

05.26.01

K172

Контрольный
экземпляр

На правах рукописи

ЖеАГ

Калинина Алиса Сергеевна

**ОБОСНОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ПО ТОКУ УТЕЧКИ**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск

2008

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» на кафедре «Безопасность жизнедеятельности».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Сидоров А.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кузнецов К.Б.,
кандидат технических наук, доцент
Коржов А.В.

Ведущее предприятие – государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Уральский государственный технический
университет (УГТУ-УПИ)


Защита состоится 29 октября 2008 г., в 12 часов, в ауд. 1001 на заседании диссертационного совета Д 212.298.05 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 2008 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, гл. корпус, Ученый совет ЮУрГУ, тел./факс: (351) 267-94-49, e-mail: alisa@bgd.susu.ac.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Ю.С.Усынин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Межсистемные линии электропередачи (330...1150 кВ) являются основным связующим звеном отдельных энергосистем и служат устройством для передачи электроэнергии на большие расстояния. Их протяженность составляет 120 тысяч км с 796 подстанциями общей трансформаторной мощностью более 310 тысяч МВА. Персонал, обслуживающий такие электрические сети, длительно и регулярно подвержен негативному влиянию электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ). В настоящее время задача обеспечения безопасности персонала от указанного воздействия не решена должным образом. Общеизвестно, что основным фактором, определяющим отрицательное действие ЭП ПЧ на живой организм, является обусловленный этим полем ток, протекающий через тело человека. Последними исследованиями в этой области обосновано, что для полного учета негативного влияния ЭП ПЧ на организм человека в качестве критерия безопасности персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения, необходимо использовать не напряженность неискаженного электрического поля, а ток, протекающий через тело человека. Но практическая реализация этой идеи сопряжена с определенными трудностями, которые на данный момент не разрешены. Поэтому необходимо проведение научных исследований, направленных на создание эффективной системы контроля токов утечки через тело человека.

Актуальность работы подтверждается также перечнем приоритетных направлений развития науки, технологий и техники на период до 2010 года; итогами Российских научно-технических конференций по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности, проводимых в Санкт-Петербурге.

Работа трижды поддержана грантом по программе развития научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых в высших учебных заведениях Челябинской области, осуществляемой Министерством образования РФ и Правительством Челябинской области.

Цель работы – улучшение условий труда работников, обслуживающих электроустановки сверхвысокого напряжения (ЭУ СВН), путем контроля токов утечки через тело человека.

Идея работы – обосновать место размещения датчика контроля токов утечки, обеспечивающее полное их измерение.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Величина тока, протекающего через тело человека, не зависит от емкости «тело человека – земля», а зависит от емкостей «тело человека – токоведущие части», «тело человека – заземленные конструкции».

2. Искажение электрического поля при попадании в него тела человека зависит от величины напряженности данного поля; при этом степень искажения тем больше, чем меньше напряженность электрического поля.

3. Для обеспечения контроля тока утечки через тело человека датчик тока необходимо устанавливать на плечевом поясе человека.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается аргументированностью исходных посылок, вытекающих из основ электротехники, удовлетворительным совпадением результатов теоретических исследований токов, протекающих через тело человека, с результатами экспериментов, выполненных в реальных условиях.

Значение работы. Научное значение работы заключается в том, что – получены аналитические зависимости для расчета тока утечки через тело человека при наличии и отсутствии гальванической связи между телом человека и землей, а также при наличии емкостной связи с заземленной металлоконструкцией;

– установлено, что величина тока, протекающего через тело человека, определяется только напряженностью электрического поля на поверхности тела человека и не зависит от формы этой поверхности, а определяется лишь величиной ее площади;

– на основе теоретических и экспериментальных исследований обосновано место установки и размещения датчика контроля токов утечки.

Практическое значение работы заключается в следующем:

– предложена и обоснована методика измерения тока, протекающего через тело человека, занятого обслуживанием ЭУ СВН, при нахождении его вблизи и на удалении от заземленных металлоконструкций, а также при наличии емкостной связи тела человека с землей;

– предложен коэффициент захвата для учета искажения электрического поля, обусловленного телом человека; установлена его зависимость от напряженности электрического поля;

– разработана структурная схема прибора контроля токов утечки через тело человека, находящегося вблизи ЭУ СВН.

Реализация выводов и рекомендаций работы.

Научные положения, выводы и рекомендации переданы в ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» и используются Южно-Уральским государственным университетом в лекционном курсе «Электромагнитные излучения» при обучении студентов специальности 280101 («Безопасность жизнедеятельности в техносфере»), а также при обучении студентов электротехнических специальностей в курсе «Безопасность жизнедеятельности».

Апробация работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы были доложены, рассмотрены и одобрены:

– на Второй и Третьей Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» (Челябинск, 2003, 2006);

– на II-м Международном студенческом форуме «Образование. Наука. Производство» (Белгород, 2004);

- на II-й региональной научно-практической конференции «Экология. Риск. Безопасность» (Курган, 2005);
- на девятой Российской научно-технической конференцией по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности (Санкт-Петербург, 2006);
- на Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика в современном мире» (Чита, 2006);
- на двух Всероссийских ежегодных научно-технических конференциях «Наука – Производство – Технология – Экология» (ВятГТУ, Киров 2006, 2007);
- на Всероссийской научно-технической конференции «Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий» (Уфа, 2007);
- на ежегодных научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета (2000 – 2007 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, 2 из них в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения, изложенных на 103 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков, 14 таблиц, список используемой литературы из 111 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, основная идея и научные положения, выносимые на защиту, отмечена научная значимость и практическая ценность работы.

Большой вклад в изучение воздействия электромагнитного поля промышленной частоты (ЭМП ПЧ) на биологические объекты, в том числе и на организм человека, разработку нормативов, а также способов и средств защиты от воздействия ЭМП ПЧ внесен такими учёными, как Долин П.А., Александров Г.Н., Асанова Т.П., Габович Р.Д., Григорьев Ю.Г., Дьяков А.Ф., Козьрин И.П., Кривова Т.И., Лисочкина Т.В., Кузнецов К.Б., Никитина В.Н., Сазонова Т.Е., Сидоров А.И., и другими. Однако до настоящего времени проблема защиты персонала, обслуживающего электроустановки сверхвысокого напряжения, не решена в полном объеме.

При эксплуатации электроустановок сверхвысокого напряжения на человека воздействует переменное электрическое поле (ПеЭП), под действием которого через тело человека протекает электрический ток. Величина этого тока определяется плотностью тока электрического смещения, возникающего в системе «токоведущие части – воздух – человек – земля» под действием переменного напряжения электроустановки (50 Гц).

Принято считать, что величина тока, протекающего через тело человека, напрямую связана с напряженностью электрического поля в месте его

нахождения. Последними исследованиями в этой области обосновано, что на величину тока утечки существенное влияние оказывают и антропометрические параметры самого человека (рост, охват плечевого пояса и его масса).

Кроме того, нельзя не учитывать размещение нескольких десятков единиц электрооборудования (трансформаторов тока и напряжения, линейных разъединителей, воздушных или элегазовых выключателей, шинных опоры и др.) на территории открытого распределительного устройства, а также особенностей рельефа местности.

Выше перечисленные факторы можно учесть путем численного расчета тока утечки через тело человека.

Для определения тока утечки аналитическим путем были приняты следующие допущения:

1. Электрическое поле в зоне действия электроустановки сверхвысокого напряжения до попадания в него человека считаем однородным.

2. При попадании человека в электрическое поле вектор плотности тока электрического смещения считаем направленным строго перпендикулярно к поверхности тела человека.

3. Тело человека представляем в виде цилиндра равным ему по высоте и объему радиусом r_0 и высотой h . Высоту цилиндра выберем эквивалентной высоте человека среднего роста $h = 1,8$ м, а радиус, исходя из объема тела среднего человека $r_0 = 0,25$ м.

4. Материал цилиндра принимаем однородным с электропроводностью, равной средней электропроводности тела человека.

Известно, что величина плотности тока электрического смещения $\delta_{см}$ при синусоидальном законе изменения напряженности электрического поля определяется выражением

$$\delta_{см} = \omega \epsilon_0 E, \quad (1)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Ф/м;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота, рад/с;

E – напряженность электрического поля неискаженного телом человека на высоте 1,8 м, кВ/м.

Учитывая первой и второе принятые допущения, ток утечки при гальванической связи человека с землей (обутого в токопроводящую обувь) будет определяться величиной плотности тока электрического смещения в занимаемом человеком пространстве, умноженном на площадь поверхности тела человека

$$I_{ут} = \delta_{см} S_{чел}, \quad (2)$$

где $S_{чел}$ – площадь поверхности тела человека, м².

Как видно из полученных выражений величина плотности тока электрического смещения в окружающем тело человека пространстве напрямую зависит от напряженности электрического поля в месте нахождения

человека. Поэтому дальнейший расчет тока, протекающего через тело человека, сводится к расчету напряженности электрического поля в соответствующей точке.

Рассчитаем напряженность электрического поля, создаваемого трехфазной воздушной линией электропередачи с горизонтальным расположением проводов.

Примем, что линия не имеет грозозащитных тросов. При этом условия вычисленные значения напряженности поля будут несколько завышенными по сравнению с фактическими значениями, что в итоге ужесточает требования безопасности и поэтому допустимо.

Расчетная схема линии представлена на рис. 1. Электрический заряд линейного провода распределен вдоль провода с одинаковой линейной плотностью τ . На рис. 1 $r_{\text{ЭК}}$ – эквивалентный радиус расщепленной фазы, H – высота размещения провода над землей, R_A, R_B, R_C и r_A, r_B, r_C – кратчайшие расстояния от точки с координатами (x, h) до проводов (фаз) А, В, С и их зеркальных отображений, соответственно.

На рис. 2 представлен график зависимости напряженности электрического поля $E(x, h)$ для человека ростом $h = 1,8$ м, высоты $H = 7,9$ м в месте максимального провеса провода над землей и расстояния между фазами $d = 6,0$ м (см. рис. 1).

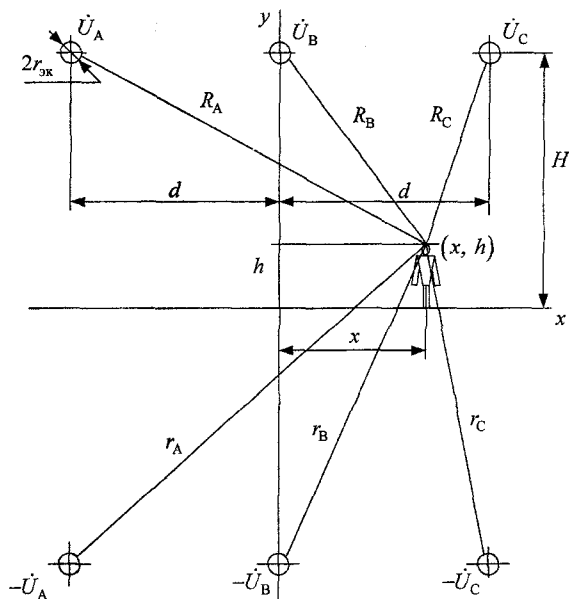


Рис. 1. Расчетная схема трехфазной линии электропередачи для вычисления напряженности электрического поля в точке с координатами (x, h)

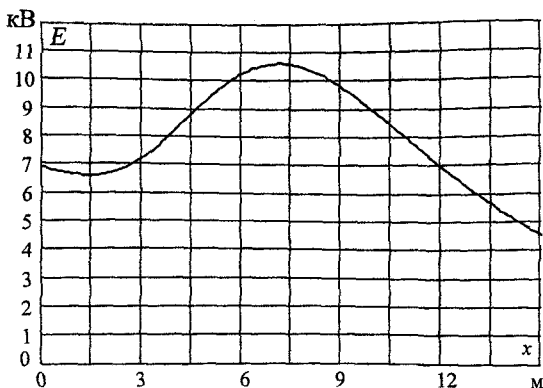


Рис. 2. Расчетная зависимость напряженности электрического поля под трехфазной линией электропередачи от расстояния x

Следовательно, величина тока, протекающего через тело человека, находящегося под трехфазной линией электропередачи в точке с координатами x, h определяется выражением

$$I(x, h) = \delta(x, h) S_{\text{чел}} = \omega \epsilon_0 E(x, h) S_{\text{чел}}. \quad (3)$$

Учитывая третье и четвертое принятые допущения, была построена зависимость тока утечки через тело человека на землю для рассмотренной выше ВЛ (рис. 3).

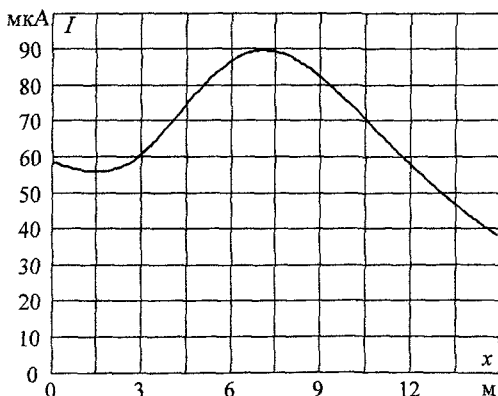


Рис. 3. Зависимость тока утечки через тело человека на землю под трехфазной линией электропередачи от расстояния x

По полученным данным можно сделать вывод, что ток утечки, протекающий через тело человека на землю, определяется только напряженностью электрического поля на поверхности тела человека и не

зависит от формы поверхности, а определяется лишь величиной площади этой поверхности.

Полученные значения тока утечки найдены при условии гальванической связи человека с землей и в удалении от металлоконструкций. В производственных условиях подобная ситуация возможна крайне редко. Персонал, занятый обслуживанием ЭУ СВН, обут в специальную обувь и имеет емкостную связь с землей. Кроме того, изменение величины тока, протекающего через тело человека, по сравнению с «идеализированной ситуацией», происходит за счет наличия на территории ОРУ заземленных конструкций, в результате чего появляются емкостные связи человек-металлоконструкция. Вследствие этого при расчете тока утечки необходимо учитывать емкостную связь человека с землей и металлоконструкциями.

Поскольку расчет емкости тела человека относительно земли и относительно заземленной конструкции вызывает определенные трудности, тело человека заменим цилиндрической поверхностью высотой $l = 1,8$ м и радиусом $r_0 = 0,25$ м, а заземленную конструкцию – однородной проводящей поверхностью.

Для схемы (рис. 4) определена емкость боковой поверхности цилиндрической фигуры длиной l , радиуса r_0 , относительно плоскости земли. Фигура расположена на расстоянии d от земли, $d \neq 0$ (рис. 5).

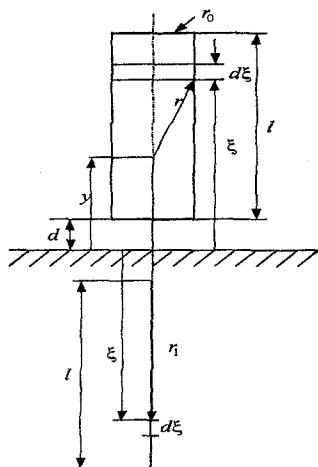


Рис. 4. Расчетная схема для вычисления емкости цилиндрической фигуры относительно земли

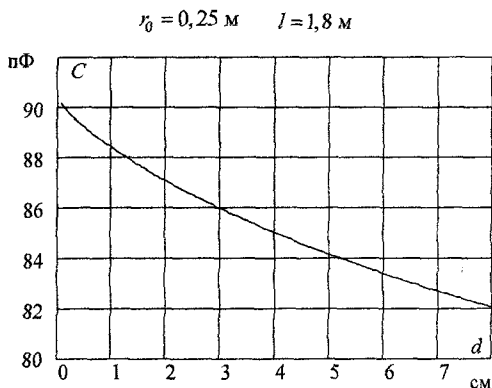


Рис. 5. Зависимость емкости боковой поверхности цилиндра относительно земли от расстояния до земли d

Чтобы учесть возникающую емкостную связь с металлоконструкцией, была определена емкость боковой поверхности цилиндрической фигуры длиной l , радиусом r_0 , относительно плоскости земли (рис. 6).

Зависимость емкости боковой поверхности цилиндрической фигуры длиной $l = 1,8$ м, радиусом $r_0 = 0,25$ м относительно плоскости земли при расстояниях до заземленной проводящей поверхности равными $a = 1$ м, $1,5$ м и 2 м соответственно, представлена на рис. 7.

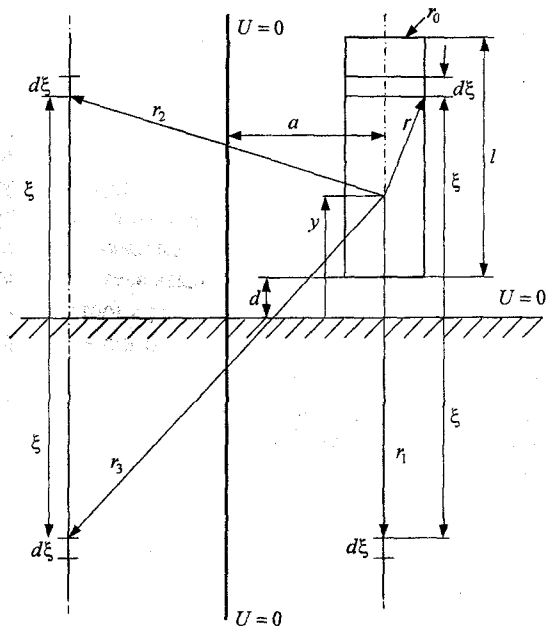


Рис. 6. Расчетная схема для вычисления емкости цилиндрической фигуры относительно земли с учетом заземленной проводящей поверхности

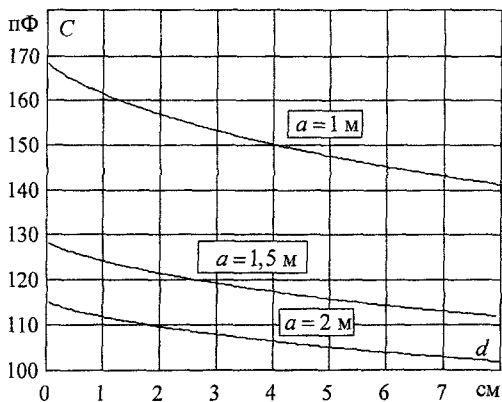


Рис. 7. Зависимости емкости боковой поверхности цилиндра относительно земли от расстояния до земли d для различных расстояний до проводящей поверхности a

Как видно из рис. 3, максимальное значение тока, протекающего через тело человека, находящегося под трехфазной линией электропередачи, составляет 90 мкА. На примере данной величины тока утечки были вычислены составляющие величины тока при наличии емкостной связи цилиндрической поверхности с землей и заземленной металлоконструкцией (рис. 8). Принимая, что полное значение емкостного тока утечки остается неизменным.

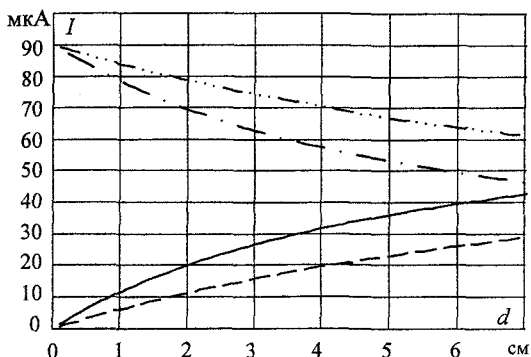


Рис. 8. Величина тока утечки при емкостной связи цилиндрической поверхности относительно земли и заземленной конструкции от расстояния d :

- — составляющая тока утечки, протекающего через дно цилиндра при отсутствии заземленной конструкции;
- .-.- составляющая тока утечки, протекающего через дно цилиндра с учетом заземленной конструкции;
- — — составляющая тока утечки, протекающего через боковую поверхность цилиндра с учетом заземленной конструкции;
- составляющая тока утечки, протекающего через боковую поверхность цилиндра при отсутствии заземленной конструкции

Из рис. 8 видно, полное значение тока утечки может протекать через цилиндр при отсутствии емкостных связей цилиндра с землей и заземленными конструкциями.

При возникновении хотя бы одной из емкостей «цилиндр – металлоконструкция», «цилиндр – земля», величина полного тока утечки будет распределяться на две составляющие. Первая составляющая тока утечки протекает через дно цилиндра, вторая – через боковую поверхность цилиндра.

В случае значительного удаления или отсутствия заземленной конструкции, в величину полного значения тока основной вклад вносит, первая составляющая – ток будет стекать через дно цилиндра. Вторая составляющая тока утечки, протекающая через боковую поверхность, появляется при возникновении емкостной связи цилиндра с землей, т.е. при увеличении расстояния d .

Если в непосредственной близости имеется заземленная конструкция, то величина полного тока утечки также распределится на две составляющие – через дно и боковую поверхность. Но в этом случае, с увеличением расстояния цилиндра до

земли, вклад составляющей тока, протекающего через боковую поверхность, увеличивается.

Для подтверждения полученных данных были проведены экспериментальные исследования напряженности электрического поля и токов утечки на открытом распределительном устройстве 500 кВ ПС «Шагол» Южно-Уральского предприятия магистральных электрических сетей (на рис. 9 представлены результаты экспериментальных исследований напряженности электрического поля).

Измерения тока утечки осуществлялись экранированным микроамперметром переменного тока, напряженность неискаженного электрического поля измерялась по СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» на высоте 1,8 м от поверхности земли прибором ПЗ-50. Для исключения грубой погрешности (промаха), все измерения повторялись не менее трех раз, далее рассчитывалась среднеарифметическая величина интересующего фактора.

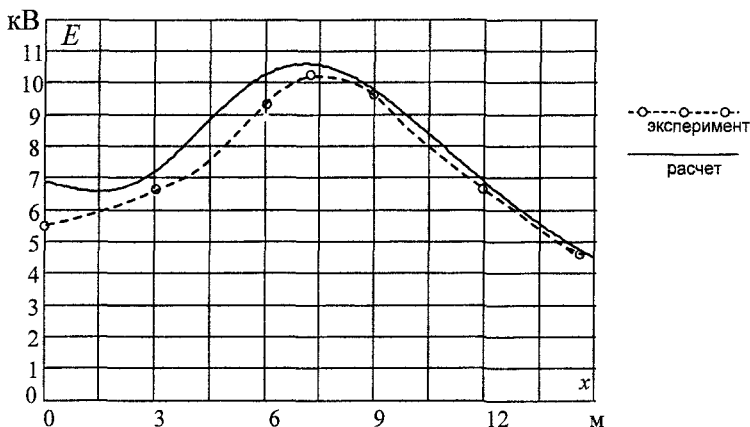


Рис. 9. Зависимость напряженности электрического поля под трехфазной линией электропередачи с указанием экспериментальных значений от различных расстояний x ($x=0$ – точка, находящаяся под средней фазой)

Была предложена и обоснована методика измерения тока, протекающего через тело человека, занятого обслуживанием ЭУ СВН, при нахождении его вблизи и на удалении от заземленных конструкций, а также при наличии емкостной связи тела человека с землей.

Методика исследования заключалась в следующем:

1. Для установления влияния антропометрических характеристик тела человека при различной напряженности электрического поля на величину тока утечки были отобраны три добровольца с различным телосложением (ростом и массой).

2. На территории открытого распреустройства 500 кВ выбирались точки с напряженностью электрического поля 5, 10, 15, 20 кВ/м, находящиеся в удалении от металлоконструкций.

3. Помещая добровольцев в выбранные точки пространства, проводились измерения тока утечки через его тело.

Человек становился на фольгированный текстолит голыми ногами, при этом снимались показания микроамперметра.

4. Для установления влияния на величину тока утечки наличия заземленных металлоконструкций на территории открытого распреустройства выбирались точки с напряженностью электрического поля 10 кВ/м, как вблизи, так и на удалении от заземленных металлоконструкций.

5. Далее измерительной рулеткой фиксировались расстояния от заземленных конструкций до выбранных точек пространства с напряженностью ЭП 10 кВ/м.

6. Помещая человека в выбранные точки пространства, проводились измерения тока утечки через его тело.

7. С целью выявления влияния на ток утечки емкости «тело человека – земля» между ногами человека и землей помещалась диэлектрическая пластина заданной площади и толщины после чего измерялся ток утечки.

В табл. 1 приведены значения тока, протекающего через тело человека, полученные экспериментальным путем для трех добровольцев с различными антропометрическими данными.

Таблица 1

Величина тока, протекающего через тело человека, полученная экспериментальным путем

Напряженность ЭП, кВ/м	Величина тока утечки, мкА			
	Антропометрические параметры добровольцев: рост, длина охвата плечевого пояса, см, масса, кг			
	№1 175; 110; 76	№2 176; 112; 78	№3 179; 117; 102	Среднеарифметическое значение
5	45	57,5	68,5	57
10	105	110	119	111,33
15	130	130	157,5	139,17
20	155	155	171	160,33

Анализируя полученные ранее расчетным путем данные тока утечки через тело человека на землю под трехфазной линией электропередачи для напряженности 10 кВ/м (см. рис. 3), видим, что величина тока утечки составляет 84 мкА. Тогда, как среднеарифметическое значение тока утечки,

установленное из экспериментальных исследований для трех добровольцев, при той же напряженности ЭП составляет 111,33 мкА.

Такое расхождение (порядка 30%) между экспериментальными и аналитическими данными связано с тем, что при попадании человека в зону влияния ЭУ СВН происходит искажение электрического поля промышленной частоты. Степень данного искажения зависит от величины напряженности электрического поля в месте нахождения человека и от его индивидуальных антропометрических характеристик (площади поверхности тела данного человека).

Кроме того, при расчете тока утечки (рис. 3), в качестве поверхности тела человека использовался цилиндр, радиусом $r_0 = 0,25$ м и высотой $h = 1,8$ м, что также объективно не отражает поверхность тела реального человека.

Следовательно, для расчета тока утечки, протекающего через тело человека, в формулу (2) или (3) необходимо ввести поправочный коэффициент, учитывающий нахождение человека в электрическом поле, а площадь поверхности тела человека, определять при помощи известных из медицинских исследований математических формул.

$$I_{ут} = k_{пр} \delta_{см} S_{чел}, \quad (4)$$

$$I(x, h) = k_{пр} \delta(x, h) S_{чел} = k_{пр} \omega \epsilon_0 E S_{чел}, \quad (5)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Ф/м;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота, рад/с;

E – напряженность электрического поля неискаженного телом человека, измеренная на высоте 1,8 м, кВ/м.

$S_{чел} = \sqrt{\frac{W \cdot H}{3600}}$ – площадь поверхности тела человека, м².

H – длина (рост) тела человека, см.

W – масса тела человека, кг.

$k_{пр}$ – поправочный коэффициент;

Зависимость коэффициента захвата от напряженности электрического поля приведена на рис. 10, а также выведено квадратичное уравнение, описывающее полученную зависимость

$$k_{зах} = 5,753128 - 0,00471E^2. \quad (6)$$

Анализируя полученную зависимость можно сделать вывод, что, попадая в электрическое поле при малых напряженностях, человек вносит большее искажение в распределение силовых линий, чем при попадании в зоны с большой напряженностью. Соответственно, степень искажения электрического поля человеком тем меньше, чем напряженность электрического поля окружающего его пространства больше.

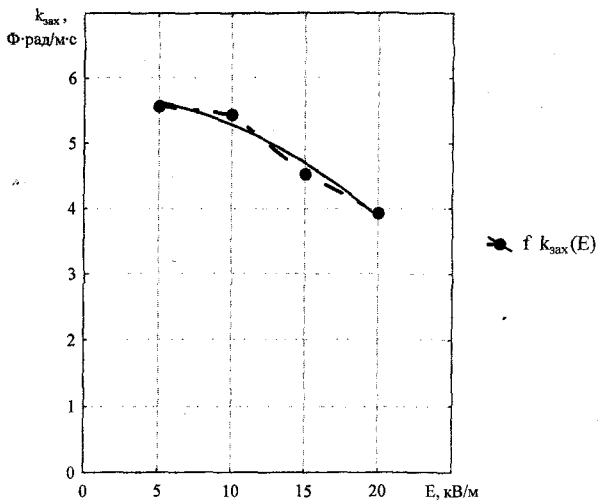


Рис. 10. Зависимость коэффициент захвата от напряженности электрического поля

Результаты расчета токов, протекающих через тела добровольцев, с учетом коэффициента захвата приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величина тока, протекающего через тело человека, с учетом коэффициента захвата

Напряженность ЭП, кВ/м	Величина тока утечки, мкА			
	Антропометрические параметры добровольцев: рост, длина охвата плечевого пояса, см, масса, кг			
	№1 176; 110; 76	№2 178; 112; 78	№3 179; 117; 102	Среднеарифметическое значение
5	53,62	54,32	63,05	56,99
10	104,69	106,05	123,10	111,28
15	130,60	132,30	153,57	138,82
20	150,83	152,80	177,37	160,33

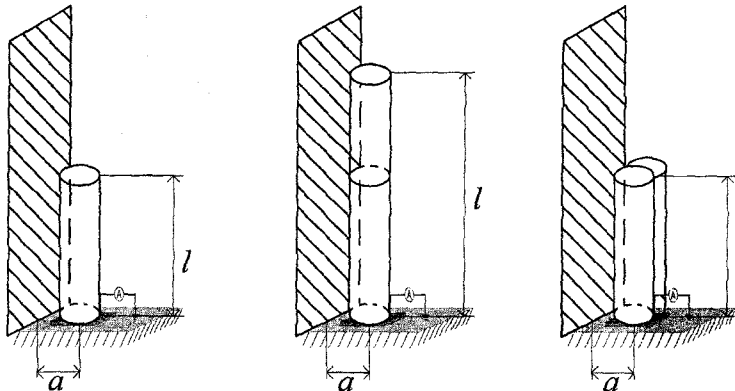
Для установления влияния возникающей емкостной связи с заземленной конструкцией, были проведены экспериментальные исследования токов утечки на открытом распределительном устройстве 500 кВ ПС «Челябинская», по ранее упомянутой методике. Измерения проводились в точках с напряженностью электрического поля 10 кВ/м на различных расстояниях до металлоконструкций (табл. 3).

Экспериментальные значения токов утечки в зависимости от расстояния до металлоконструкции при напряженности электрического поля $E=10$ кВ/м

Расстояние до земли d , см	Величина тока утечки, мкА				
	Расстояние до металлоконструкции a , м				
	∞	1,5	2,5	4,0	4,4
Голыми ногами $d=0$ см	112	95	100	109	111
Текстолитовая пластина $d=0,8$ см	99	90	94	95	99

Ввиду того, что на территории ОРУ находятся различные металлоконструкции (разъединители, шинные опоры, выключатель и т. д.), а тело человека представляет сложную геометрическую фигуру, численный расчет тока утечки, протекающего через тело человека, с учетом нахождения его вблизи определенной металлоконструкции достаточно проблематичен. Оценить и сопоставить полученные результаты возможно проведением экспериментальных исследований токов утечки на физической модели.

С этой целью была создана измерительная модель, состоящая из двух токопроводящих цилиндров высотой $l=0,6$ м и диаметром 0,12 м, и четырех токопроводящих оснований диаметром 0,12 м. В качестве заземленной металлоконструкции использовался медный лист, установленный на земле на расстоянии a до цилиндров, площадью много большей площади цилиндров (рис. 11).



а) один цилиндр
«малой» высоты

б) один цилиндр
«большой» высоты

в) два цилиндра
«малой» высоты

Рис. 11. Схема измерения тока утечки

Полученные экспериментальные данные на физической модели позволяют исследовать зависимости распределения величины тока утечки от емкостей «цилиндр – земля» и «цилиндр – металлоконструкция».

Результаты измерений тока утечки для одного токопроводящего цилиндра «большой» высоты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Экспериментальные значения тока утечки в зависимости от расстояния до металлоконструкции при напряженности электрического поля $E=15$ кВ/м

1 цилиндр «большой» высоты, $l=1,0$ м	Величина тока утечки, мкА					
	Расстояние до заземленной металлоконструкции a , м					
	∞	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Количество пластин						
Без пластин	35	27	29	30	32	34
Две пластины	30	25	27	28	30	30

При напряженности электрического поля 15 кВ/м через описанный выше токопроводящий цилиндр протекает ток, равный 35 мкА. При установке данного цилиндра на две одноиметровые изолирующие пластины, ток утечки через емкость «цилиндр-земля» составляет 30 мкА, что подтверждает перераспределение полного тока, протекающего через цилиндр, на две составляющие. Первая составляющая тока утечки протекает через дно цилиндра, вторая – через его боковую поверхность.

По известным на сегодняшний день методам измерения токов утечки можно оценить только первую составляющую (т.е. 30 мкА), следовательно, 5 мкА тока утечки через цилиндр стекает с его боковой поверхности, в результате чего остается неучетной.

Создавая емкости «цилиндр – металлоконструкция» установили, что при расстоянии между цилиндром и металлоконструкцией равным 0,2 м, значение тока, протекающего через цилиндр, вновь уменьшилось и составило 27 мкА.

В результате чего можно говорить, что на величину тока утечки оказывает влияние присутствие заземленной металлоконструкции.

Для сопоставления результатов эксперимента по ранее выведенным аналитическим зависимостям, были найдены токи утечки для аналогичных условий.

На рис. 12–14 представлены результаты расчета составляющих величины тока утечки при наличии емкостной связи цилиндрической поверхности с землей и заземленной конструкцией.

На рис. 12–14 составляющие величины полного тока утечки обозначены следующим образом:

- ··· — составляющая тока утечки, протекающего через дно цилиндра при отсутствии заземленной конструкции;
- ···· — составляющая тока утечки, протекающего через дно цилиндра при наличии заземленной конструкции;
- составляющая тока утечки, протекающего через боковую поверхность цилиндра при наличии заземленной конструкции;
- — — составляющая тока утечки, протекающего через боковую поверхность цилиндра при отсутствии заземленной конструкции.
- величина полного тока утечки.

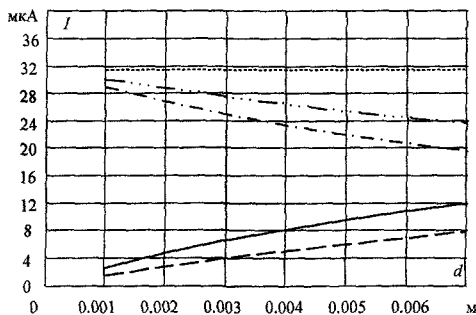


Рис. 12. Величина тока утечки при емкостной связи токопроводящего цилиндра относительно земли и заземленной металлоконструкции от d при расстоянии $a=0,2$ м

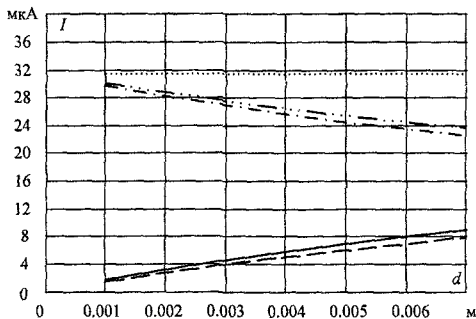


Рис. 13. Величина тока утечки при емкостной связи токопроводящего цилиндра относительно земли и заземленной металлоконструкции от d при расстоянии $a=0,4$ м

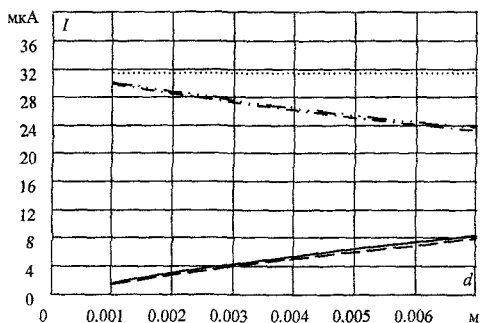


Рис. 14. Величина тока утечки при емкостной связи токопроводящего цилиндра относительно земли и заземленной металлоконструкции от d при расстоянии $a=0,6$ м

На основании аналитических и экспериментальных исследований установлено, что ток утечки через тело человека, находящегося вблизи ЭУ СВН, при отсутствии гальванической связи человека с землей распределяется по емкостям, образованным его телом относительно земли и заземленных конструкций. При этом протекающая через емкость между телом человека и заземленной конструкцией доля тока утечки может достигать 40%.

Выполненные аналитические и экспериментальные исследования позволили обосновать место расположения датчика контроля токов утечки и предложить структурную схему прибора контроля токов утечки через тело человека, находящегося вблизи ЭУ СВН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача контроля токов утечки через тело человека, находящегося в зоне действия электроустановок сверхвысокого напряжения, имеющая существенное значение для определения степени отрицательного действие электрического поля промышленной частоты на персонал, занятый обслуживанием указанных электроустановок.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Установлена взаимосвязь плотности тока электрического смещения с напряженностью электрического поля в занимаемом человеком пространстве. На основании полученной зависимости можно утверждать, что величина тока, протекающего через тело человека, определяется только напряженностью электрического поля на поверхности тела человека и зависит не от формы этой поверхности, а лишь от величины ее площади.

2. Получены аналитические зависимости для расчета тока утечки через тело человека при наличии и отсутствии гальванической связи между телом человека и землей. На основании полученных формул проведены расчеты тока утечки для разных условий контакта с грунтом (при наличии емкостной связи с землей и заземленной конструкцией). Сопоставление полученных нами данных с результатами ранее проведенных экспериментальных исследований показывают хорошую сходимость.

3. Предложена и обоснована методика измерения тока, протекающего через тело человека, занятого обслуживанием ЭУ СВН, при нахождении его вблизи и на удалении от заземленных металлоконструкций, а также при наличии емкостной связи тела человека с землей.

4. Для учета искажения электрического поля, обусловленного телом человека, предложен коэффициент захвата. Установлена его зависимость от напряженности электрического поля.

5. На основании аналитических и экспериментальных исследований установлено, что ток утечки через тело человека, находящегося вблизи ЭУ СВН, при отсутствии гальванической связи человека с землей (заземленными конструкциями) распределяется по емкостям, образованным его телом относительно земли и заземленными конструкциями. При этом протекающая через емкость между телом человека и заземленной конструкцией доля тока утечки может достигать 40%.

6. Обосновано место установки и размещения датчика контроля токов утечки для персонала, занятого обслуживанием ЭУ СВН. Датчик контроля тока, протекающего через тело человека, необходимо устанавливать на плечевом поясе человека для регистрации полного значения тока, протекающего через его тело.

7. Разработана структурная схема прибора контроля токов утечки через тело человека, находящегося вблизи ЭУ СВН.

Научные публикации по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Калинина, А.С. Аналитическое исследование плотности тока электрического смещения и распределение напряженности поля под линией электропередачи [Текст] / А.С. Калинина, А.И. Сидоров, В.Н. Непопалов // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2006. – № 3–4. – С. 59–66.

2. Калинина, А.С. Определение токов утечки при отсутствии контакта человека с грунтом [Текст] / А.С. Калинина, В.Н. Непопалов, А.И. Сидоров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». Челябинск: Издательство ЮУрГУ. – 2008. – Вып. 9. – № 11(111). – С 16–21.

Другие научные публикации по теме диссертации

3. Калинина, А.С. Разработка установки для определения зависимости удельного сопротивления окружающей среды от метеопараметров [Текст] / А.С. Калинина, А.А. Горюнова // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: Вторая Всерос. науч.-практич. конф.: сб. материалов. – Челябинск: Издательство ЗАО «Челябинская межрайонная типография», 2003. – С. 12.

4. Калинина, А.С. Влияние метеопараметров окружающей среды на электропроводность воздуха [Текст] / А.С. Калинина // Образование, наука, производство: Второй международный студенческий форум: сб. тезисов докладов. – Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – Ч.3. – С. 236.

5. Калинина, А.С. Исследование влияния метеопараметров окружающей среды на электропроводность воздуха [Текст] / А.С. Калинина // Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской обл.: сб. рефератов научно-исследовательских работ студентов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004. – С. 159.

6. Калинина, А.С. Применение изолирующих оснований для снижения токов утечки через тело человека, находящегося вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения [Текст] / А.С. Калинина // Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской обл.: сб. рефератов научно-исследовательских работ студентов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2005. – С. 208–209.

7. Калинина, А.С. Анализ способов защиты от воздействия электрического поля промышленной частоты электроустановок сверхвысокого напряжения [Текст] / А.С. Калинина // Экология. Риск. Безопасность: Вторая региональная науч.-практич. конф.: сб. материалов. – Курган: Издательство КГУ, 2005. – С. 56–57.

8. Калинина, А.С. Аналитическое исследование электрических токов разряда для человека, находящегося в зоне действия электроустановок сверхвысокого напряжения [Текст] / А.С. Калинина // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: сб. материалов. – Киров: Издательство ВятГУ, 2006. – Т.4 – С. 76–81.

9. Калинина, А.С. Экспериментальные зависимости токов утечки через тело человека от толщины диэлектрических пластин [Текст] / А.С. Калинина // Энергетика в современном мире – экология: Всерос. науч.-практич. конф.: сб. тезисов докладов. – Чита: Издательство ЧитГУ, 2006. – С. 110–115.

10. Калинина, А.С. Защита персонала, находящегося вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения, путем ограничения тока утечки [Текст] / А.С. Калинина, А.И. Сидоров, И.С. Окраинская, В.Н. Непопалов // Элетромагнитная совместимость технических средств и электромагнитная безопасность ЭМС-2006: Девятая рос. науч.-технич. конф.: сб. докладов. – СПб: ВИТУ, 2006. – С. 600–604.

11. Калинина, А.С. Анализ факторов, влияющих на величину токов утечки [Текст] / А.С. Калинина // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: Третья Всерос. науч.-практич. конф. (с международным участием): сб. материалов. – Челябинск: Издательство ЗАО «Челябинская межрайонная типография», 2006. – С. 146–148.

12. Калинина, А.С. Контроль токов утечки, обусловленных электрическим полем электроустановок сверхвысокого напряжения [Текст] / А.С. Калинина // Наука – производство – технологии – экология: Всерос. науч.-техн. конф.: сб. материалов. – Киров: Издательство ВятГУ, 2007. – Т.6. – С. 147–149.

13. Калинина, А.С. Экспериментальное исследование влияния заземленных металлоконструкций на токи утечки на открытом распределительном устройстве 500 кВ [Текст] / А.С. Калинина, В.Н. Непопалов // «ВНТК – «ЭЛЕКТРО – 2007»: Всерос. науч.-техн. конф.: сб. научных докладов. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. – С. 195–200.

14. Калинина, А.С. Разработка прибора контроля токов утечки, обусловленных электрическим полем электроустановок сверхвысокого напряжения [Текст] / А.С. Калинина // Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской обл.: сб. рефератов научно-исследовательских работ аспирантов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. – С. 105–106.