

05.20.02

С 302

На правах рукописи

СЕМЕНОВА Мария Николаевна



**ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕХОДА ОТ ГЛУХОЗАЗЕМЛЕННОЙ
НЕЙТРАЛИ К ИЗОЛИРОВАННОЙ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ
НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2011

Читальный зал
«Профессорский»
«Безопасность жизнедеятельности»

Работа выполнена на кафедре «Безопасность жизнедеятельности» государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сидоров Александр Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кирпичникова Ирина Михайловна

доктор технических наук, профессор
Суворов Иван Флегонтович

Ведущее предприятие: ФГОУ ВПО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится 16 июня 2011 г., в 10:00 часов, на заседании диссертационного совета Д 220.069.01 при ФГОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Автореферат разослан 13 мая 2011 г. и размещен на официальном сайте ФГОУ ВПО «ЧГАА» <http://www.csaa.ru> 13 мая, 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А.Г. Возмилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. На долю линий электропередачи напряжением до 1000 В, суммарная протяженность которых составляет не менее 30% от общей протяженности линий, эксплуатируемых в нашей стране, приходится до 60% электропоражений от общего числа смертельных электротравм.

Существующее положение обусловлено не только тем, что эксплуатацией электроустановок указанного напряжения заняты, в основном, неквалифицированный персонал и население, не имеющее специальных знаний об опасности поражения электрическим током, но и, главным образом, несовершенством применяемых средств обеспечения электробезопасности.

Применение в качестве основного защитного средства зануления, отличающегося простотой, надежностью и экономичностью, не обеспечивает защиту при прямом прикосновении к открытым проводящим частям электроустановки. Кроме того, существует ряд недостатков, проявляющихся при защите от косвенного прикосновения: затруднение с обеспечением нормируемого времени срабатывания защитных аппаратов; опасность возникновения пожаров, связанная со значительными разрушениями оборудования вследствие длительного времени отключения сети; вынос опасного потенциала на зануленные корпуса электроприемников при замыкании на корпус связанного с ними электроприемника и др.

Из сказанного следует, что задача безопасной и надежной работы системы электроснабжения напряжением до 1000 В к настоящему времени в полном объеме не решена.

Цель работы – повышение уровня электробезопасности при эксплуатации электроустановок сельскохозяйственного назначения на основе раскрытой взаимосвязи между состоянием нейтрали источника питания относительно земли и уровнем электробезопасности в четырехпроводных воздушных линиях напряжением до 1000 В.

Для достижения заявленной цели поставлены **задачи исследования:**

1. Выполнить анализ величин токов однофазного короткого замыкания в воздушных четырехпроводных линиях напряжением до 1000 В с целью определения эффективности зануления как защитной меры.
2. Исследовать токораспределение системы «PEN-проводник – повторные заземлители – земля» в воздушных четырехпроводных линиях напряжением до 1000 В в нормальном режиме работы сети для различных условий.
3. Обосновать состав и место установки средств обеспечения электробезопасности при переходе от глухозаземленной нейтрали к изолированной в четырехпроводных воздушных линиях напряжением до 1000 В.
4. Оценить изменение уровня электробезопасности при переходе от глухозаземленной нейтрали к изолированной при эксплуатации четырехпроводных воздушных линий напряжением до 1000 В.

Объект исследования – токораспределение в четырехпроводных воздушных линиях сельскохозяйственного назначения напряжением 380/220 В в нормальном и аварийном режимах работы.

Предмет исследования – установление закономерностей, позволяющих выявить связь между состоянием нейтрали источника питания относительно земли и уровнем электробезопасности при эксплуатации четырехпроводных воздушных линий указанного напряжения.

Методологическая и теоретическая основа исследования: в основу данной работы легли труды А.И. Якобса, О.К. Никольского, А.И. Сидорова, И.Ф. Суворова, С.М. Рожавского, Ф.Д. Косоухова, А.Х. Слободкина и др. ученых, внесших значительный вклад в науку о развитии электробезопасности при эксплуатации электроустановок сельскохозяйственного назначения напряжением до 1000 В.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается достаточным объемом статистических данных (параметры 252 воздушных линий напряжением 0,38 кВ), корректным применением основных законов электротехники в сочетании с известными методами анализа числовых данных.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

1. Установлено, что при эксплуатации систем электроснабжения сельскохозяйственного назначения напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, в которых передача электроэнергии осуществляется с помощью четырехпроводных воздушных линий, безопасные условия не обеспечиваются не только при возникновении однофазных замыканий, но и в нормальном режиме работы линии.

2. Определены значения эквивалентного сопротивления системы «PEN-проводник – повторные заземлители – земля» в зависимости от места установки потребителя. Получены выражения, представляющие собой математическое описание зависимостей эквивалентных сопротивлений рассматриваемой системы.

3. Впервые получено аналитическое выражение, позволяющее определить величину тока в системе «PEN-проводник – повторные заземлители – земля» при нормальном режиме работы четырехпроводной воздушной линии напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью источника питания.

4. Обоснована и разработана логико-вероятностная модель электропоражения, позволяющая количественно оценить уровень электробезопасности в четырехпроводной сети сельскохозяйственного назначения с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В путем определения вероятности возникновения электроопасной ситуации.

Практическая значимость работы и реализация ее результатов:

1. Определено условие обеспечения нормируемого времени срабатывания аппаратов защиты в исследованных воздушных линиях 0,38 кВ.

2. Определено изменение уровня электробезопасности при переходе от глухозаземленной нейтрали к изолированной при эксплуатации четырехпроводных воздушных линий напряжением до 1000 В.

3. Предложен набор средств обеспечения электробезопасности и место их установки в четырехпроводной воздушной линии с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В с учетом характеристик потребителей.

4. В 2008 году работа была поддержана грантом по программе развития научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых в высших учебных заведениях Челябинской области, осуществляемой Министерством образования и науки Российской Федерации и Правительством Челябинской области.

5. Научные положения, выводы и рекомендации работы переданы в Госэнергонадзор Минэнерго России (в отдел «Работа по замечаниям и предложениям по содержанию глав 7-го издания Правил устройства электроустановок»).

6. Результаты исследований используются в учебном процессе Челябинской агроинженерной академии и Южно-Уральского государственного университета при изучении курса «Безопасность жизнедеятельности» студентами электроэнергетических специальностей, а также при подготовке специалистов по направлению «Техносферная безопасность».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Отраженные в диссертации научные положения соответствуют области исследования специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, определяющей разработку новых методов и технических средств для снижения электротравматизма людей в условиях производства и быта; защиту сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены на Всероссийской научно-технической конференции «Наука – производство – технологии – экология» ВятГУ (г. Киров, 2006 г.), на I и II Всероссийской научно-технической конференции «Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий» УГНТУ (г. Уфа, 2007 г., 2009 г.), на Международной научно-практической конференции в области экологии и безопасности жизнедеятельности «Дальневосточная весна – 2008» КНАГТУ (г. Комсомольск-на-Амуре, 2008 г.), на Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность и экология технологических процессов и производств» ДонГАУ (Ростовская обл., п. Персиановский, 2008 г.), на V Международной научно-технической конференции «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» УГАТУ (г. Уфа, 2008 г.), на VI Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика в современном мире» ЧитГУ (г. Чита, 2009 г.), на XLIX и L Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» ЧГАА (г. Челябинск, 2010 – 2011 гг.), на ежегодных научно-технических конференциях ЮУрГУ (г. Челябинск, 2006 – 2011 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 научных статей, в том числе 3 работы – в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы (152 наименования), пяти приложений. Содержит 143 страницы основного текста, в том числе 42 рисунка и 24 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования; сформулированы цель и задачи исследования; изложена научная новизна и практическая ценность работы; определены объект и предмет исследования; приведены основные положения работы, выносимые на защиту; отражены вопросы реализации и апробации полученных результатов.

Первая глава «Состояние вопроса и задачи исследования» посвящена анализу состояния исследуемого вопроса и обоснованию задач исследования.

В общем комплексе электрических сетей напряжением до 1000 В воздушные линии (ВЛ), основная доля которых приходится на обеспечение сельской электрификации, имеют значительную область применения. ВЛ обладают многими преимуществами по сравнению с кабельными: экономичностью, простотой, наглядностью, удобством эксплуатации и др. Только требования архитектурного ансамбля (крупные города) или дефицитность площади наземного генплана (средние и крупные промышленные предприятия) заставляют отказаться от применения ВЛ.

Большой вклад в обеспечение электробезопасности при проектировании и эксплуатации воздушных сетей напряжением до 1000 В внесли работы таких ученых, как А.И. Якобс, О.К. Никольский, А.И. Сидоров, И.Ф. Суворов, А.Б. Ослон, Ф.Д. Косоухов, С.М. Рожавский, А.Х. Слободкин, М.С. Левин, Т.Б. Лешинская, Н.Д. Григорьев, И.А. Будзко, И.О. Егорушкин, В.С. Кузнецов и др. Однако, несмотря на многолетние исследования в данной области, задача обеспечения полной безопасности при эксплуатации ВЛ низкого напряжения до сих пор не решена.

Проведенный анализ литературных источников показывает, что традиционные меры защиты, применяемые в сетях электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью – в первую очередь, зануление, – не обеспечивают безопасной и надежной работы системы электроснабжения.

Изменение существующей ситуации может быть достигнуто пересмотром действующих устройств защиты и разработкой новых способов обеспечения электробезопасности в рассматриваемых сетях.

Во второй главе выполнено статистическое исследование параметров воздушных четырехпроводных линий напряжением 0,38/0,22 кВ и аппаратов защиты, используемых в схеме зануления.

Для оценки условий эксплуатации реальных электрических сетей был собран материал о параметрах ВЛ напряжением 0,38/0,22 кВ. Исходные данные представляли собой сведения, полученные в центральных и городских электрических сетях ОАО «МРСК Урала» – «Челябэнерго», о 252 ВЛ (110 ВЛ для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей Челябинской области и 142 коммунально-бытовых ВЛ пригорода Челябинска), а именно: длины линий; марки и размеры сечений нулевого и фазных проводов линии; мощность, тип и схемы соединения обмоток питающих трансформаторов; номинальные токи плавких вставок предохранителей.

Известно, что целью зануления как защитной меры является увеличение тока однофазного короткого замыкания до значения, достаточного для

срабатывания аппаратов защиты. Оценка эффективности зануления в реальных электрических сетях заключалась в определении кратности тока однофазного короткого замыкания по отношению к номинальному току плавкой вставки предохранителя.

Одним из самых распространенных аппаратов защиты, применяемых на ВЛ 0,38 кВ, введенных в эксплуатацию в период с 1940 по 1970 гг., согласно данным центральных и городских электрических сетей ОАО «МРСК Урала» – «Челябэнерго», является плавкий предохранитель типа ПН–2.

Время-токовые характеристики предохранителей этого типа, составленные на основе данных промышленных каталогов, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Защитные характеристики предохранителей типа ПН–2

Отношение тока испытания к номинальному рабочему току	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
Среднее время плавления вставки предохранителя, с	180	20	4	1	0,4	0,16	0,1	0,08	0,05	0,02

Нормируемое время отключения (0,4 с для сети с фазным напряжением 220 В) обеспечивается при превышении током однофазного короткого замыкания номинального тока плавкой вставки предохранителя ПН–2 в шесть раз.

На рис. 1 и 2 представлены гистограммы, отражающие существующую кратность на ВЛ 0,38 кВ сельских и коммунально-бытовых сетей Челябинской области.

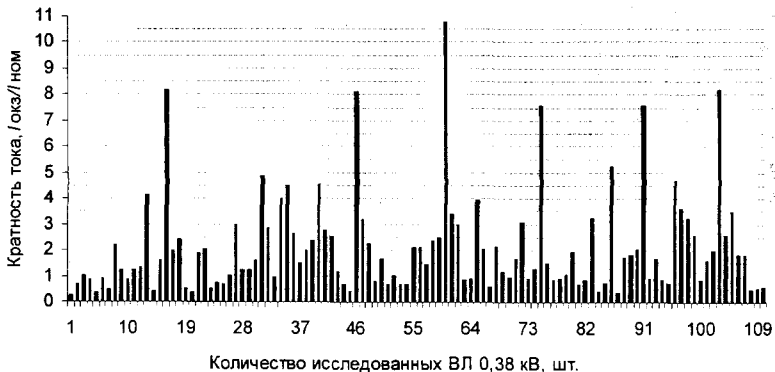


Рис. 1. Кратность тока однофазного короткого замыкания по отношению к номинальному току плавкой вставки ПН–2 на ВЛ 0,38 кВ для питания ряда сельскохозяйственных потребителей Челябинской области

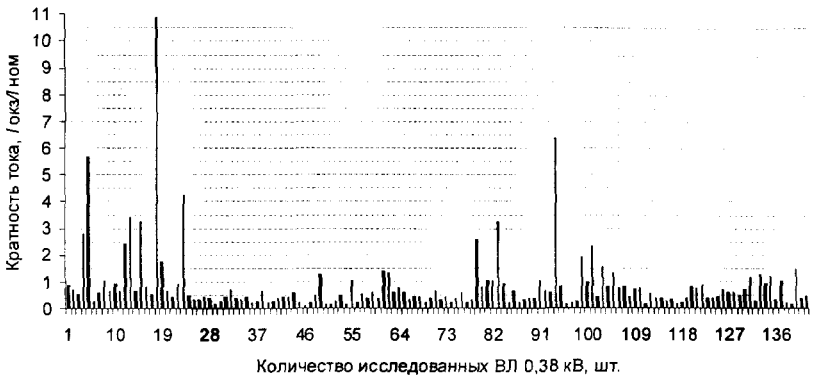


Рис. 2. Кратность тока однофазного короткого замыкания по отношению к номинальному току плавкой вставки ПН-2 коммунально-бытовых ВЛ 0,38 кВ пригородных районов Челябинска

Таким образом, необходимая кратность тока в случае замыкания в конце линии обеспечивается только для 6 линий из 110, предназначенных для питания сельскохозяйственных потребителей, и для 2 коммунально-бытовых линий из 142 рассмотренных. Приведенные цифры говорят сами за себя: ожидаемое значение тока, возникающего при однофазном коротком замыкании в конце исследованных ВЛ 0,38 кВ, в большинстве случаев неспособно инициировать быстрое отключение поврежденного участка сети применяемым аппаратом защиты.

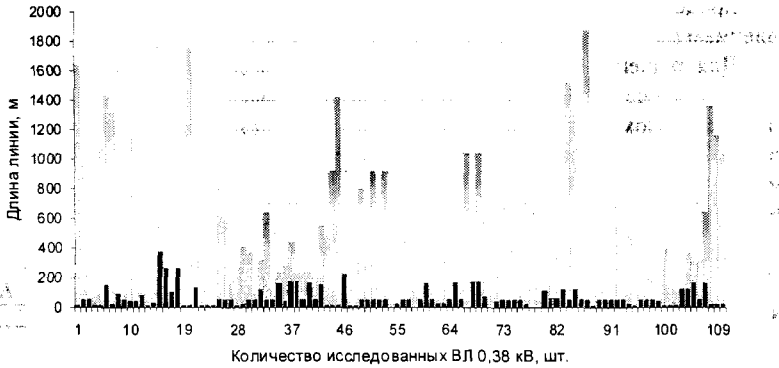
Повторим, что кратность тока однофазного короткого замыкания по отношению к номинальному току плавкой вставки предохранителя ПН-2 должна быть не менее 6 для того, чтобы предохранитель отключил поврежденный участок сети за допустимое время (0,4 с). Далее было определено условие эффективности зануления на исследованных ВЛ 0,38 кВ – выражение, позволяющее рассчитать такую длину линии (l), на которой защита занулением будет гарантированно реализована при возникновении аварийной ситуации:

$$l = \sqrt{\frac{\left(\frac{U_{\phi}}{6I_{ном}} - \frac{Z_l}{3}\right)^2}{\left(2\frac{\rho}{S}\right)^2 + \left(0,00029 \lg \frac{d}{r}\right)^2}}, \quad (1)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В; $I_{ном}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя ПН-2, А; Z_l – полное сопротивление питающего трансформатора протеканию тока однофазного короткого замыкания, Ом; ρ – удельное сопротивление материала проводника, Ом·мм²/м; S – площадь сече-

ния проводника, мм^2 ; d – среднее расстояние между осями проводов воздушной линии, м; r – радиус проводника, м.

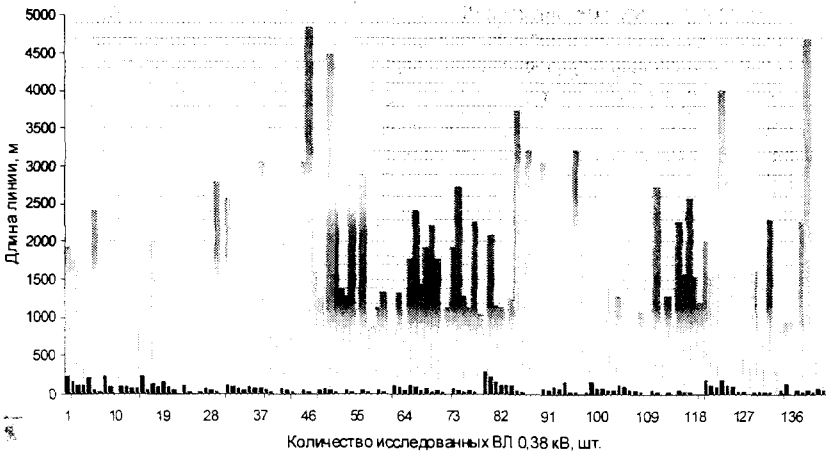
На рис. 3 и 4 представлены гистограммы, отражающие рассчитанные расстояния от источника питания до места возможного замыкания по отношению к реальной длине 110 исследованных ВЛ 0,38 кВ сельских сетей Челябинской области и 142 коммунально-бытовых ВЛ пригорода Челябинска.



■ расчетная длина ВЛ

▨ реальная длина ВЛ

Рис. 3. Распределение реальной и расчетной длины исследованных ВЛ 0,38 кВ для питания ряда сельскохозяйственных потребителей Челябинской области



■ расчетная длина ВЛ

▨ реальная длина ВЛ

Рис. 4. Распределение реальной и расчетной длины исследованных коммунально-бытовых ВЛ 0,38 кВ пригородных районов Челябинска

Как известно, отличительной особенностью сетей напряжением 0,38 кВ является несимметрия напряжений и токов. Это обусловлено неравномерным подключением однофазных приемников, потребляемая мощность которых непостоянна по величине и времени.

Благодаря возникновению тока несимметрии даже при нормальном режиме работы линии (отсутствие замыкания фаз сети, обрыва проводов и т. п.) на зануленных корпусах электропотребителей существует потенциал, который определяется, главным образом, величиной тока несимметрии и сопротивлением заземляющих устройств PEN-проводника.

Для решения поставленной перед нами задачи – определения потенциала на зануленном корпусе электропотребителя, постоянно существующего в нормальном режиме работы линии – в **третьей главе** был проведен анализ токораспределения в системе «PEN-проводник – повторные заземлители – земля» ВЛ 0,38 кВ. Была построена схема замещения сети, представляющая собой многоконтурную схему со смешанным соединением элементов (рис. 5).

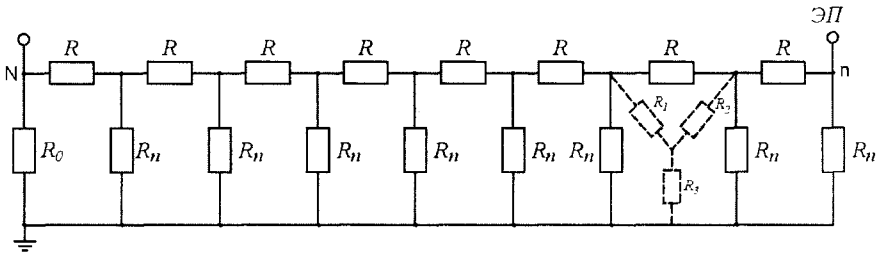


Рис. 5. Схема замещения сети (длина линии 2000 м)

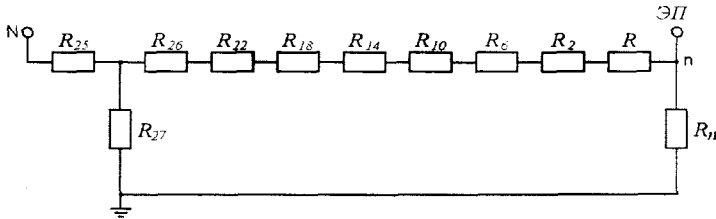
N – нейтральная точка источника питания; R – сопротивление участков PEN-проводника; R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника питания; R_n – сопротивление повторных заземлителей PEN-проводника; ЭП – электропотребитель

С учетом имеющихся статистических данных была выбрана длина исследуемой линии (2000 м) как одна из наиболее протяженных среди ВЛ напряжением до 1000 В. Для расчетов были приняты следующие допущения: сопротивления PEN-проводника (R) на равных участках провода (250 м – интервал между установкой повторных заземлителей) равны между собой; сопротивления повторных заземлителей PEN-проводника (R_n) также равны между собой.

Преобразование элементов схемы осуществлялось путем замены части цепи, соединенной по схеме «треугольник», цепью, соединенной по схеме «звезда». При этом токи и напряжения в остальной части цепи сохранялись неизменными.

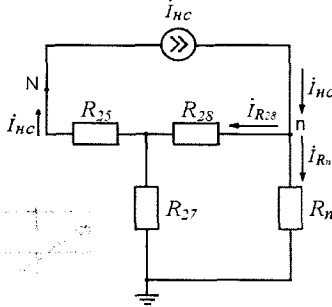
Согласно правилам преобразования: $R_1 = \frac{R_n \cdot R}{2R_n + R}$, $R_2 = \frac{R \cdot R_n}{2R_n + R}$, $R_3 = \frac{R_n^2}{2R_n + R}$.

В итоге (опуская промежуточные преобразования) мы получили из многоконтурной схемы упрощенную одноконтурную (рис. 6) для определения элементов цепи.

Рис. 6. Схема замещения сети (*i*-е преобразование)

$$R_{26} + R_{22} + R_{18} + R_{14} + R_{10} + R_6 + R_2 + R = R_{28}. \quad (2)$$

С учетом формулы (2), схему можно представить в виде рис. 7:

Рис. 7. Схема замещения сети ((*i*+1)-е преобразование)

Потенциал корпуса ЭП (φ) определяется по известной формуле:

$$\varphi = I_{R_n} \cdot R_n, \quad (3)$$

где I_{R_n} – ток, проходящий через повторный заземлитель PEN-проводника, А;
 R_n – сопротивление повторного заземлителя PEN-проводника, Ом.

Ток несимметрии ($\dot{I}_{нс}$), существующий в PEN-проводнике ВЛ 0,38 кВ, делится на ток, проходящий через R_n (\dot{I}_{R_n}), и ток, проходящий через R_{28} ($\dot{I}_{R_{28}}$):

$$\dot{I}_{R_n} (R_n + R_{27}) = \dot{I}_{R_{28}} \cdot R_{28}, \quad (4)$$

$$\dot{I}_{R_{28}} = \dot{I}_{нс} - \dot{I}_{R_n}. \quad (5)$$

Ток, проходящий через R_n , может быть определен:

$$\dot{I}_{R_n} = \dot{I}_{нс} \cdot \frac{R_{28}}{R_n + R_{28} + R_{27}} = \dot{I}_{нс} \cdot k, \quad \text{где } k = \frac{R_{28}}{R_n + R_{28} + R_{27}}. \quad (6)$$

Тогда искомый потенциал определяется:

$$\varphi = \dot{I}_{нс} \cdot k \cdot R_n. \quad (7)$$

Произведение $k \cdot R_n$ для удобства и наглядности заменим на $R_{экв}$.

Результаты расчетов эквивалентного сопротивления $R_{экр}$ системы «PEN-проводник ВЛ 0,38 кВ – повторные заземлители – земля» представлены в табл. 2.

Последнее значение первого столбца табл. 2 – количество повторных заземлителей линии, равное 20 шт., – соответствует максимальной длине ВЛ, равной 5000 м (согласно требованиям ПТЭ электроустановок, повторное заземление PEN-проводника должно быть устроено с интервалом 250 м). Такие протяженные линии крайне редко встречаются среди ВЛ 0,38 кВ, но было принято решение учесть все возможные варианты. Из этих же соображений были учтены практически все размеры сечений PEN-проводников исследуемых линий.

Таблица 2

Зависимость эквивалентного сопротивления $R_{экр}$ от количества повторных заземлителей PEN-проводника сечением 25, 35, 50, 70 и 95 мм²

Кол-во повторных заземлителей линии, шт.	$R_{экр}, \text{ Ом}$ ($S = 25 \text{ мм}^2$)	$R_{экр}, \text{ Ом}$ ($S = 35 \text{ мм}^2$)	$R_{экр}, \text{ Ом}$ ($S = 50 \text{ мм}^2$)	$R_{экр}, \text{ Ом}$ ($S = 70 \text{ мм}^2$)	$R_{экр}, \text{ Ом}$ ($S = 95 \text{ мм}^2$)
2	0,473	0,339	0,239	0,171	0,126
4	0,853	0,617	0,437	0,314	0,233
6	1,169	0,853	0,609	0,440	0,327
8	1,433	1,057	0,761	0,553	0,413
10	1,655	1,235	0,897	0,656	0,492
12	1,843	1,389	1,019	0,751	0,565
14	2,001	1,525	1,128	0,838	0,634
16	2,133	1,643	1,227	0,917	0,698
18	2,244	1,746	1,316	0,991	0,758
20	2,338	1,835	1,395	1,058	0,814

С целью рассмотрения различных вариантов также был проведен анализ токораспределения для ВЛ с ответвлениями, анализ взаимного распределения токов в двух аналогичных параллельных системах, имеющих общий источник питания (при нормальном режиме работы), и анализ распределения тока при нормальном режиме в упомянутой системе, параллельно которой проходит участок трубопровода – модель абстрактной металлоконструкции, расположенной вблизи анализируемой линии.

На основании расчетов, проведенных для воздушной линии без учета токов, возникающих в нулевых проводах соседних линий или расположенных рядом металлоконструкциях, получены выражения, представляющие собой математическое описание зависимостей эквивалентных сопротивлений системы «PEN-проводник ВЛ 0,38 кВ – повторные заземлители – земля» с учетом места установки электропотребителя (т. е. количества повторных заземлителей PEN-проводника линии):

$$R_{\text{экв}} = -0,0043k^2 + 0,1952k + 0,1283 \quad (\text{PEN-проводник сечением } 25 \text{ мм}^2), \quad (8)$$

$$R_{\text{экв}} = -0,0028k^2 + 0,1433k + 0,0805 \quad (\text{PEN-проводник сечением } 35 \text{ мм}^2), \quad (9)$$

$$R_{\text{экв}} = -0,0018k^2 + 0,1019k + 0,052 \quad (\text{PEN-проводник сечением } 50 \text{ мм}^2), \quad (10)$$

$$R_{\text{экв}} = -0,0011k^2 + 0,0731k + 0,036 \quad (\text{PEN-проводник сечением } 70 \text{ мм}^2), \quad (11)$$

$$R_{\text{экв}} = -0,0007k^2 + 0,0538k + 0,0263 \quad (\text{PEN-проводник сечением } 95 \text{ мм}^2). \quad (12)$$

Сравнительный анализ нескольких типов функций показал, что в качестве аппроксимирующей зависимости может быть выбрана полиномиальная зависимость 2 порядка (с учетом соотношения точности описания и удобства применения в практических расчетах).

Зависимости (для рассчитанных сечений PEN-проводников) и описывающие их полиномы 2 порядка приведены на рис. 8.

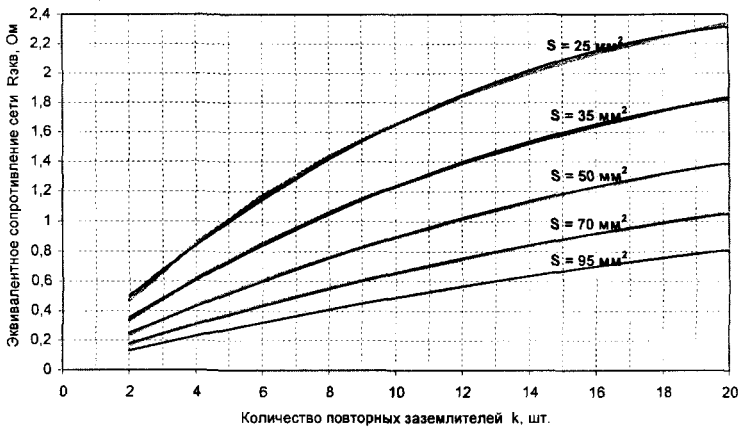


Рис. 8. Выбранный тип функции (полином 2 порядка), описывающий исследуемые зависимости

Повторим, что потенциал, существующий на зануленном корпусе электропотребителя в нормальном режиме работы, определяется из соотношения:

$$\phi = I_{\text{нс}} \cdot R_{\text{экв}}. \quad (13)$$

Известно, что ток несимметрии, существующий в PEN-проводнике ВЛ 0,38 кВ в рабочем режиме, достигает 50% от фазного тока. Это подтверждается многочисленными исследованиями, проведенными С.М. Рожавским, Ю.Ф. Свергуном, А.Г. Арутюняном и др.

В четвертой главе были рассчитаны потенциалы, существующие на зануленном корпусе электропотребителя при отсутствии повреждения в зависимости от расстояния до источника питания ВЛ напряжением 0,38 кВ (табл. 3). Значения потенциалов были определены для заданных токов нагрузки линии в соответствии с нормируемой величиной плотности тока для алюминиевого провода ВЛ, равной 1 А/мм².

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ (с Изм. № 1) «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов», при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки для переменного тока частотой 50 Гц напряжение прикосновения не должно превышать 2 В (при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки). При самом неблагоприятном случае с точки зрения электробезопасности – корпус расположен в зоне «нулевого потенциала» – напряжение прикосновения по величине становится равным значению потенциала, существующего на зануленном корпусе электропотребителя в нормальном режиме работы линии, рассчитанные значения которого значительно превышают допустимые.

Таблица 3

Величины потенциалов, определенные по заданным токам нагрузки

Расстояние от источника питания до потребителя, м	Электрические параметры воздушных линий 0,38 кВ														
	$R_{\text{эвл}}$, Ом					$I_{\text{ис}}$, А					ϕ , В				
	Сечение PEN-проводника, мм ²														
	25	35	50	70	95	25	35	50	70	95	25	35	50	70	95
500	0,47	0,34	0,24	0,17	0,13						5,91	5,93	5,98	5,99	5,99
2000	1,43	1,06	0,76	0,55	0,41	12,5	17,5	25	35	47,5	17,91	18,50	19,03	19,36	19,62
5000	2,34	1,84	1,40	1,06	0,81						29,23	32,11	34,88	37,03	38,67

Расследования многочисленных случаев электропоражения крупного рогатого скота (как в России, так и за рубежом) показали, что основной причиной являлось напряжение прикосновения, приложенное к телу животных. Возникновение аварийной ситуации может привести к особенно тяжелым последствиям в животноводческих помещениях, в которых отсутствуют устройства выравнивания электрических потенциалов. Важным является и тот факт, что сопротивление тела животного обычно меньше сопротивления тела человека, поэтому при попадании их под одинаковое напряжение через тело животного будет проходить больший ток, чем через тело человека.

Многочисленными исследованиями А.И. Якобса установлено, что в животноводческих помещениях, в зависимости от количества работающих электроприемников, величина напряжения прикосновения при нормальном (неаварийном) режиме электрической сети может достигать 7...8 В. Доказано, что даже напряжение порядка 3...5 В, постоянно действующее на организм сельскохозяйственных животных, является причиной снижения их продуктивности. Так, у коров при систематическом воздействии на них электрического напряжения величиной 3...4 В молокоотдача уменьшается на 30%.

Таким образом, результаты аналитических расчетов, полученные на основе статистических материалов, позволяют сделать однозначный вывод: при эксплуатации систем электроснабжения сельскохозяйственного назначения напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, в которых передача электроэнергии осуществляется с помощью четырехпроводных воздушных линий, безопасные условия не обеспечиваются не только при возникновении однофазных замыканий, но и в нормальном режиме работы линии.

Одним из вариантов выхода из исследованной ситуации могло бы стать изменение заземления нулевой точки источника питания – переход от четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с глухим заземлением нейтрали к четырехпроводной сети с изолированной от земли нейтральной точкой источника питания. Очевидно, что данное решение повлечет за собой пересмотр существующих устройств защиты для сетей указанного напряжения.

Схема распределения электрической энергии зависит от территориального расположения электроприемников относительно вводно-распределительного устройства и относительно друг друга, от мощности отдельных электроприемников, надежности электроснабжения и др. Потребители могут быть подключены к ВЛ 0,38 кВ на всем протяжении линии (магистральная схема) или в конце линии (радиальная схема).

Предлагаемая магистральная схема электроснабжения однофазных бытовых потребителей, питающихся от протяженной четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с изолированной нейтралью, представлена на рис. 9.

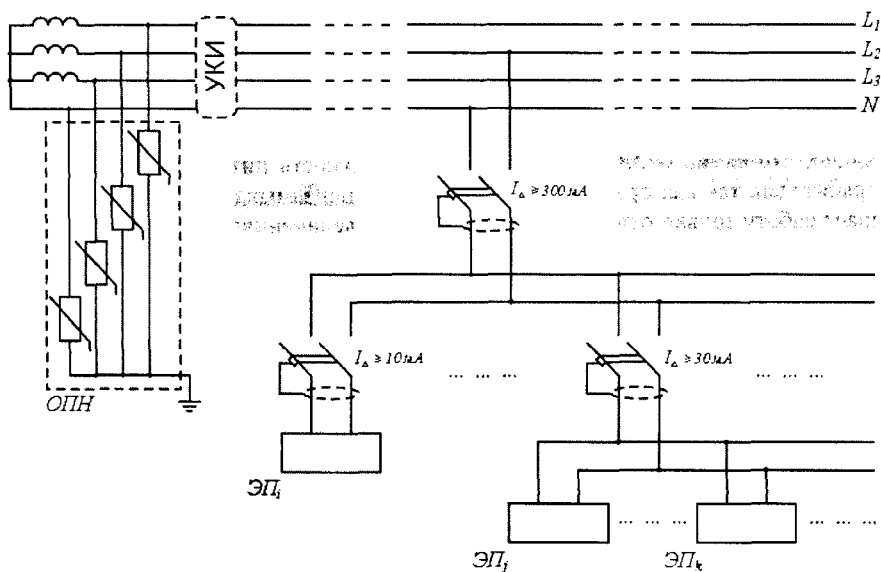


Рис. 9. Средства обеспечения электробезопасности для магистральной схемы питания однофазных электроприемников от ВЛ 0,38 кВ:

ОПН – ограничитель перенапряжения нелинейный; УКИ – устройство контроля изоляции; ЭП – электропотребитель; I_{Δ} – ток, инициирующий срабатывание устройства защитного отключения

Предложенная схема свободна от главного недостатка, сопровождающего эксплуатацию четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы электроустановки – существования потенциала определенной величины, создаваемого на зануленных корпусах электроприемников, соединенных между собой PEN-проводником ВЛ 0,38 кВ, обуслов-

ленного током несимметрии в этом проводнике. В предложенной схеме четвертый провод линии (N) не является защитным проводником, осуществляя исключительно функцию рабочего нулевого проводника, необходимого для подключения однофазных потребителей.

Применение устройств защитного отключения (УЗО) при питании однофазных потребителей в существующих двухпроводных сетях не требует высоких затрат и капитальной реконструкции электропроводки зданий: достаточно установить их на квартирном щитке в многоквартирном доме или на вводном устройстве в многоквартирном доме (в сельской местности).

Защита от повреждений изоляции фазных и нулевого проводов сети, исполненной по предложенной схеме, будет осуществляться посредством устройства контроля изоляции (УКИ).

Защита от коммутационных и атмосферных перенапряжений, вызванных возможным повреждением изоляции в трансформаторе, замыканием между обмотками разных напряжений, грозовыми разрядами и др., будет осуществляться применением нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН), устанавливаемых одновременно во все провода защищаемой линии.

Радиальную схему электроснабжения в городской и сельской электрификации применяют для непосредственного питания отдельно стоящих крупных электроприемников или объединенной группы электроприемников. Очевидно, что схема обеспечивает высокую надежность питания отдельных потребителей, так как при нарушении изоляции или замыкании в линии прекращает работу только один электроприемник (объединенная группа электроприемников), в то время как электроприемники других линий работают в нормальном режиме.

Предлагаемая радиальная схема электроснабжения крупного трехфазного потребителя, питающегося от четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с изолированной нейтралью, представлена на рис. 10. Защиту от токов короткого замыкания в предложенной схеме электроснабжения целесообразно осуществлять посредством автоматического выключателя (QF), устанавливаемого на вводе в здание (сооружение). Ток, инициирующий работу расцепителей автоматического выключателя, должен выбираться с учетом мощности электропотребителя. Защита от косвенного прикосновения (общая, групповая и персональная) будет осуществляться с помощью УЗО, установленных внутри здания.

При осуществлении предложенной схемы трансформаторные подстанции (ТП) рекомендуется максимально приближать к питаемым ими отдельно стоящим крупным электропотребителям (или к центру объединенных групп электропотребителей). Очевидно, что при этом сокращается протяженность ВЛ, что приводит к значительной экономии расхода цветных металлов, снижению потерь электроэнергии и капитальных затрат на сооружение сетей. Также следует отметить, что ограничение длины ВЛ является важнейшим фактором для обеспечения безопасной эксплуатации сети. С учетом последнего, защита от электропоражения в предложенной схеме может быть достигнута применением указанных средств обеспечения электробезопасности.

Для приближения трансформаторных подстанций к центрам электрических нагрузок могут быть использованы отдельно стоящие комплектные трансформаторные подстанции, устанавливаемые на открытом воздухе.

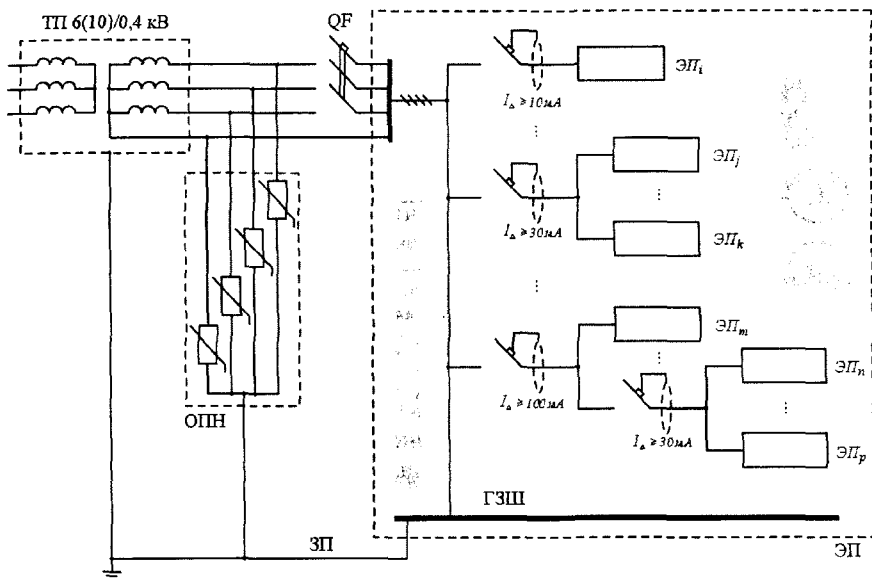


Рис. 10. Средства обеспечения электробезопасности для радиальной схемы питания трехфазного электропотребителя от ВЛ 0,38 кВ:

ТП – трансформаторная подстанция; QF – автоматический выключатель;
ГЗШ – главная заземляющая шина здания; ЗП – заземляющий проводник

В качестве обязательной защитной меры в предложенной схеме электропитания, помимо установки автоматического выключателя и УЗО, необходимо применять защитное заземление корпуса электропотребителя. Для упрощения монтажа защитного устройства главную заземляющую шину рекомендуется присоединять к заземляющему устройству ТП.

Для того чтобы обоснованно рекомендовать внедрение системы ИТ в проектирование и эксплуатацию, необходимо количественно оценить изменение уровня электробезопасности при переходе от глухозаземленной нейтрали к изолированной в сетях электроустановок до 1000 В.

В основу оценки уровня электробезопасности может быть положено представление о поражении человека электрическим током как о случайном совмещении ряда опасных состояний электрооборудования и человека.

Вероятность возникновения электроопасной ситуации при эксплуатации воздушной четырехпроводной линии напряжением 0,38 кВ с изолированной нейтралью возможно при возникновении трех независимых друг от друга событий:

- однофазное прикосновение человека к фазному проводу линии или корпусу электроустановки, на который произошло замыкание фазного провода;

– одновременное прикосновение человека к двум различным проводам линии или одновременное прикосновение к проводу линии и корпусу электроустановки, на который произошло замыкание фазного провода (двухфазное прикосновение);

– двухфазное (двойное) замыкание на землю.

Логико-вероятностная модель, отражающая процесс возникновения электроопасной ситуации при эксплуатации рассматриваемой линии, представлена на рис. 11.

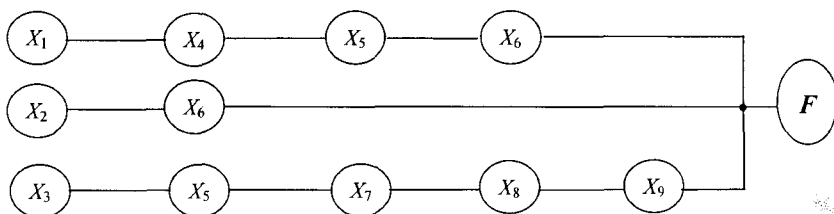


Рис. 11. Логико-вероятностная модель возникновения электроопасной ситуации при эксплуатации воздушной четырехпроводной линии напряжением 0,38 кВ с изолированной нейтралью

Разработанная модель, представляющая собой структурную схему электроопасной ситуации, содержит события X_i , содержание которых приведено в табл. 4.

Таблица 4

Элементы структурной схемы возникновения электроопасной ситуации

Обозначение события	Содержание события
X_1	Однофазное прикосновение человека к фазному проводу ВЛ 0,38 кВ или корпусу электроустановки, на который произошло замыкание фазного провода
X_2	Одновременное прикосновение человека к двум проводам линии или одновременное прикосновение к проводу линии и корпусу электроустановки, на который произошло замыкание фазного провода (двухфазное прикосновение)
X_3	Двухфазное (двойное) замыкание ВЛ 0,38 кВ на землю
X_4	Уровень изоляции проводов относительно земли на момент прикосновения меньше допустимого
X_5	Отказ в системе непрерывного контроля изоляции – устройств УКИ
X_6	Отказ в системе защитного отключения (устройств УЗО)
X_7	Человек оказался в зоне растекания тока и прикоснулся к оборванному проводу
X_8	Отказ в системе защиты от сверхтоков (МТЗ)
X_9	Замыкания двух фаз ВЛ 0,38 кВ на землю произошли через малые сопротивления замыканию
F	Возникновение электроопасной ситуации

Для определения вероятностей возникновения событий $X_1 - X_9$ обратимся к исследованиям, проведенным известными авторами при анализе возникновения электропоражений в электрических сетях с изолированной нейтралью – работам А.И. Сидорова, И.С. Окраинской и И.Ф. Суворова.

В табл. 5 представлены значения вероятностей, определенные указанными авторами на основе анализа литературных источников, нормативных документов и результатов собственных исследований. Все значения вероятностей определялись из расчета на десять тысяч операций или для объема времени, равного 1000 часам.

Таблица 5

Вероятности структурных элементов
схемы возникновения электроопасной ситуации

Обозначение события	Вероятность возникновения события	Обозначение события	Вероятность возникновения события	Обозначение события	Вероятность возникновения события
X_1	$2 \cdot 10^{-3}$	X_4	–	X_7	$3,45 \cdot 10^{-2}$
X_2	$2 \cdot 10^{-4}$	X_5	$5 \cdot 10^{-2}$	X_8	$5 \cdot 10^{-2}$
X_3	$8,8 \cdot 10^{-4}$	X_6	$5 \cdot 10^{-2}$	X_9	–

Для определения вероятности события X_4 был проведен расчет уровня сопротивлений фаз сети относительно земли и величины тока через тело человека при прикосновении к токоведущим частям при учете полной длины линии, равной 5 км. Из соотношения рассчитанной величины тока через тело человека и значений фибрилляционного тока была определена вероятность электропоражения в результате недостаточного уровня изоляции фаз сети относительно земли при прикосновении человека к одной из фаз ВЛ 0,38 кВ с изолированной нейтралью – значение рассчитанной вероятности составило $1,3 \cdot 10^{-2}$.

Вероятность возникновения события X_9 – замыкания двух фаз на землю произошли через малые сопротивления замыканию – не оценивалась в работах указанных авторов. Для определения вероятности возникновения электроопасной ситуации F рассмотрим самый неблагоприятный вариант – примем вероятность этого события равной 1.

Запишем формулу для определения вероятности возникновения электроопасной ситуации P_F (рис. 11):

$$P_F = 1 - ((1 - P(X_1) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6)) \cdot (1 - P(X_2) \cdot P(X_6)) \times (1 - P(X_3) \cdot P(X_5) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9))) \quad (14)$$

Вероятность возникновения электроопасной ситуации при эксплуатации воздушной четырехпроводной линии напряжением 0,38 кВ с изолированной нейтралью составляет $1,014 \cdot 10^{-5}$.

Н.К. Катаевой для сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В была определена вероятность возникновения электроопасной ситуации, равная $5,1 \cdot 10^{-4}$.

И.Ф. Суворов разработал уточненную модель возникновения электропоражения в сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, вероятность конечного события в которой составила $3,196 \cdot 10^{-4}$.

Очевидно, что сравнение приведенных вероятностей показывает повышение уровня электробезопасности при переходе от глухозаземленного режима нейтрали к изолированному при эксплуатации четырехпроводных воздушных линий напряжением до 1000 В.

Задача определения экономического эффекта от внедрения конкретных мероприятий, обусловленного сохранением жизни и здоровья человека, сводится к задаче определения размера предотвращенных потерь – так называемого «условного» (предотвращенного) эффекта \mathcal{E}_y – оценки ущерба при наступлении неблагоприятного события, умноженного на величину снижения вероятности наступления неблагоприятного события в случае реализации мероприятия.

Условный эффект, связанный с улучшением условий электробезопасности для одного человека, взаимодействующего с открытыми проводящими частями электрической сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, оснащенной предлагаемым набором электрозащитных средств, может быть определен по формуле:

$$\mathcal{E}_y = V(P_1 - P_2), \quad (15)$$

где V – ущерб, обусловленный одной электротравмой со смертельным или тяжелым исходом, руб.;

P_1 – вероятность возникновения электропоражения до внедрения предлагаемого мероприятия (для четырехпроводной ВЛ напряжением 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью);

P_2 – вероятность возникновения электропоражения после внедрения предлагаемого мероприятия (для четырехпроводной ВЛ напряжением 0,38 кВ с изолированной нейтралью).

Американскими исследователями по заказу Института производственных проблем охраны труда США был рассчитан материальный ущерб вследствие электротравм работников (возмещение причиненного вреда здоровью, расходы на реабилитацию, возмещение морального ущерба и другие затраты из финансовых средств нанимателей, предоставление льгот потерпевшим из государственного бюджета), который составляет 582 тысячи долларов США на каждый несчастный случай со смертельным или тяжелым исходом. Адаптированная величина ущерба вследствие возникновения электропоражения в России может быть получена путем отношения приведенной цифры (в пересчете на текущий курс доллара США) к разнице средней заработной платы между Россией и США (по состоянию на 2010 год средняя заработная плата в России приблизительно в 6 раз меньше, чем в США). Соответственно, для оценки условного (предотвращенного) эффекта от внедрения предлагаемых мероприятий примем средний ущерб от возникновения электропоражения равным 2,9 миллионов рублей.

Повторим, что вероятность возникновения электроопасной ситуации для четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью составила $5,1 \cdot 10^{-4}$ (исследования Н.К. Катаевой, 1989 г.) и $3,196 \cdot 10^{-4}$ (исследования И.Ф. Суворова, 2006 г.). Вероятность возникновения электроопасной ситуации при эксплуатации четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с изолированной нейтралью была рассчитана в рамках настоящей работы и составила $1,014 \cdot 10^{-5}$.

Таким образом, минимальный условный предотвращенный экономический эффект, связанный с улучшением условий электробезопасности для одного человека, взаимодействующего с открытыми проводящими частями электрической сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, оснащенной предлагаемым набором электрозщитных средств, составит 897 рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе предложено новое решение актуальной научно-технической задачи, состоящее в обеспечении условий электробезопасности в сетях электроустановок до 1000 В посредством изменения существующего режима нейтрали при эксплуатации воздушных четырехпроводных линий 0,38 кВ; определении набора средств обеспечения электробезопасности и места их установки с учетом характеристик потребителей.

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие основные результаты и выводы работы:

1. Анализ величин токов однофазного короткого замыкания в воздушных четырехпроводных линиях напряжением 0,38 кВ, проведенный с целью оценки эффективности зануления, показал несовершенство этой защитной меры при возможном однофазном замыкании в конце линии, поскольку не обеспечивается требуемое Правилами устройства электроустановок время отключения сети.

2. Получено выражение, позволяющее рассчитать такую длину линии, на которой защита занулением будет эффективна при возникновении аварийной ситуации (однофазном коротком замыкании).

3. Для ВЛ 0,38 кВ при нормальном (неаварийном) режиме определены значения эквивалентного сопротивления системы «PEN-проводник – повторные заземлители – земля» в зависимости от места установки потребителя. Получены выражения, представляющие собой математическое описание зависимостей эквивалентных сопротивлений системы «PEN-проводник ВЛ 0,38 кВ – повторные заземлители – земля» с учетом места установки электропотребителя (количества повторных заземлителей нулевого провода линии). Сравнительный анализ нескольких типов функций показал, что в качестве аппроксимирующей зависимости может быть выбрана полиномиальная зависимость 2 порядка (с учетом соотношения точности описания и удобства применения в практических расчетах).

4. По заданным токам нагрузки определено значение потенциала, существующего на зануленном корпусе электроприемника в нормальном (неаварийном) режиме работы четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с глухозаземлен-

ной нейтралью. Рассчитанная величина потенциала может быть достаточной для возникновения электропоражения при соответствующем распределении потенциалов в поле растекания тока.

5. В качестве мероприятия по улучшению условий электробезопасности предложено изменение заземления нулевой точки системы передачи и распределения электрической энергии – переход от четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с глухим заземлением нейтрали к четырехпроводной сети с изолированной от земли нейтральной точкой источника питания.

6. Для предложенной воздушной четырехпроводной линии 0,38 кВ с изолированной нейтралью обоснованы набор средств обеспечения электробезопасности и место их установки с учетом характеристик потребителей. Первоочередное внедрение предлагаемых схем электроснабжения целесообразно начать с таких объектов АПК, на которых имеется высококвалифицированный персонал и которые критичны даже к незначительному потенциалу на корпусах электрооборудования, – например, с животноводческих комплексов.

7. Сравнение вероятности возникновения электроопасной ситуации при эксплуатации предложенной четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с изолированной нейтралью и вероятности возникновения электропоражения при эксплуатации четырехпроводной ВЛ 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью показывает, что при внедрении предлагаемых схем электроснабжения вероятность возникновения электропоражения снижается не менее, чем в 30 раз.

8. Минимальный условный предотвращенный экономический эффект, связанный с улучшением условий электробезопасности для одного человека, взаимодействующего с открытыми проводящими частями электрической сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, оснащенной предлагаемым набором электрозащитных средств, составит 897 рублей.

Основные научные положения и результаты диссертации отражены в следующих публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Семенова, М.Н. Характеристика аппаратов защиты, применяемых в схеме зануления. Плавкие предохранители низкого напряжения [Текст] / М.Н. Семенова // Электробезопасность. – 2005. – № 3. – С. 40–43.
2. Семенова, М.Н. Характеристика аппаратов защиты, применяемых в схеме зануления. Автоматические воздушные выключатели (автоматы) [Текст] / М.Н. Семенова // Электробезопасность. – 2006. – № 1. – С. 29–33.
3. Семенова, М.Н. Обеспечение электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1000 В [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 1. – С. 18–21.

Публикации в других изданиях:

4. Семенова, М.Н. Характеристика времени срабатывания аппаратов защиты в схеме зануления [Текст] / М.Н. Семенова // Наука – производство – технологии – экология: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – Т. 4. – С. 114–117.

5. Семенова, М.Н. Повышение эффективности зануления в сетях электроустановок до 1000 В с глухозаземленной нейтралью [Текст] / М.Н. Семенова // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2007. – Т. 2. – С. 230–231.

6. Семенова, М.Н. Анализ эффективности зануления в воздушных сетях 0,4 кВ [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // Дальневосточная весна – 2008: материалы Международной научно-практической конференции в области экологии и безопасности жизнедеятельности. – Комсомольск-на-Амуре: Изд-во КнАГТУ, 2008. – С. 85–88.

7. Семенова, М.Н. Алгоритм расчета зануления в сетях электроустановок до 1000 В с глухозаземленной нейтралью [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // Наука ЮУрГУ: материалы 60-й юбилейной научной конференции. Секция техн. наук. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – Т. 1. – С. 131–133.

8. Семенова, М.Н. Анализ состояния зануления как защитной меры в линиях электропередачи напряжением 0,4 кВ [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // Безопасность и экология технологических процессов и производств: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ростовская обл., п. Персиановский: Изд-во ДонГАУ, 2008. – С. 319–322.

9. Семенова, М.Н. Общая характеристика воздушных линий напряжением до 1000 В [Текст] / М.Н. Семенова // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (ЭКОЛОГИЯ – 2008): материалы V Международной научно-технической конференции. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2008. – Т. 1. – С. 323–328.

10. Семенова, М.Н. Определение потенциала на зануленных корпусах электропотребителей в воздушных сетях 0,4 кВ [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // Электробезопасность. – 2008. – № 2–3. – С. 23–36.

11. Семенова, М.Н. Разработка методики выбора аппаратов защиты в схеме зануления в воздушных сетях 0,4 кВ [Текст] / М.Н. Семенова // Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской области (2008 г.): сборник рефератов научно-исследовательских работ аспирантов. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 66–67.

12. Семенова, М.Н. К вопросу о применении средств защиты на ВЛ 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью [Текст] / М.Н. Семенова // Энергетика в современном мире: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2009. – Ч. II. – С. 145–148.

13. Семенова, М.Н. О расчете токов короткого замыкания на ВЛ 0,38 кВ [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. – Т. 2. – С. 236–238.

14. Семенова, М.Н. Возможность применения экспертных систем при выборе аппаратов защиты в воздушных сетях 0,4 кВ [Текст] / М.Н. Семенова // Научный поиск: материалы первой научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 168–171.

15. Семенова, М.Н. Определение потенциала на зануленном корпусе электроприемника в нормальном режиме работы линии [Текст] / М.Н. Семенова // *Электробезопасность*. – 2009. – № 1. – С. 31–35.

16. Семенова, М.Н. Обеспечение условий электробезопасности в воздушной четырехпроводной линии 0,4 кВ с изолированной нейтралью [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // *Электробезопасность*. – 2009. – № 2–3. – С. 3–8.

17. Семенова, М.Н. Определение уровня электробезопасности в четырехпроводной сети 0,4 кВ с изолированной нейтралью [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // *Электробезопасность*. – 2009. – № 4. – С. 3–11.

18. Семенова, М.Н. Определение условий эффективности зануления на ВЛ 0,4 кВ для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей Челябинской области [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // *Электробезопасность*. – 2010. – № 1. – С. 21–24.

19. Семенова, М.Н. Аналитическое исследование влияния числа повторных заземлителей нулевого провода на условия электробезопасности в нормальном режиме работы линии [Текст] / М.Н. Семенова // *Достижения науки – агропромышленному производству: материалы XLIX Международной научно-технической конференции*. – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2010. – Ч. 3. – С. 145–150.

20. Семенова, М.Н. Целесообразность перехода от глухозаземленного режима нейтрали к изолированному в сетях электроустановок сельскохозяйственного назначения напряжением до 1000 В [Текст] / М.Н. Семенова, А.И. Сидоров // *Достижения науки – агропромышленному производству: материалы L Международной научно-технической конференции; под ред. д.т.н., проф. Н.С. Сергеева*. – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2011. – Ч. 6. – С. 127–133.