

УДК 621.316.99

*Г.М. КОЛИУШКО, А.В. ПЛИЧКО, Е.Г. ПОНУЖДАЕВА***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «КДЗ-1У» ДЛЯ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЭНЕРГООБЪЕКТА**

Описана методика измерения напряжения прикосновения с использованием измерительного комплекса «КДЗ-1У». Описана конструкция применяемых струбцин и преимущества их использования. Изображены схемы соединения оборудования для определения напряжения прикосновения на территории электроустановки и для измерения переходного сопротивления потенциального электрода. Представлена последовательность действий при измерениях параметров в контрольных точках энергообъекта. Приведен образец документальной фиксации основных и дополнительных параметров для оценки адекватности математической модели заземляющего устройства.

Ключевые слова: заземляющее устройство, напряжение прикосновения, измерительный комплекс «КДЗ-1У», диагностика состояния заземляющих устройств, режим короткого замыкания, сопротивления контактного соединения, адекватность математической модели.

*Г.М. КОЛИУШКО, А.В. ПЛИЧКО, Е.Г. ПОНУЖДАЕВА***ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ «КДЗ-1У» ДЛЯ ОЦІНКИ АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЕНЕРГООБ'ЄКТУ**

Описано методику вимірювання напруги дотику з використанням вимірювального комплексу «КДЗ-1У». Описано конструкцію застосованих струбцин та переваги їх використання. Зображено схеми з'єднання обладнання для визначення напруги дотику на території електроустановки та для вимірювання перехідного опору потенціального електроду. Представлено послідовність дій при вимірюванні параметрів у контрольних точках энергооб'єкта. Наведено зразок документальної фіксації основних та додаткових параметрів для оцінки адекватності математичної моделі заземлювального пристрою.

Ключові слова: заземлювальний пристрій, напруга дотику, вимірювальний комплекс «КДЗ-1У», діагностика стану заземлювального пристрою, режим короткого замикання, опір контактного з'єднання, адекватність математичної моделі.

*G.M. KOLIUSHKO, A.V. PLICHKO, H. G. PONUZHDAYEVA***MEASUREMENT SYSTEM «KDZ-1U» USAGE IN ESTIMATING MATHEMATICAL MODEL'S ADEQUACY OF POWER EQUIPMENT'S GROUNDING CONNECTION**

The description of measurement procedure of contact voltage on the power equipment's control points using measuring system "KDZ-1U", is the main goal of the project. The procedure is based on physical's trials theory, ampere-voltmeter's method and electromagnetic field theory. This procedure permits to obtain needed parameters for estimating mathematical model's adequacy of power equipment's grounding connection. Provided ground clamps' design, and their features were described. Contact voltage measuring circuit on the actual power installation's territory and transition resistance of polarizing electrode measurement schemes were shown. Operating procedure during parameter measurement of power equipment's control points was represented. The prototype of documental recording of main and additional parameters for estimating mathematical model's adequacy of grounding connection was provided.

Keywords: grounding grid system, contact voltage, measuring system "KDZ-1U", grounding connection's state diagnostic; short circuit conditions, contact joint resistance, mathematical model's adequacy.

Введение. Повышение безопасности работы обслуживающего персонала на электроустановках является весьма актуальной задачей. Основным требованием к проектированию электроустановок, сформулированным в правилах ПУЭ [1], является недоступность для случайного прямого прикосновения персоналом к токоведущим частям и отсутствие опасного напряжения на доступных для прикосновения проводящих частях.

Специалистами НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» разработан и введен в Государственный реестр средств измерительной техники, допущенных к применению в Украине, уникальный комплекс оборудования, с помощью которого можно провести полную диагностику заземляющих устройств (ЗУ), в том числе

установить наличие связей электроустановок с ЗУ, указать, каким образом будет растекаться ток короткого замыкания (КЗ) по металлоконструкциям, определить напряжения прикосновения при моделировании КЗ.

С использованием этого комплекса оборудования сотрудники института провели диагностику ЗУ более 1000 объектов, в числе которых четыре ныне действующие АЭС, магистральные подстанции класса напряжения 220-750 кВ, тепло- и гидроэлектростанции, подстанции 35 – 110 (150) кВ областных энергетических компаний, нефтеперекачивающие станции, промышленные и административные здания, а также объекты связи.

Анализ результатов диагностики позволяет сде-

лать вывод о том, что информация о конструктивном исполнении ЗУ зачастую недостоверна из-за отступления от проекта на стадии монтажа ЗУ, замены оборудования или реконструкции объекта без учета реальной схемы ЗУ, коррозии металла, из которого выполнены элементы ЗУ.

Электроустановки, созданные более 30 лет назад, когда токи КЗ не превышали 3-5 кА, спроектированы согласно нормативным требованиям к допустимому значению сопротивления ЗУ. Поэтому на этих объектах достаточно было контролировать сопротивление ЗУ.

В настоящее время с ростом мощностей энергосистем токи КЗ возросли до значений, равных нескольким десяткам кА. Это привело к повышению значений напряжения прикосновения ($U_{\text{прик.}}$) электроустановок при КЗ до величин, опасных для обслуживающего персонала, при этом сопротивление ЗУ могло не превышать допустимого значения (0,5 Ом). В нормативных документах [1, 2] существуют два направления проектирования ЗУ для электроустановок напряжением более 1 кВ в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью: по допустимому значению $U_{\text{прик.}}$ и по допустимому значению сопротивления ЗУ. Приведенный в [3] статистический анализ количества превышений допустимых значений нормируемых параметров ЗУ действующих подстанций свидетельствует о том, что обеспечение допустимого значения сопротивления ЗУ не гарантирует безопасность обслуживающего персонала установки.

Таким образом, для этих целей наиболее актуальным становится контроль $U_{\text{прик.}}$

Определение $U_{\text{прик.}}$ является одним из этапов контроля технического состояния ЗУ электроустановок, периодичность и порядок которого регламентируется действующим нормативным документом [2].

Существующие методы решения задачи. Проверка конструктивного исполнения ЗУ и измерение напряжения прикосновения без вскрытия грунта производится в соответствии с требованиями [2] с использованием измерительного комплекса «КДЗ-1У» [4], внешний вид которого изображен на рис. 1. Комплекс состоит из генератора синусоидального тока ГСТ-3 (поз. 1), измерителя напряжения и индикатора напряженности магнитного поля ИМПН-3 (поз. 2).

Комплекс генерирует переменный ток и напряжение заданной частоты, измеряет их квадратичные значения и определяет наличие магнитного поля, иницированного током, на объекте испытаний.

Измерение $U_{\text{прик.}}$ и приведение его к реальным значениям токов КЗ является трудоемкой задачей. Это связано с трудностями соблюдения методических условий проведения таких измерений. Например, при измерениях $U_{\text{прик.}}$ используется вспомогательный токовый электрод, который необходимо размещать на расстоянии $(1,5 \div 3)D$, где D – наибольший размер ЗУ, в местах, свободных от опор воздушных линий и подземных металлических конструкций, связанных с ЗУ объекта. Для получения достоверных результатов необходимо производить измерения для каждого за-

земляемого оборудования. При небольших размерах районных подстанций (площадью около 1 га) можно измерить значение $U_{\text{прик.}}$ при имитации КЗ на всем обслуживаемом оборудовании, так как его количество невелико. Кроме того, недостатком такой методики является невозможность учесть нелинейную зависимость $U_{\text{прик.}}$ от величины тока КЗ.

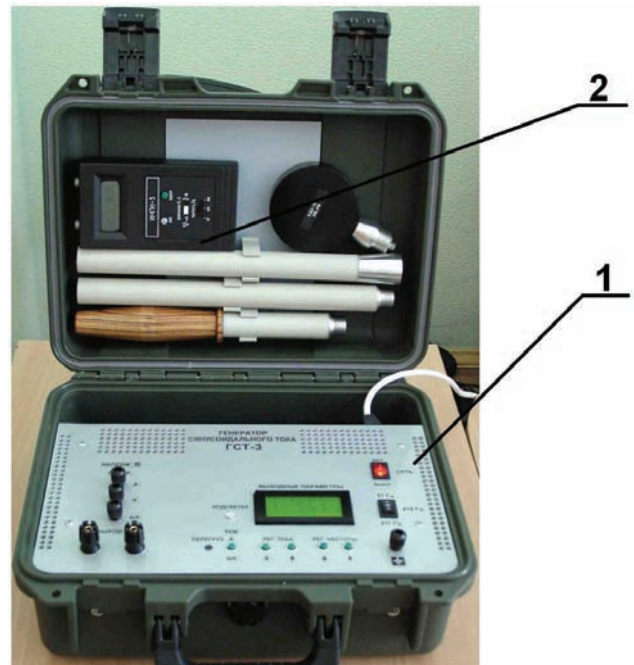


Рисунок 1 – Измерительный комплекс для диагностики состояния заземляющих устройств «КДЗ-1У»:

1 – генератор синусоидального тока ГСТ-3; 2 – измеритель напряжения и индикатор напряженности магнитного поля ИМПН-3

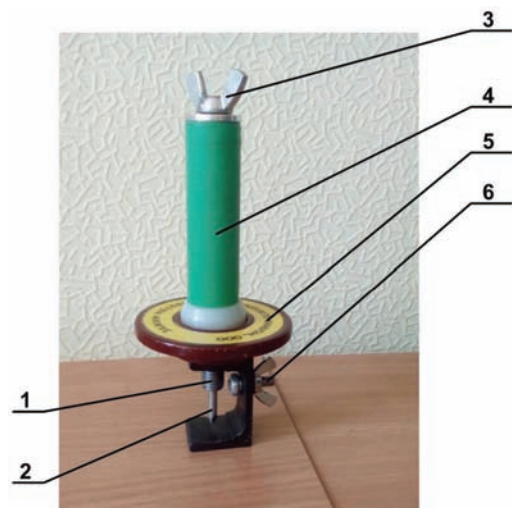


Рисунок 2 – Внешний вид струбины:

1 – контактная часть штока; 2 – наконечник; 3 – рукоятка; 4 – труба; 5 – упор; 6 – контактный винт

При этом, существует значительное количество районных подстанций (площадью в несколько га) с большим количеством обслуживаемого оборудования (не говоря уже о магистральных подстанциях), на которых измерение $U_{\text{прик.}}$ при имитации КЗ произвести

невозможно в связи с большими размерами ЗУ, невозможностью выноса измерительных элементов из-за отсутствия свободного места в условиях плотной застройки. В этих случаях целесообразно произвести измерения на нескольких (не менее шести) единицах обслуживаемого оборудования по упрощенной схеме, а затем при помощи математического моделирования определить $U_{\text{прик}}$ на остальном оборудовании. Разработанный расчетно-экспериментальный метод заключается в создании математической модели ЗУ подстанции и проверке ее адекватности реальным условиям путем сравнения расчетных данных с экспериментальными значениями $U_{\text{прик}}$ в контрольных точках при имитации однофазного КЗ на территории объекта.

Для осуществления этих действий при обследовании ЗУ подстанции определяют схему расположения ЗУ с установленным оборудованием, площадь сечения заземлителя, электрофизические характеристики грунта (число слоев, удельное сопротивление и толщину каждого слоя), а также дополнительные параметры для оценки адекватности математической модели ЗУ.

Целью работы является описание методики измерения $U_{\text{прик}}$ на оборудовании в контрольных точках, а также определение дополнительных параметров при имитации КЗ для дальнейшего сравнения измеренных значений со значениями, полученными в результате математического моделирования.

Описание методики. Специалистами НИПКИ «Молния» разработана методика, определяющая порядок проведения исследовательских испытаний и их документальную регистрацию при диагностике ЗУ электроустановок. В ней описана последовательность действий при снятии характеристик для определения $U_{\text{прик}}$ на территории электроустановок, четкое соблюдение которой является необходимым условием для выполнения поставленной задачи.

На экспериментальное определение напряжения прикосновения влияет ряд факторов, описанных в [5-7], электромагнитные помехи промышленной частоты, распределение тока замыкания на землю по нейтралю силовых трансформаторов, горизонтальная неоднородность плотности верхнего слоя грунта в зоне обслуживания, частота измерительного тока, сопротивление связи между заземляемой конструкцией и заземляющим проводником. Из практики проведения диагностики известно, что в случае не учета рассмотренных факторов суммарная погрешность определения величины $U_{\text{прик}}$ достаточно велика.

При измерениях $U_{\text{прик}}$ в контрольных точках очень важно осуществлять качественный контакт подсоединения проводов к элементам обследуемого объекта, чтобы уменьшить сопротивление связи между ними. Для проведения испытаний была разработана трубка, внешний вид которой представлен на рис. 2.

Конструкция трубки позволяет регулировать силу прижима контактной части штока 1, к элементам заземления. Сам шток, представляет собой винт, со-

стоящий из контактной части, заостренный наконечник 2 которой выполнен из легированной стали, и рукоятки 3. Контактную часть и рукоятку разделяет изолирующая вставка. Шток размещен в изоляционной трубе 4, на которой закреплен упор 5, препятствующий возможности прикосновения обслуживающего персонала к элементам заземления, находящимся под напряжением. Соединительные провода закрепляются на трубине контактным винтом 6.

Экспериментальные исследования с применением трубки показали, что от покрытия заземляющего спуска, силы закручивания и степени изношенности трубки зависят переходные сопротивления соединений, что влияет на результат измерения $U_{\text{прик}}$.

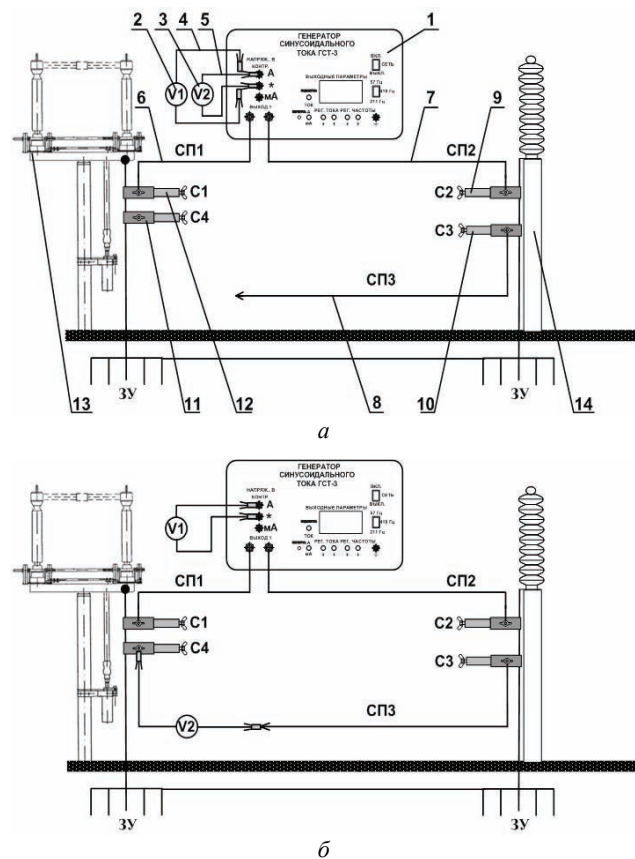


Рисунок 3 – Схема измерений с использованием «КДЗ-1У»: а – измерение напряжения на шунте $U_{\text{ш}}$ [А] для определения тока; б – измерение падения напряжения на ЗУ (U_{3y}); 1 – генератор синусоидального тока ГСТ-3; 2 – измеритель напряжения и индикатор напряженности магнитного поля V1 (ИМПН-3 №1); 3 – измеритель напряжения и индикатор напряженности магнитного поля V2 (ИМПН-3 № 2); 4 – провод измерительный № 1; 5 – провод измерительный № 2; 6 – провод соединительный СП1; 7 – провод соединительный СП2; 8 – провод соединительный СП3; 9 – трубка C1; 10 – трубка C2; 11 – трубка C3; 12 – трубка C4; 13 – объект, на котором производятся измерения; 14 – объект, относительно которого производятся измерения

Для более точного измерения $U_{\text{прик}}$ следует соблюдать нижеприведенные рекомендации:

– при испытаниях производить измерения по методу амперметра-вольтметра, пользуясь схемами соединения оборудования согласно рис. 3, 4;

- при измерениях малых значений $U_{\text{прик}}$ подключать струбцину к заземляющему спуску у самой земли;
- в качестве объекта, относительно которого производятся измерения, лучше всего использовать опорный изолятор, имеющий один заземляющий спуск и у которого нет связи с ЗУ по кабелям и металлоконструкциям.

В начале проведения испытаний нужно собрать схему, представленную, на рис. 3, а, для настройки и проверки измерительного комплекса «КДЗ-1У». Для этого понадобится следующее оборудование: комплекс «КДЗ-1У», струбцины – 4 шт., соединительные провода – 4 шт., дополнительно ИМПН-3 (измерительные провода входят в комплект ИМПН-3).

Одну клемму Выход 1 генератора ГСТ-3 (рис. 3, а, поз. 1) соединяем при помощи соединительного провода СП1 (поз. 6) и струбцины С1 (поз. 12) с заземляющим проводником объекта 13, вторую – при помощи СП2 (поз. 7) и струбцины С2 (поз. 9) с заземляющим проводником объекта 14. Струбцину С3 (поз. 8) и соединительный провод СП3 (поз. 9) соединяем с заземляющим проводником объекта (поз. 14). Согласно п. 3.3.2 руководства по эксплуатации подготовим комплекс КДЗ-1 к работе. Установим на генераторе ГСТ-3 переключатель выбора частоты в положение 57 Гц, а кнопку ТОК в положение А. Включим генератор, подсоединив сетевой шнур к сети питания и переключив выключатель СЕТЬ в положение ВКЛ. Установив на измерителях V1 и V2 (поз. 2, 3) переключатель ЧАСТОТА, Гц в положение 57 Гц, а переключатель ДИАПАЗОН, Н, U – в положение мА/мВ, подсоединим к разъему U измерительные провода №1 и №2 (поз. 4, 5). Включим V1 и V2 кнопками ВКЛ., произведем настройку генератора на выбранную частоту работы измерителей, для этого кнопками РЕГ. ЧАСТОТЫ ↓ и ↑ установим значение, соответствующее максимальным показаниям регистратора при работе на заданной частоте. Исходя из практического опыта с целью уменьшения влияния помех и для удобства дальнейшего расчета целесообразно на генераторе кнопками РЕГ. ТОКА ↓ и ↑ установить значение тока ~ 4,5 А. Заполним табл. 1 (значения сопротивления шунтов $R_{\text{ш [A]}}$ и $R_{\text{ш [mA]}}$ – постоянные величины, указанные в руководстве по эксплуатации на комплекс, значение напряжения на шунте $U_{\text{ш [A]}}$ соответствует показаниям измерителя V1).

Таблица 1 – Параметры измерения напряжения прикосновения

Наименование оборудования, на котором измеряется напряжение прикосновения	Параметры измерения напряжения прикосновения				Параметры измерения сопротивления пластины				Оборудование, относительно которого измеряется напряжение прикосновения
	$U_{\text{ш [A]}}$ мВ	$U_{\text{зУ}}$ мВ	$U_{\text{ш [A]}}$ мВ	$U_{\text{ш [mA]}}$ мВ	$U_{\text{ш [A]}}$ мВ	$U_{\text{ш [mA]}}$ мВ	$R_{\text{ш [A]}}$ В	$R_{\text{ш [mA]}}$ Ом	
*****	***	***	***	***	***	***	***	***	

Для измерения падение напряжения на ЗУ ($U_{\text{зУ}}$) между объектами (рис. 3, поз. 13, 14), соединим измеритель V2 со струбциной С4 (поз. 11, рис. 3, а) и с соединительным проводом СП3 согласно рис. 3, б.

Зафиксируем показания измерителя V2 и занесем его в колонку $U_{\text{зУ}}$ в табл. 1. Для измерения напряжения прикосновения $U_{\text{прик}}$ на испытываемом объекте соберем схему, изображенную на рис. 4.

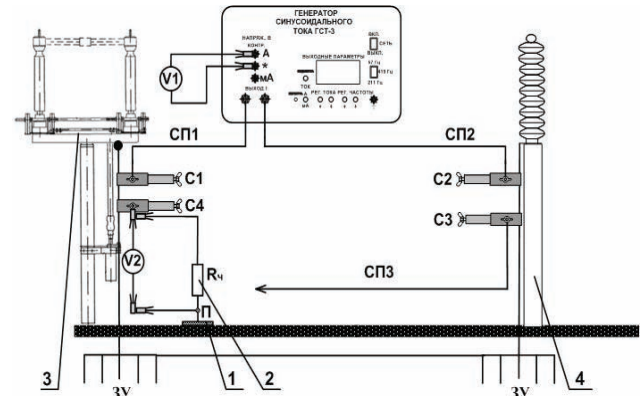


Рисунок 4 – Схема измерения $U_{\text{прик}}$ на территории электроустановки:

- 1 – вспомогательный потенциальный электрод (пластина П);
- 2 – $R_{\text{ч}} = 1\text{кОм}$, резистор, имитирующий сопротивление тела человека, 3 – объект, на котором производится измерения;
- 4 – объект, относительно которого производится измерения

В качестве вспомогательного потенциального электрода (в дальнейшем пластина), используется латунная пластина 250 x 250 мм, толщиной 0,8-1 мм, закрепленная на листе фанеры, имитирующая стопы ног человека. Установим пластину 1 (рис. 4) с грузом не менее 50 кг на расстоянии 0,8 м от заземляющего проводника объекта 3, предварительно выровняв и увлажнив грунт в месте установки в целях имитации наихудших условий.

Подсоединим зажимы измерительных проводов измерителя V2 к струбцине С4 и к пластине 1. Сопротивление $R_{\text{ч}}$, имитирующее сопротивления человека и равное 1 кОм (поз. 2), подсоединим к струбцине С4 согласно рис. 4. Зафиксируем показание измерителя V2, соответствующее $U_{\text{прик}}$, которое следует занести в табл. 1. Для определения напряжения помехи $U_{\text{помехи}}$ нужно установить на генераторе переключатель СЕТЬ в положение ВЫКЛ., и, не изменяя схемы измерения, зафиксировать по показаниям измерителя V2 значение $U_{\text{помехи}}$, занести его табл. 1. При больших значениях $U_{\text{помехи}}$ ($U_{\text{прик}} / U_{\text{помехи}} < 3$) необходимо скорректировать измеренное значение напряжения прикосновения, пользуясь формулой: $U'_{\text{прик}} = K_{\text{помехи}} \times U_{\text{прик}}$, где $K_{\text{помехи}}$ – коэффициент, определяемый по графику, представленному на рис. 5.

Собрав схему см. рис. 6, определим переходное сопротивление пластины $R_{\text{пласт}}$ при КЗ. Для этого установим на измерителе V2 переключатель ДИА-

ПАЗОН Н, U – в положение А/м, В, отсоединим соединительный провод СП1 от струбины С1 и подсоединим его при помощи зажима к пластине. Сопротивление R_4 отсоединим от струбины С4, а зажимы измерительных проводов измерителя V1 подсоединим к клеммам КОНТРОЛЬ (мА) и (*) генератора ГСТ-3. Включим генератор, установим кнопку ТОК в положение мА. Кнопкой РЕГ. ТОКА ↑ установим на генераторе максимальную величину тока. В табл. 1 занесем значения напряжения пластины $U_{\text{пласт}}$ (по показаниям измерителя V2) и значение напряжения шунта $U_{\text{ш}}$ [мА] (по показаниям измерителя V1). Имея значения $U_{\text{пласт}}$ и $U_{\text{ш}}$ [мА], определим значение $R_{\text{пласт}}$, пользуясь формулами, приведенными в табл. 1.

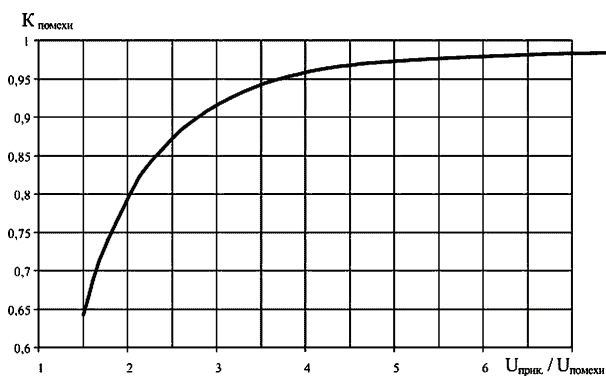


Рисунок 5 – График для определения коэффициента помехи промышленной частоты $K_{\text{помехи}}$.

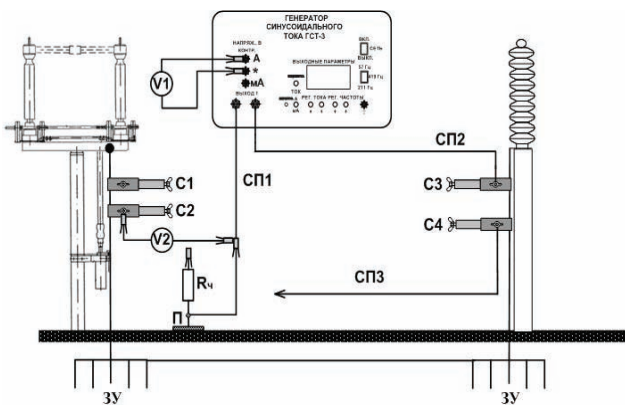


Рисунок 6 – Схема измерения переходного сопротивления $R_{\text{пласт}}$.

В дальнейшем нужно произвести аналогичные измерения для всех исследуемых единиц оборудования (не менее шести) и занести их в табл. 1.

Для численного моделирования аварийных режимов работы ЗУ с сеткой произвольной конфигурации была разработана программа «GROUND 1.0» [8], с использованием которой, проводятся расчеты значений $U_{\text{прик}}$ при КЗ на территории подстанции, и анализируется реакция ЗУ в аварийных режимах. Исходными данными для расчета являются реальная схема подстанции, координаты узлов и порядок их соедине-

ния, глубина залегания и площадь сечения заземлителей, а также величина тока КЗ, удельное электрическое сопротивление грунта, удельное сопротивление материала, из которого изготовлен заземлитель. Чем крупнее ЗУ объекта, чем больше оборудования на нем установлено, тем больше количество соединений, тем сложнее и продолжительнее расчет [9].

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными позволяет оценить соответствие математической модели реальным условиям. После чего выполняется математическое моделирование аварийных режимов по всей территории подстанции при реальном значении тока КЗ для определения значения $U_{\text{прик.}}$. По результатам расчетно-экспериментального метода выдаются рекомендации, необходимые для приведения ЗУ энергообъекта в соответствие с требованиями существующих нормативных документов.

Выводы

Использование описанной в статье методики измерений позволяет определить параметры, необходимые для оценки адекватности математической модели ЗУ, что важно для получения достоверных значений напряжения прикосновения на электроустановках.

Использование расчетно-экспериментального метода и приведенной в статье методики уменьшает временные и ресурсные затраты при обследовании ЗУ подстанции и его ремонте.

Список литературы:

1. Правила улаштування електроустановок. [Чинне від 20.11.2014]. – Х.: Міненерговугілля України, 2014. – 793 с. – (Національний стандарт України).
2. Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681-19:2009 – [Чинний від 2010-03-29] – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 54 с. – (Національний стандарт України).
3. Колиушко Д.Г. Анализ состояния ЗУ действующих энергообъектов Украины / Д.Г. Колиушко, С.С. Руденко, Г.М. Колиушко // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2017. – Вып. 15. – С. 44-48.
4. Богатырев И.Н. Модернизированный измерительный комплекс «КДЗ-1У» / И.Н. Богатырев, В.И. Доценко, О.С. Недзельский, Е.Г. Понуждаева // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 17. – С. 15-18.
5. Колиушко Д.Г. Определение напряжения прикосновения на оборудовании подстанций с учетом статистического характера расчетов сопротивления грунта / Д.Г. Колиушко, Г.М. Колиушко, А.А.Петков // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 21. – С. 138-145.
6. Воронина З.А. Влияние частоты измерительного тока при измерении напряжения прикосновения на электрооборудовании энергообъектов с использованием измерительного комплекса «КДЗ-1У» / З.А. Воронина, О.Ю. Глебов, В.М. Жинжиков, Д.Г. Колиушко, Г.М. Колиушко, И.Ю. Линк, А.В. Пличко // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 3. – С. 164-170.

7. Воронина З.А. Влияние сопротивления связи между заземляемой конструкцией и заземляющим проводником на величину измеренного напряжения прикосновения / З.А. Воронина, В.В. Вытришко, В.О. Еремеев, А.В. Кащеев, Г.М. Колиушко // Электрические сети и системы. – 2012. – № 4. – С. 80-85.
8. Колиушко Д.Г. Совершенствование диагностики заземляющих устройств электроэнергообъектов. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.11.13. Х. НТУ «ХПИ». 2003, 172 с.
9. Колиушко Д.Г. Особенности расчета заземляющих устройств электроэнергообъектов / Д.Г. Колиушко // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – Вып. 21. – 98-103.

Bibliography (transliterated):

1. Pravila ulashtuvannya elektroustanovok. [Chinne vid 20.11.2014]. Kharkiv: MInenergovugiyla Ukraini, 2014. 793 p. (Natsionalniy standart Ukraini).
2. Viprobuвання та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова Інструкція. SOU 31.2-21677681-19:2009 [Chinniy vid 2010-03-29]. Kyiv: Minpalivenergo Ukraini, 2010. 54 p. (Natsionalniy standart Ukraini).
3. Koliushko D.G., Rudenko S.S., Koliushko G.M., Analiz sostoyaniya ZU deystvuyuschih energoob'ektov Ukraini. Visnyk NTU "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI". 2017. Vol. 15. P. 44-48.
4. Bogatyrev I.N., Dotsenko V.I., Nedzelskiy O.S.,

- Ponuzhdaeva E.G., Modernizirovannyiy izmeritelnyiy kompleks "KDZ-1U". Visnyk NTU "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI". 2006. Vol. 17. P. 15-18.
5. Koliushko D.G., Koliushko G.M., Petkov A.A. Opredelenie napryazheniya prikosnoveniya na oborudovanii podstantsiy s uchetom statisticheskogo haraktera raschetov soprotivleniya grunta. Visnyk NTU "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI". 2012. Vol. 21. P. 138-145.
 6. Voronina Z.A., Glebov O.Yu., Zhinzhirov V.M., Koliushko D.G., Koliushko G.M., Link I.Yu., Plichko A.V. Vliyanie chastoty izmeritel'nogo toka pri izmerenii napryazheniya prikosnoveniya na elektrooborudovanii energoob'ektov s ispolzovaniem izmeritel'nogo kompleksa "KDZ-1U". Visnyk NTU "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI". 2006. Vol. 3. P. 164-170.
 7. Voronina Z.A., Vyitrishko V.V., Eremeev V.O., Kascheev A.V., Koliushko G.M. Vliyanie soprotivleniya svyazi mezhdz zamelyaemoy konstruksiy i zamelyaushchim provodnikom na velichinu izmerennogo napryazheniya prikosnoveniya. Elektricheskie seti i sistemy. 2012. No 4. P. 80-85.
 8. Koliushko D.G. Sovershenstvovanie diagnostiki zamelyaushchih ustroystv elektroenergoob'ektov. Diss. na soiskanie uchenoy stepeni kand. tehn. nauk: 05.11.13. – Kharkiv: NTU "KhPI". 2003, 172 p.
 9. Koliushko D.G. Osobennosti raschyota zamelyaushchih ustroystv elektroenergoob'ektov. // Visnyk NTU "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI". 2008. Vol. 21. P. 98-103.

Поступила (received) 12.03.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Колиушко Георгій Михайлович (Коліушко Георгій Михайлович, Koliushko Georgiy Mykchailovych) – провідний науковий співробітник, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут «Молнія» НТУ «ХПИ»; тел.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5_molniya@ukr.net.

Плічко Андрій Валерійович (Пличко Андрей Валерьевич, Plichko Andrii Valeriyovych) – молодший науковий співробітник, Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут «Молнія» НТУ «ХПИ»; тел.: (057) 707-66-71; e-mail: nio5_molniya@ukr.net.

Понуждаєва Олена Геннадіївна (Понуждаева Елена Геннадьевна, Ponuzhdayeva Helena Gennad'evna) – завідувач лабораторії, Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут «Молнія» НТУ «ХПИ»; тел.: (057) 707-61-77; e-mail: nio5_molniya@ukr.net.