактной сети, весьма разнообразны и к настоящему времени в основном типизированы. По назначению материалы и детали можно свести в группы.

**Контактные провода** выпускают в соответствии с ГОСТ 5.2210-74: медные марки МФ, бронзовые БрФ сечением 65,85,100 мм<sup>2</sup> стандартного профиля,

применяют также комбинированные сталеалюминевые провода марки ПКСА-80/180.

**Тросы и проволока** используются в качестве несущих и связующих элементов контактных подвесок и поддерживающих устройств.

В сетях трамвая и троллейбуса обычно используют стальные тросы диаметром 6,7;8,0 мм<sup>2</sup> и оцинкованную стальную проволоку диаметром 5 и 6 мм.

**Подвесная арматура** - группа деталей, предназначенных для подвешивания контактных подвесок к поддерживающим устройствам. Сюда относят бугели, траверсы, серьги, седла, зажимы (соединительные, струновые, подвесные, питающие), вилки, подвесы трамвайные с изоляционными болтами и жесткие для троллейбуса.

**Трамвайные подвесные зажимы** для одного провода (ЗПО) и для двух проводов (ЗПД) предназначены для крепления к подвесной системе одного или двух контактных проводов. Зажим для одного контактного провода 1 состоит из основной щечки с двумя отверстиями М10 и прижимной щечки 3 с отверстиями без резьбы, скрепляемых болтами. Основная щечка выполнена с приливом в верхней части, резьбовое отверстие которого служит для крепления на изолированном болте подвеса. Зажим для двух проводов имеет основную щечку с отверстиями М10, по обе стороны которой расположены прижимные щечки с отверстиями без резьбы, скрепленные с основной болтами. Основную и прижимную щечки изготавливают из латуни марки ЛК80-3Л или из ковкого чугуна не ниже марки КЧ35-10 или стали. Детали из черных металлов должны иметь цинковое покрытие. Зажимы ЗПО и ЗПД с закрепленными в них проводами должны выдерживать без изгиба испытательную нагрузку не менее 8000 Н.

**Трамвайный соединительный зажим** (ЗС) служит для соединения двух контактных проводов трамвая. Зажим по конструкции аналогичен подвесному зажиму ЗПД и отличается от него меньшей длиной и отсутствием прилива на основной щечке. Обе щечки изготавливают из латуни марки ЛК80-3Л и скрепляют болтами М12.

**Трамвайный питающий зажим** ЗП устанавливают для присоединения гибких медных проводов к контактному проводу трамвая. Зажим по конструкции аналогичен подвесному зажиму ЗПО, но отличается от него высокой шейкой прилива. Полое отверстие в шейке прилива служит как гнездо для впаивания гибкого медного провода, через который осуществляется передача электрической энергии. Обе щетки изготавливаются из латуни марки ЛК80-ЗЛ и скрепляются болтами М10. Электрическое переходное сопротивление между зажимом и проводом должно быть не более сопротивления 1 м контактного провода, а нагрев зажима не должен превышать нагрева самого провода при прохождении по ним максимально допустимого тока.

**Трамвайный распорный зажим** ЗР предназначен для крепления в вертикальной плоскости двух контактных проводов. Зажим служит для распора между основным контактным проводом и байдратом на кривых участках пути и пересечениях трамвайных проводов. Байдрат представляет собой отрезок контактного провода длиной 2,9 м, который монтируют в точке подвеса ниже основного провода для предохранения его от износа и уменьшения усилия на изоляционный болт. Зажим ЗР состоит из основной щетки с отверстием М12 и прижимной щетки с отверстием без резьбы, скрепленных болтом.

**Троллейбусный подвесной зажим** ЗПВ служит для крепления к подвесной системе контактного провода в сети троллейбуса. Зажим состоит из основной щетки с четырьмя отверстиями М8 и прижимной щетки с отверстиями без резьбы, скрепляемых винтами М8 х 14 или специальными винтами. Основная щетка в верхней части имеет прилив с резьбовым отверстием для крепления болтом к троллейбусному подвесу. Обе щетки изготавливают из латуни ЛК80-ЗЛ.

**Троллейбусный питающий зажим** ЗПТ устанавливают для присоединения медного провода или кабеля к контактному проводу троллейбуса. Зажим состоит из основной и прижимной щечек, скрепленных четырьмя специальными винтами. Верхняя часть основной щетки имеет

гребень по форме, соответствующей верхней части контактного провода. Гребень служит для установки на него трамвайного питающего зажима ЗП с гибким проводом. Длина ЗПТ позволяет установку двух зажимов ЗП. Обе щетки изготавливают из латуни марки ЛК80-ЗЛ. Электрическое переходное сопротивление между зажимом и проводом должно быть не более сопротивления 1 м контактного провода, а нагрев зажима не должен превышать нагрев самого провода при прохождении по ним максимально допустимого тока.

**Зажим стыковой** контактной сети троллейбусов ЗСТБ служит для соединения двух концов провода троллейбуса и передачи через него электрической энергии. Зажим состоит из корпуса и шести специальных винтов М8. Корпус зажима и винты выполнены из стали. При монтаже стыкового соединения нажимные винты острыми краями врезаются в провод и прижимают его к стенкам паза, обеспечивая прочное соединение и надежный контакт. Нагрузка, предшествующая разрушению стыкового соединения провода МФ-85, должна быть не менее 28500 Н, при этом корпус не должен деформироваться. Для временного соединения сталеалюминиевого провода применяют стыковой зажим обхватного типа.

**Зажим струновой** ЗСТ предназначен для крепления струн на стальном канате и проволоке в сетях трамвая и троллейбуса. Канат или проволоку зажимают между хомутиком и обоймой нажатием планки при завинчивании гаек. Струну крепят к зажиму с помощью валика.

**Вспомогательная арматура** включает хомуты, коромысла, планки, концевые клиновые зажимы и зажимы средних анкеронок.

Оборудование, предназначенное для защиты и регулирования сети, включает натяжные муфты, температурные винты, шумоглушители и разрядники.

Для сезонной регулировки натяжения контактных проводов трамвая применяют **температурный винт**, включенный в разрез контактных проводов. Температурный винт имеет **натяжную муфту** с правой и левой

резьбой на винтах и гайках. В средней части муфты имеется зубчатое колесо для трещеточного ключа. Ходовая линия для токоприемника образуется двумя дополнительными проводами, расположенными под муфтой. Между собой дополнительные провода соединены зажимами. Температурный винт подвешивают на поперечине с помощью стального каната, который одновременно страхует от падения проводов на землю при разрушении винта.

Для натяжения контактного провода в полукомпенсированной подвеске применяют **грузовые компенсаторы** блочного типа. **Компенсатор** представляет собой полиспаст с передаточным числом 1:4 и имеет два подвижных и один неподвижный ролики. Грузы, натягивающие полиспаст, помещают внутри трубчатых опор АГК. Эти опоры могут использоваться и для уличного освещения. Провода освещения прокладывают снаружи опоры и защищают от механических повреждений внизу стальной трубой, а сверху стальным рукавом. На загородных и вылетных линиях допускается закрепление грузов снаружи опоры с защитой их предохранительной решеткой. На грузовой компенсатор могут быть анкерваны как одинарный, так и совместно двойной провод трамвая. Для выравнивания натяжения обоих проводов их натягивают через коромысло или ролик. Посередине анкерного участка, имеющего грузовые компенсаторы, выполняют **среднюю анкеровку** провода, исключая перетягивание провода одним из грузов и ограничивающую участок повреждения сети при обрыве контактного провода. **Среднюю анкеровку** выполняют установкой на провод специального зажима, оттягиваемого в обе стороны наклонными тросами, закрепляемыми на продольно-несущем тросе. Длина каждой ветви средней анкеровки должна быть приблизительно равна двадцатикратному наименьшему расстоянию между контактным проводом и несущим тросом. Кронштейн или несущую поперечину, под которыми располагается средняя анкеровка, анкеруют в обе стороны.

Изоляция контактной сети трамвая и троллейбуса выполняют двухступенчатой с соблюдением следующих требований:

- части, находящиеся под напряжением, должны быть не менее чем с двухступенчатой изоляцией по отношению к заземленным элементам и другим линиям;

- все виды поддерживающих устройств должны иметь одну ступень изоляции в местах их крепления к опорным конструкциям;

- несущие тросы цепных подвесок должны изолироваться от поддерживающих устройств, а в сетях троллейбуса также и от контактного провода.

Изоляторы используют нескольких разновидностей: пряжечные типов ИП-1 и ИП- 2, фарфоровые - орешковые, планочные из дельта-древесины, изоляционные болты, специальные изоляторы в поддерживающих элементах и спецчастях из гетинакса, лигнафоля, диабазы и другие.

В виде исключения допускается установка одного изолятора с повышенными электрическими характеристиками между разнополярными проводами одной линии троллейбуса, а также одного изолятора с обычными характеристиками между проводами линий трамвая при подвешивании их на неизолированных подвесах.

По своему назначению изоляторы можно разделить на три группы: натяжные, подвесные и изоляторы для специальных частей. Натяжные изоляторы включают в гибкие поперечины, тросовые и проволочные элементы систем, в контактные провода и другие элементы сети, где требуется от изолятора высокая механическая прочность на растяжение. Подвесные изоляторы служат для подвески проводов или тросов и фиксации их положения. Натяжные и подвесные изоляторы могут быть использованы в качестве натяжных и подвесных одновременно. Натяжной пряжечный изолятор изготавливают на нагрузку 12000 Н из прессмассы стекловолокна АГ-4с методом горячего прессования. Изолятор армирован двумя стальными обоймами для соединения с тросовыми, проволочными элементами и деталями подвески.

На контактных сетях находятся и еще будут длительное время оставаться в эксплуатации пряжечные изоляторы ввиду больших межремонтных сроков. Изоляторы существуют двух типов: ИП-1 на нагрузку 6000 Н для включения в элементы подвесок, выполненные из проволоки, и ИП-2 на нагрузку 12000 Н для элементов подвески из стальных канатов. Эти изоляторы, имея сходный вид, существенно отличаются от новой конструкции тем, что имеют стальной сердечник, опрессованный пластмассой «Волокнит». Они уступают по механической и электрической прочности новым изоляторам, обладают существенным недостатком — возможностью скрытых, коротких замыканий при пробое изоляционного слоя под обоями.

Изолятор такелажный фарфоровый ИТФ-3 применяют в элементах поперечин, выполненных из проволоки, и в подвесных струнах. Минимальное разрушающее усилие на сжатие 30000 Н. В сухом состоянии изолятор выдерживает напряжение 15 кВ, а под дождем — 6 кВ. Наименьший диаметр троса для армировки изолятора составляет 8,7 мм.

Изоляторы из древеснослоистого пластика ДСП-Б - изготавливают на допустимые нагрузки 12000 Н и 17000 Н. Ввиду гигроскопичности древеснослоистого пластика электроизоляционные свойства его зависят от влажности. Для сохранения изоляционных свойств изолятор при заводском изготовлении после просушки дважды покрывают глифталевым лаком. В эксплуатации, не реже чем один раз в два года, изолятор после очистки покрывают дугостойкой глифталевой эмалью воздушной сушки.

Изолятор пластмассовый ИКП изготавливают из пластмассы АГ-4С методом горячего прессования. Изолятор предназначен для изоляции крепления продольного несущего троса к поддерживающим устройствам, контактного провода к продольному несущему тросу и для других целей. Изолятор обладает высокими электроизоляционными свойствами. При испытаниях он после суточного пребывания в воде должен выдерживать без пробоя и перекрытия напряжение 3000 В переменного тока частотой 50 Гц. Минимальное разрушающее усилие на растяжение 7000 Н.

Изолированный болт устанавливают в изолированных подвесах контактной сети трамвая. Изолированный болт состоит из стального сердечника, спрессованного в верхней части электроизоляционным слоем пластмассы. На нижней части сердечника имеется резьба для подвешивающего зажима. Болты изготавливают двух типов: БО — болт изолированный с овальной головкой и БЦ — болт изолированный с цилиндрической головкой. Болты БО наглухо крепят в корпусе подвеса, а БЦ крепят в стакане кожуха с завинчивающейся крышкой и могут быть заменены при старении изоляционного слоя или поломки болта.

Изолированные болты должны выдерживать без изгиба боковую нагрузку не менее 5000 Н, а по электрической прочности должны выдерживать после суточного пребывания в воде без пробоя и перекрытия напряжения 3000 В переменного тока частотой 50 Гц. Недостатком болтов являются скрытые короткие замыкания при нарушении (пробое) изоляционного слоя. Допустимая боковая нагрузка на болт от контактного провода 2500 Н.

Трамвайные подвесы изготавливают двух видов: с изолированными болтами с овальной или с цилиндрической головками.

Корпус подвеса первого вида состоит из двух половин, между которыми зажимаются один или два изолированных болта БО. Половинки корпуса, штампованные из листовой стали, соединяются между собой заклепками. Подвес удерживается на поперечине за счет трения, создающегося от изгиба проволоки на подвесе и затяжки болтов корпуса.

Для кривых участков пути и на стрелочных слияниях проводов при креплении на сквозном тросе применяют подвесы КСО-1 для одного провода и КСО-2 на два провода. На подвесах КСО контактные провода монтируют с применением байдратов. На болте БО имеется выемка, куда закладывается основной провод и удерживается угольником, а байдрат крепится снизу на подвешивающем зажиме. Для крепления на оттяжке используют одноплечие подвесы КОО-1 для одного провода и КОО-2 для двух проводов. Для подвески на прямом участке пути служит подвес ПРЦ-1 для одного провода и ПРЦ-2 для

двух проводов. На поперечине подвес удерживается за счет изгиба проволоки в горизонтальной плоскости.

Для подвески на кривых участках пути и для стрелочных слияний проводов используют подвесы КСЦ-1 и КСЦ-2 соответственно на один и два провода, которые устанавливаются в рассечку поперечины.

**Троллейбусные подвесы** изготавливаются нескольких видов: **жесткий двуплечий, жесткий одноплечий, маятниковый подвес и подвес скользящей струны**. Из двух двуплечих подвесов с включением между ними изоляции составляют **парный жесткий подвес** троллейбуса, а из двуплечевого и одноплечевого — **парную оттяжку**. Эти подвесы устанавливают на прямых и кривых участках при углах поворота до  $4^\circ$ . Такой подвес можно применить и при угле до  $8^\circ$ , если скорость движения троллейбуса не превышает 15 км/ч.

Подвесы изготавливают литыми из ковкого чугуна КЧ35-10 или сварными. Двуплечие подвесы должны выдерживать испытательную растягивающую нагрузку 16000 Н, а одноплечие — 8000 Н. Недостатком подвеса является жесткость подвески провода. Значительно лучшей эластичностью обладает **маятниковый подвес**, имеющий наклонные струны с включенными в них изоляторами. Две равные шарнирно закрепленные струны обеспечивают параллельное перемещение нижней скобы при изменении наклона струны, а ось симметрии провода постоянно остается вертикальной. На подвесе предусматривается изменение направления провода на угол до  $3^\circ 30'$ .

**Маятниковые подвесы** применяют и в **трамваях**, для чего конструкция нижней скобы изменена для пропуска токоприемника. В этом случае следует учитывать постоянные изменения зигзага с тем, чтобы крайние отклонения провода не выходили за допустимые пределы. В трамвайных и троллейбусных цепных подвесках используют **подвесы скользящей струны**, перемещающиеся вдоль продольно-несущего троса от температурных изменений длины провода. Трамвайный подвес состоит из серьги и подвесного зажима, соединенных через одинарную вилку. Троллейбусный подвес аналогичен трамвайному, но между вилкой и серьгой включен изолятор. На несущем тросе по обе стороны от

подвеса устанавливают ограничители перемещения серьги, выполненные в виде специальных зажимов. Расстояние между ограничителями определяется температурными удлинениями провода. Наименьшее расстояние – между ограничителями на подвесах, соседних со средней анкеровкой, наибольшее – вблизи грузовых компенсаторов.

На стенах зданий подвеску закрепляют **стенными крюками**, устанавливаемые в заранее подготовленные отверстия. **Стенной крюк** расклинивают в отверстии четырьмя закрепками, располагаемыми по сторонам пирамиды хвостовой части крюка. Допускаемая нагрузка на крюк 7000 Н. На большие нагрузки, но не превышающие 14000 Н, применяют спаренные крюки, устанавливаемые на расстоянии 250 мм и связанные коромыслом.

Защитой от передачи на стены шума служит **шумоглушитель**. Он состоит из двух соединенных между собой планками резиновых валиков, на которых гасятся звуковые колебания. На валики надеты хомуты, одним из которых шумоглушитель соединяется с тросом, а вторым через переходную планку с крюком. Шумоглушитель может быть выполнен в виде резинового валика, заключенного в стакан.

Для различных типов контактных подвесок выполняют различные узлы, которые затем устанавливают при монтаже сети.

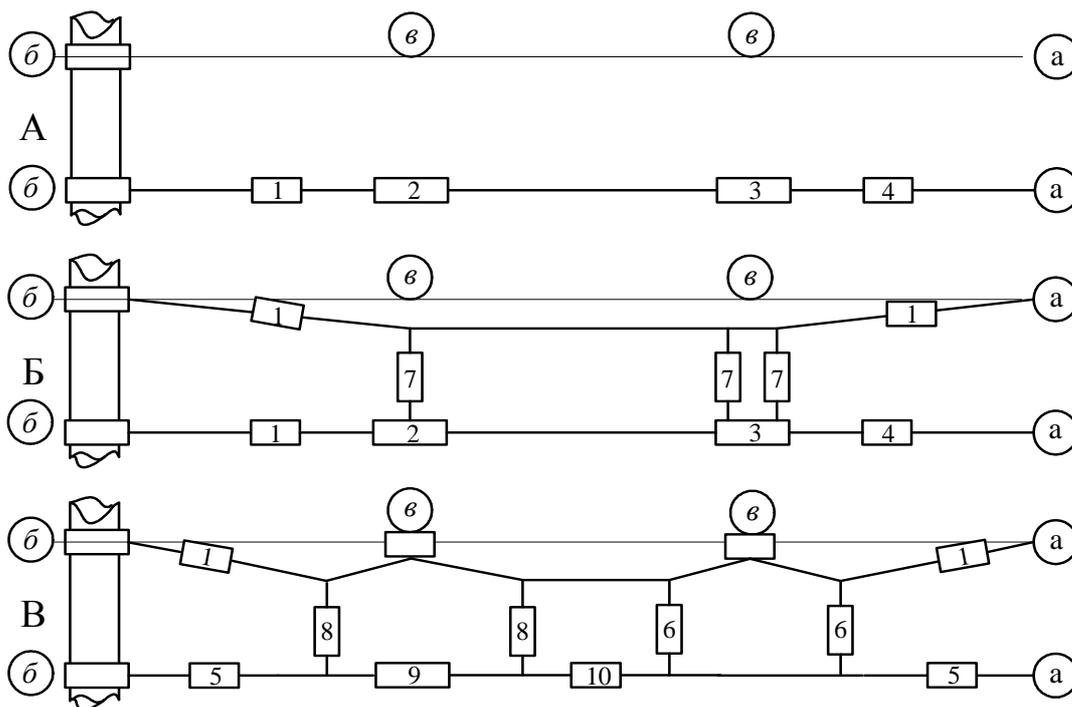
### **3. Описание лабораторных устройств**

Для проведения монтажных работ выполнен полигон, на котором установлены опоры, кронштейны, стенные крюки и напольные шкафы с деталями (см.рис.1).

На полигоне смонтированы основные узлы (сборки), имеющие следующие наименования:

1. элемент системы из троса с изоляцией (из дельта-древесины) и натяжной муфты;
2. узел подвешивания контактного провода трамвая с изоляцией;
3. парный жесткий подвес троллейбуса для врезки непосредственно в трос поперечины;

4. шумоглушитель с изолятором ( из дельта- древесины);
5. элемент подвески с изоляцией и натяжной муфтой;
6. струнка с изоляцией для подвешивания контактного провода троллейбуса в продольно-цепной подвеске к несущему тросу (скользящая струна);
7. струнка с изоляцией для подвешивания контактного провода трамвая и троллейбуса к несущей поперечине в поперечно –цепной подвеске;
8. струнка скользящая без изоляции для подвешивания контактного провода трамвая к несущему тросу продольно- цепной подвески;
9. байдрат, предназначенный для усиления изношенного провода;
10. соединительный зажим, который служит для соединения двух концов провода и передачи через него электрической энергии;



11. узел подвеса несущего троса к кронштейну.

Рис. 1 - Схема монтажа контактной сети на лабораторном полигоне: А- простая поперечная подвеска; Б-поперечно –цепная подвеска; В- продольно-цепная подвеска; а – стеной крюк; б- хомут на опоре, в - кронштейн

#### ***4. Программа работы***

Работа выполняется в два этапа:

1. Изучить конструкцию контактной сети: контактные подвески, поддерживающие и фиксирующие устройства, опорные конструкции; нарисовать эскизы всех узлов контактной сети. Изучить элементы контактной подвески, материалы, контактные провода, тросы и проволоку; детали изоляторов, подвесную арматуру, вспомогательное оборудование контактной сети, оборудование, предназначенное для защиты и регулирования сети.

2. На полигоне выполнить последовательно монтаж простой поперечины, поперечно-цепной, продольно-цепной контактных подвесок, как показано на рис. 1.

Простая поперечина для простых контактных подвесок (схема А, рис. 1) монтируется в такой последовательности: узлы 1,4 (см. раздел 3) установить на крюке I в опоре. Установить узлы 2 и 3 на тросы, а затем соединить их соответственно с узлами 1 и 4 вручную, сделать вытяжку троса натяжной муфтой.

Поперечно-цепная подвеска (схема II, рис. 1) может быть получена дополнением простой поперечины поперечно- несущим тросом.

Для этого на опоре установить узлы 1, подобрать и оконцевать трос и установить его, дополнить поперечину узлом 3.

Продольно-цепная подвеска с двумя струнами в пролете (схема Б, рис. 1) выполняется после демонтажа нижнего троса и узлов 5 в предыдущей схеме. Между точками а -б следует установить два куска контактного провода посредством узлов 6 и состыковать их соединительным зажимом 8. В контактном проводе трамвая установить узел 7 ( байдрат). На кронштейнах закрепить узлы В, а в пролетах контактного провода трамвая и троллейбуса установить соответственно узлы 10 и 9. Сделать вытяжку провода и троса натяжными муфтами.

## **5. Содержание отчета**

В отчете по работе отразить следующие вопросы:

1. Дать краткое описание деталей, арматуры и оборудования контактной сети;
2. Привести схемы поддерживающих устройств, контактных подвесок;
3. Дать технико-экономическое сравнение типов контактных подвесок.

## **6. Контрольные вопросы**

1. Классификация конструкций контактной сети.
2. Типы поддерживающих и фиксирующих устройств, опорных конструкций.
3. Сортаменты контактных проводов, тросов, стальной проволоки.
4. Изоляция контактной сети и ее классификация, способы выполнения изоляции контактной сети. Типы изоляторов, их области применения.
5. Подвесная арматура контактной сети, соединение контактных проводов. Типы подвесов, их особенности.
6. Основные узлы (сборки деталей) контактной сети.
7. Фиксация контактных проводов.
8. Стенной крюк, его закрепление и назначение.
9. Назначение и устройство шумоглушителей.
10. Зажимы контактной сети, разновидности, устройство.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев А.С, Долаберидзе Г.П., Шевченко В.В. Контактные и кабельные сети трамваев и троллейбусов.- М.: Транспорт, 1979 - 30с.
2. Шевченко В.В., Арзамазцев Н.В., Бодрухина С.С. Электроснабжение наземного городского электрического транспорта.- М.: Транспорт, 1987 - 272с.
3. Афанасьев А.С. Контактные сети трамвая и троллейбуса..- М.: Транспорт, 1988 - 264с.
4. Шевченко В.В., Бодрухина С.С. Контактная сеть ГЗТ (учебное пособие) – М.: МЭИ, 1986 - 92с.
5. Котельников А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта. - М.: Транспорт, 1986 - 279с.

## Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «**Електропостачання електричного транспорту**» (для студентів 3 курсу усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка»).

(Рос. мовою)

Укладачі: Нем Валерій Костянтинович,  
Кисельов Михайло Іванович,  
Яхлаков Олександр Васильович,  
Лукашова Наталя Павлівна

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Коректор *З. І. Зайцева*

План 2007, поз. 468 М

---

Підп. до друку 29.01.2007 р.	Формат 60x84 1/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 3,5
Зам. №	Тираж 300 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 731 від 19.12.2001