

Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Кафедра Электроснабжение железнодорожного транспорта

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к выполнению контрольной работы по дисциплине**  
**«ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ»**  
**»**

для студентов специальности 23.05.05  
«Системы обеспечения движения поездов»  
заочной формы обучения

Составители: С.А. Окладов  
Е.В. Добрынин  
А.Г. Исайчева

Самара 2015

Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Электромагнитная совместимость и средства защиты» для студентов специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов» заочной формы обучения [Текст]/ составители: С.А. Окладов, Е.В. Добрынин, А.Г. Исайчева. – Самара.: СамГУПС, 2015. – 21 с.

Утверждена кафедрой Электроснабжение железнодорожного транспорта, протокол № 13 от 04.05.15 г.

Приведены задание и методические указания по выполнению контрольной работы для студентов по рассматриваемой дисциплине. В содержание работы входят основные расчеты по определению опасных влияний электрифицированной железной дороги переменного тока с напряжением 25 кВ в тяговой сети на смежную линию связи.

В работе допускаются некоторые упрощения по исходным данным и расчетам: рассматривается однопутный участок электрифицированной железной дороги, состоящий из одной фидерной зоны.

Составители: Окладов Сергей Анатольевич, ст. преподаватель каф. ЭСЖТ;  
Добрынин Евгений Викторович, доцент каф. ЭСЖТ;  
Исайчева Алевтина Геннадьевна, доцент каф. АТС;

Рецензенты: к.т.н., доцент СамГУПС Гуменников В.Б.;  
к.т.н., доцент СамГУПС Лабунский Л.С.

Редактор:  
Компьютерная верстка:

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2015 г. Формат 60х90 1/16.  
Бумага писчая. Печать оперативная. Усл. п.л. 1  
Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ №

## Введение

История развития электрифицированного железнодорожного транспорта тесно связана с решением проблем обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) тяговой сети, линий проводной связи и систем управления движением поездов (СУДП).

Электрические цепи и тракты линий связи всегда находятся под воздействием сторонних электромагнитных полей, создаваемых различными источниками. Вокруг проводов тяговой сети, передающих электрическую энергию переменного тока от подстанций до электроподвижного состава (ЭПС), возникает переменное электромагнитное поле, которое создает во всех смежных сооружениях, находящихся в этом поле (другие линии электропередачи, воздушные и кабельные линии связи, металлические трубопроводы и др.), электродвижущие силы (ЭДС) и, как следствие, токи. Эти ЭДС и токи могут производить опасные и мешающие влияния, то есть создавать условия работы электрического и другого оборудования, несовместимые с техническими требованиями и правилами техники безопасности [1, 2].

ЭМС в соответствии с определением Международной электротехнической комиссии – это способность электротехнического оборудования работать удовлетворительно в электромагнитной среде, не создавая недопустимого влияния на другое электротехническое оборудование и окружающую среду.

Учитывая современное состояние технических средств связи, СУДП и электроснабжения на железнодорожном транспорте специалист должен учитывать воздействие электромагнитных полей и предусматривать мероприятия по ограничению их уровня и защите приемо-передающей аппаратуры каналов связи. Проблема ЭМС всегда требует решение вышеуказанных задач, и только в этом случае становится возможной совместная эксплуатация существующих и вновь проектируемых электрифицированных железных дорог, промышленных установок, линий связи, автоматики и пр.

В результате выполнения контрольной работы по дисциплине «Электромагнитная совместимость и средства защиты» студент должен:

научиться контролировать соответствие технической документации разрабатываемых проектов техническим регламентам, санитарным нормам и правилам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-23);

научиться организации проектирования систем обеспечения движения поездов; освоить умение разрабатывать проекты систем, технологических процессов производства, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта систем обеспечения движения поездов, средств технологического оснащения производства; научиться разрабатывать конструкторскую документацию и нормативно-технические документы с использованием компьютерных технологий (ПК-24);

научиться применять современные научные методы исследования технических систем и технологических процессов, анализировать, интерпретировать и моделировать на основе существующих научных концепций отдельные явления и процессы с формулировкой аргументированных умозаключений и выводов (ПК-28).

## Задание

Для участка магистральной железной дороги, электрифицированной на переменном токе с напряжением 25 кВ в тяговой сети, выполнить работы:

1. Составить расчетную схему для определения влияния тяговой сети на линию связи.
2. Определить величины тока короткого замыкания в расчетных точках тяговой сети.
3. Определить величину эквивалентного влияющего тока для вынужденного режима работы системы электроснабжения.
4. Рассчитать опасные напряжения в линии связи при магнитном влиянии для режима короткого замыкания и вынужденного режима.
5. Рассчитать опасные напряжения при электрическом влиянии.
6. Определить опасное влияние на линию связи после замены воздушной линии на кабельную, при заданной ширине сближения.
7. Определить необходимое увеличение расстояния между линией связи и электрифицированной железной дорогой, при которой опасные влияния на линию связи не будут превышать нормированных значений.

## Исходные данные

1. Расчетная схема для определения влияния тяговой сети на линию связи приведена на рис. 1. Соответствующие расстояния ( $a$ ,  $l_T$ ,  $l_H$ ,  $l$ ) берутся из таблицы 1 в соответствии с предпоследней цифрой логина.
2. Число путей – 1, тип рельсов – Р65, подвеска – М90+МФ100.
3. Тип линии связи – воздушная, на железобетонных опорах. Тип кабеля при кабелировании линии связи – МКБАБ 7Х4Х 1,2+6Х0,9.
4. Мощность короткого замыкания на шинах тяговых подстанций  $S_{КЗ}$  и их мощность  $S_H$ , проводимость земли  $\sigma$  и число поездов  $m$ , одновременно находящихся на участке при вынужденном режиме, берутся из таблицы 2 в соответствии с последней цифрой логина.
5. Коэффициент экранирующего действия оболочки кабеля  $S_{об.к.} = 0,125$ .
6. Значения всех остальных величин, необходимых для выполнения контрольной работы, даны в тексте методических указаний.

Таблица 1

## Габариты расчётного участка

| Исходные данные | Предпоследняя цифра логина |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                 | 1                          | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
| $a_1$ , м       | 34                         | 38 | 24 | 27 | 27 | 26 | 38 | 11 | 12 | 32 |
| $a_2$ , м       | 19                         | 22 | 15 | 36 | 34 | 39 | 33 | 23 | 35 | 17 |
| $l_T$ , км      | 43                         | 42 | 50 | 36 | 37 | 44 | 35 | 46 | 49 | 43 |
| $l$ , км        | 49                         | 36 | 42 | 35 | 36 | 45 | 39 | 47 | 36 | 45 |
| $l_H$ , км      | 4                          | 7  | 3  | 10 | 5  | 0  | 8  | 6  | 9  | 10 |

$a_1, a_2$  – ширина сближения в начале и в конце линии связи.

Таблица 2

## Параметры системы тягового электроснабжения

| Исходные данные  | Последняя цифра логина |                   |                   |                   |                   |           |                   |                   |                   |                   |
|------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | 0                      | 1                 | 2                 | 3                 | 4                 | 5         | 6                 | 7                 | 8                 | 9                 |
| $S_{1КЗ}$ , МВ·А | 550                    | 750               | 550               | 300               | 650               | 400       | 800               | 300               | 500               | 550               |
| $S_{1Н}$ , МВ·А  | 40                     | 50                | 30                | 50                | 50                | 45        | 35                | 40                | 30                | 45                |
| $S_{2КЗ}$ , МВ·А | 650                    | 350               | 300               | 600               | 650               | 700       | 650               | 600               | 350               | 550               |
| $S_{2Н}$ , МВ·А  | 45                     | 50                | 40                | 45                | 35                | 30        | 30                | 35                | 45                | 30                |
| $m$              | 2                      | 4                 | 4                 | 4                 | 2                 | 3         | 2                 | 4                 | 2                 | 3                 |
| $\sigma$ , См/м  | $10^{-2}$              | $2 \cdot 10^{-2}$ | $4 \cdot 10^{-2}$ | $6 \cdot 10^{-2}$ | $8 \cdot 10^{-2}$ | $10^{-1}$ | $3 \cdot 10^{-2}$ | $9 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-2}$ | $6 \cdot 10^{-2}$ |
| $t_{откл}$ , с   | 0,5                    | 0,3               | 0,3               | 0,6               | 0,2               | 0,4       | 0,2               | 0,4               | 0,6               | 0,2               |

## Оформление контрольной работы

Все буквенные и условные графические обозначения на чертежах должны полностью соответствовать действующим ГОСТам.

Работы должна состоять из пояснительной записки с расчетами и следующих чертежей:

1. Расчетные схемы для определения влияния тяговой сети на линию связи.

## Схема участка тяговой сети и линии связи

Электрифицированные железные дороги переменного тока могут оказывать на линии проводной связи магнитное, электрическое и гальваническое влияние.

Магнитное влияние вызывается прохождением по тяговой сети переменного тока. Магнитному влиянию подвержены все проводные линии связи – как воздушные, так и кабельные.

Электрическое влияние обусловлено наличием в тяговой сети переменного напряжения. Ему подвержены воздушные линии и воздушные линии, выполненные кабелем без металлической оболочки.

Гальваническое влияние вызывается протеканием в земле тяговых токов. Гальваническому влиянию подвержены заземленные металлические оболочки кабелей и

цепи, использующие в качестве обратного провода землю. Его следует учитывать также при наличии лишь одного заземления в любой точке цепи.

Контрольная работа посвящена определению лишь магнитного и электрического влияний.

По степени и характеру воздействия различают влияния опасные и мешающие.

**Влияние называется опасным**, если возникающие в проводах линии связи напряжения и токи создают опасность для обслуживающего персонала и абонентов или могут повредить аппараты и приборы, включенные в эти цепи.

**Влияние называется мешающим**, когда в каналах связи возникают помехи, нарушающие их нормальное действие.

Влияние электрифицированной железной дороги на линию связи зависит от схемы питания и режима работы тяговой сети. При определении влияния на линию связи согласно «Правилам защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрических железных дорог переменного тока» различают три режима работы тяговой сети:

1. **Нормальный режим**, при котором все тяговые подстанции подключены согласно принятым схемам питания.

2. **Вынужденный режим**, при котором одна из тяговых подстанций временно отключена и ее нагрузку принимает одна или две смежные с ней подстанции.

3. **Режим короткого замыкания** — аварийный режим, при котором контактная сеть замыкается на землю.

Взаимное расположение электрифицированной железной дороги и линии связи, при котором в последней могут возникнуть опасные и мешающие напряжения, называют **сближением**.

Длиной сближения называют длину той части линии связи, которая находится в зоне влияния тяговой сети ( $l_3$  на рис. 1).

Шириной сближения является расстояние между осью дороги и проводами линии связи ( $a$  на рис. 1).

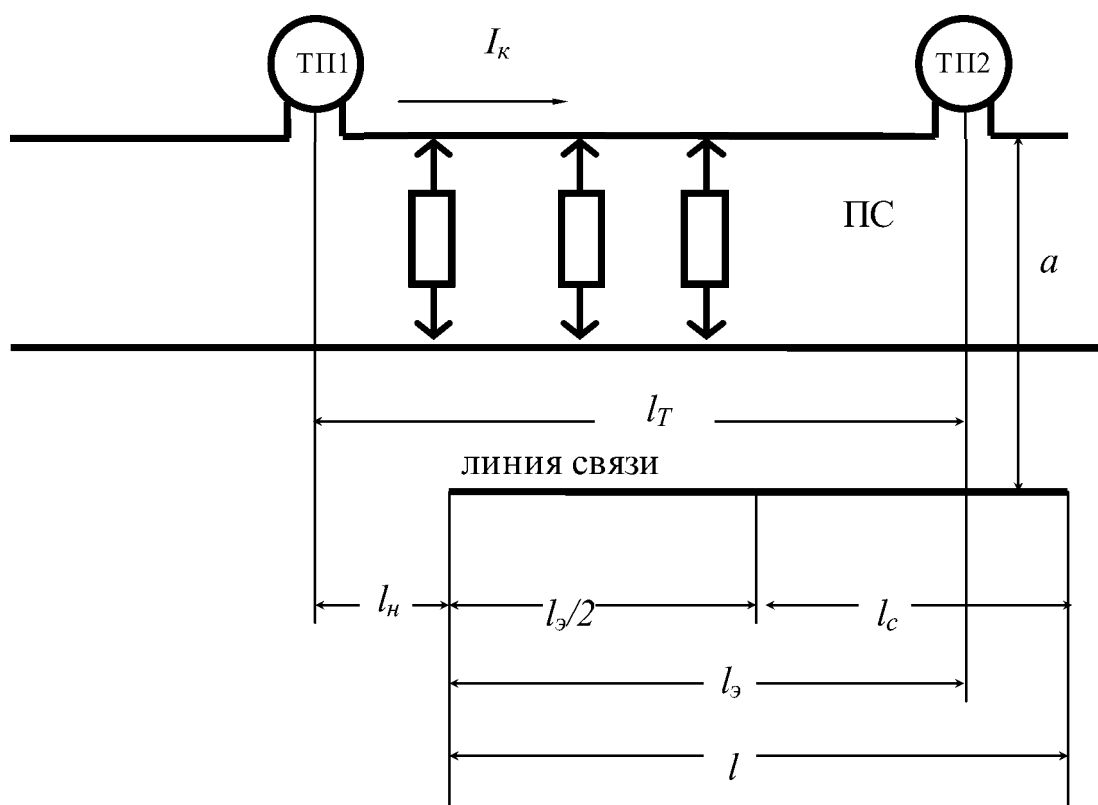


Рис. 1. Схема участка тяговой сети

$l_T$  – длина питания тяговой сети при вынужденном режиме работы (расстояние между тяговыми подстанциями);

$l_3$  – длина сближения линии связи с тяговой сетью;

$l_C$  – расстояние от конца расчетного участка цепи связи до середины соответствующего влияющего участка тяговой сети;

$l_H$  – расстояние от места расположения тяговой подстанции до начала участка, подверженного влиянию.

**Параллельным сближением** называют такое взаимное расположение линии связи и электрифицированной железной дороги, при котором ширина сближения по длине участка отличается от своего среднего значения не более чем на 10%. Если это условие не выполняется, то сближение называют **косым**.

Длина участка косого сближения равна длине проекции линии связи на ось полотна железной дороги. Ширина участка косого сближения является среднегеометрической величиной расстояний, измеренных в начале и в конце участка сближения.

### Расчет опасных напряжений при магнитном влиянии

Магнитное влияние возникает при протекании по проводам контактной сети переменного тока, создающего переменное магнитное поле в окружающем пространстве, в результате чего в проводе связи индуцируется продольная электродвижущая сила, пропорциональная коэффициенту взаимной индуктивности между проводами контактной сети и проводом линии связи и скорости изменения влияющего тока.

Контактная сеть электрической железной дороги является несимметричной двухпроводной цепью, в которой в качестве одного условного провода могут быть приняты провода контактной подвески, а в качестве обратного провода – рельсы и земля, причем первичные и вторичные параметры этих проводов не равны между собой. Практически контактная сеть может рассматриваться как однопроводная цепь.

В отличие от тяговой сети постоянного тока в тяговой сети переменного тока за счет наведенного напряжения в рельсовой цепи протекает значительный ток, составляющий примерно половину от тягового и уменьшающий наведенное в линии связи напряжение, т.е. рельсовая цепь оказывает существенное экранирующее действие на линию связи.

Чем хуже электрическая проводимость земли и меньше Частота тока, тем глубже его проникновение в землю и больше степень влияния тока в контактной сети на линию связи, т.е. с уменьшением проводимости земли и снижением частоты влияющего тока коэффициент взаимоиндуктивности между контактной сетью и линией связи увеличивается.

Расчет опасных напряжений, обусловленных магнитным влиянием, на одном из концов линии связи при условии заземления ее на противоположном конце производят для двух режимов работы тяговой сети: режима короткого замыкания и вынужденного режима.

Для режима короткого замыкания опасные напряжения при параллельном сближении вычисляют для воздушной линии по формуле:

$$U_M = \omega M I_{\kappa 3} I_{\varepsilon} \quad (1)$$

Для выявления наибольшей величины опасного напряжения следует определить токи короткого замыкания от каждой из смежных подстанций. Расчетными точками при определении токов короткого замыкания являются концы участка  $l_3$ .

Ток короткого замыкания в тяговой сети может быть определен по формуле

$$I_{\kappa 3} = \frac{U_H 10^3}{\sqrt{\left[ 2U_H^2 \cdot \left( \frac{1}{S_{\kappa 3}} + \frac{u_{\kappa} \%}{100 S_H} \right) 10^3 + x_0 l_{\kappa 3} \right]^2 + (r_0 \cdot l_{\kappa 3})^2}}, \quad (2)$$

где  $S_{\kappa 3}$  — мощность к. з. на стороне первичного напряжения тяговой подстанции, кВА;

$S_H$  — мощность тяговой подстанций, кВА;

$U_H$  — номинальное напряжений на шинах тяговой подстанции (27,5 кВ);

$u_{\kappa}$  — напряжение короткого замыкания тягового трансформатора, % (17%);

$x_0$  — реактивное сопротивление 1 км тяговой сети (0,45 Ом/км);

$r_0$  — то же, активное (0,2 Ом/км);

$l_{\kappa 3}$  — расстояние от подстанции до места короткого замыкания, км.

Для вынужденного режима работы тяговой сети опасное напряжение при параллельном сближении вычисляется по формуле:

$$U_M = K_{\phi} \omega M I_{\varepsilon \kappa 3} S l_{\varepsilon}. \quad (3)$$

Электрические параметры и коэффициенты, входящие, в формулы (1, 2, 3):

$\omega = 2\pi f$  — угловая частота влияющего тока, рад/с;

$M$  — модуль взаимной индуктивности между контактным проводом и проводом связи, Гн/км. Эту величину, находят по номограммам или графикам [3]. С достаточной для практики точностью эту величину можно определить по формуле:

$$M = 10^{-4} \cdot \ln \left( 1 + \frac{6 \cdot 10^3}{\alpha^2 \cdot \sigma \cdot f} \right), \quad (4)$$

где  $\alpha$  — ширина сближения между контактным проводом и проводом связи, м;

$\sigma$  — удельная проводимость земли, См/м;

$f$  — частота влияющего тока, Гц;

$K_{\phi}$  — коэффициент формы влияющего тока, который характеризует увеличение индуктированного напряжения вследствие несинусоидальности тока тяговой сети, обусловленной работой выпрямителей электроподвижного состава. При расчете влияний на провода воздушных линий следует принимать  $K_{\phi}=1,15$ ;

$I_{\varepsilon \kappa 3}$  — эквивалентный влияющий ток при вынужденном режиме работы тяговой сети. Под эквивалентным влияющим током подразумевается ток в тяговой сети, одинаковый по всей длине сближения, который индуктирует в проводе линии связи такое же опасное напряжение, какое возникает при действительном распределении токов в тяговой сети.

Величину эквивалентного тока на длине сближения при вынужденном режиме работы тяговой сети определяют из выражения:

$$I_{\varepsilon \kappa 3} = I_{\text{рез}} K_m, \quad (5)$$

где  $I_{рез}$  — результирующий ток расчетного плеча питания при вынужденном режиме работы тяговой сети.

Если принять, что при числе  $m$  поездов, одновременно находящихся на тяговом плече  $l_T$  они расположены на расстоянии  $l_T/m$  друг от друга, потребляют одинаковые токи, один из поездов находится в конце тягового плеча и падение напряжения до него равно максимально допустимому, то величина результирующего тока может быть определена по формуле:

$$I_{рез} = \frac{2m}{m+1} \frac{\Delta U_{к. макс}}{(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) l_T}, \quad (6)$$

где  $\Delta U_{к. макс}$  — максимальная потеря напряжения в тяговой сети между подстанцией и наиболее удаленным от нее электровозом. При  $l_T \geq 30$  км  $\Delta U_{к. макс} = 8500$  В;

$\cos \varphi$  — коэффициент мощности электровоза, который может быть принят равным 0,8;  $\sin \varphi = 0,6$

$K_m$  — коэффициент, характеризующий уменьшение эквивалентного тока по сравнению с нагрузочным результирующим. Его величина зависит от количества поездов, одновременно находящихся в пределах расчетного плеча, и взаимного расположения линии связи и влияющего тягового плеча:

$$K_m = \frac{1}{m} \left[ 1 + (m-1) \left( 1 - \frac{2l_H + l_3}{2l_T} \right) \right], \quad (7)$$

где  $m$  — количество поездов, одновременно находящихся в пределах плеча питания при вынужденном режиме;

$l, l_T, l_3, l_H, l_C$  — расчетные длины, км (рис. 1);

$S$  — результирующий коэффициент экранирующего действия. Для воздушной цепи он равен коэффициенту экранирующего действия рельсов  $S_p$ , который для однопутного участка при  $\sigma = 1 \times 10^{-3}$  См/м может быть принят равным 0,45 ÷ 0,5, при  $\sigma = 10 \times 10^{-3} \div 50 \times 10^{-3}$  См/м - 0,5 ÷ 0,58, при  $\sigma = 50 \times 10^{-3} \div 100 \times 10^{-3}$  См/м - 0,55 - 0,6.

### Расчет опасных напряжений при электрическом влиянии

Электрическое влияние на линию связи обусловлено наличием в контактной сети переменного напряжения, создающего в окружающее пространство переменное электрическое поле. Между влияющим проводом 1 контактной подвески (рис. 2) и проводов связи 2 имеется емкостная связь  $C_{1-2}$  и каждый из этих проводов имеет определенную емкость по отношению к земле  $C_{1-0}$  и  $C_{2-0}$ . вследствие чего возникают емкостные токи, в частности, ток  $i_{C1-2-0}$ . Это вызывает появление потенциала на проводе связи. Если пренебречь проводимостью изоляция, то величина наведенного в линии связи потенциала может быть определена из выражения:

$$U_{\varnothing} = U_{кC} \frac{C_{1-2}}{C_{2-0} + C_{1-2}}. \quad (8)$$

С уменьшением высоты подвеса провода связи возрастает емкость  $C_{2-0}$  и уменьшается наведенный в проводе потенциал. Электрическому влиянию подвержены только воздушные линии связи. Для изолированного провода, лежащего на земле, наведенный в нем потенциал равен нулю. Подземные кабельные линии и воздушные кабельные линии с металлической заземленной оболочкой от электрического влияния

защищены.

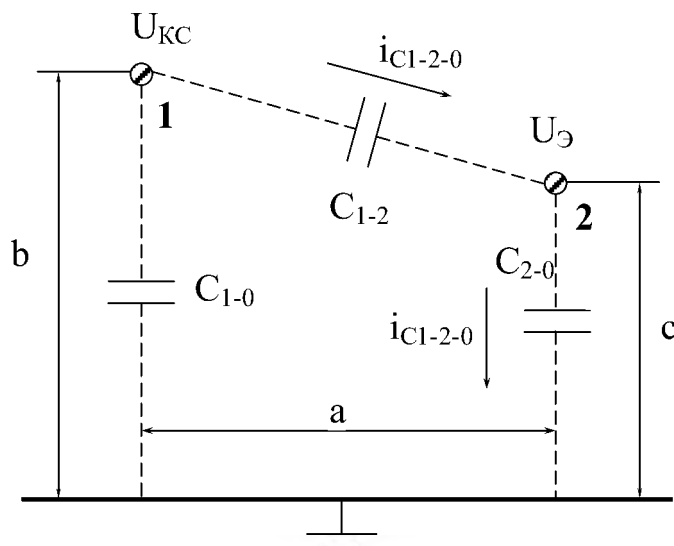


Рис.2. Схема электрического влияния контактной сети на линию связи

Расчет опасных напряжений, обусловленных электрическим влиянием, производят при вынужденном режиме работы тяговой сети, когда участок электрической железной дороги, питаемый от одной фазы, имеет наибольшую длину.

В расчетных формулах вместо емкостей фигурируют расстояния между проводами и высота их подвеса. Величину опасного напряжения при электрическом влиянии определяют по формуле

$$U_{\text{Э}} = 27,5 \cdot 10^3 K \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2} \frac{l_{\text{Э}}}{l}. \quad (9)$$

где  $K$  — коэффициент, учитывающий количество влияющих проводов, расположенных на опорах тяговой сети. При выполнении, контрольной работы этот коэффициент может быть принят равным 0,5;

$l$  и  $l_{\text{Э}}$  — расчетные длины (рис. 1);

$a$ ,  $b$  и  $c$  — расстояния, характеризующие расположение проводов контактной сети и линии связи относительно земли и друг друга. Расстояние  $a$  — задано в таблице 1. Величины  $b$  и  $c$  при выполнении контрольной работы следует принять  $b=7$  м,  $c=6$  м.

Провода воздушной линий связи, изолированные от земли подвержены как электрическому, так и магнитному влиянию. Поэтому для сравнения с нормами следует определить также и результирующее напряжение по отношению к земле, которое определяется следующим образом:

$$U_{\text{МЭ}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{М}} l_{\text{С}}}{l}\right)^2 + U_{\text{Э}}^2}. \quad (10)$$

### Нормы опасных напряжений

Допускаемые опасные напряжения для режима короткого замыкания и вынужденного режима имеют различные значения. Согласно [3] для режима короткого

замыкания допустимые напряжения зависят от времени отключения короткого замыкания и составляют для воздушной линии с железобетонными опорами:

при  $t_{\text{откл}}=0,1$  с  $U_{\text{доп}}=500$  В;  
при  $t_{\text{откл}}=0,15$  с  $U_{\text{доп}}=450$  В;  
при  $t_{\text{откл}}=0,30$  с  $U_{\text{доп}}=310$  В;  
при  $t_{\text{откл}}=0,60$  с  $U_{\text{доп}}=160$  В.

Для воздушной линии с железобетонными опорами при вынужденном режиме работы допустимое напряжение составляет 36 В.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ «54938-2012» Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрических железных дорог постоянного и переменного тока. - М.: «Стандартинформ», 2012.
2. ГОСТ Р 809. Электромагнитная совместимость микроэлектронных устройств СЦБ. Утверждена совещанием V Комиссии 12-16 ноября 2001 г. Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД).
3. Бадер, М.П. Электромагнитная совместимость / М.П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002.
4. Бессонов, В.А. Электромагнитная совместимость / В.А. Бессонов // учебное пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 2000.
5. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л. А. Бессонов. рек. Мин. образ. РФ. – 10-е изд. – М. : Гардарики, 2002.