

РАСЧЕТ ДОБАВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И КОНСТРУКЦИИ ДАТЧИКА ТОКА УТЕЧКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИЗОЛЯТОРА

В статье представлены результаты лабораторных испытаний, проводимых для определения порядка тока утечки с целью расчета сопротивления изоляции без отключения напряжения. Выбраны материалы для создания дополнительного сопротивления. Рассчитаны статическая и динамическая нагрузки на конструкцию. Определено сечение стержня резистора.

Ключевые слова: ток утечки, изоляторы, переменное напряжение, добавочное сопротивление.

Введение. В настоящее время одним из важных вопросов в энергетике является повышение надежности изоляционных конструкций оборудования воздушных линий электропередач (ЛЭП). При существующих методах контроля и диагностики изоляции ЛЭП мероприятия проводятся при отключенном оборудовании. Целесообразно производить контроль изоляции ЛЭП постоянно, под напряжением.

Известны методы, которые основываются на контроле инфракрасного излучения оборудования. Недостатком такого метода является также периодичность обследования или установка камер вдоль всей ЛЭП, что экономически невыгодно.

Предлагается использовать устройство контроля и диагностики изоляции ЛЭП без отключения напряжения. В связи с этим проблема создания методик контроля изоляции ЛЭП под рабочим напряжением является актуальной [1].

Постановка задачи. В настоящее время имеется техническое решение контроля и диагностики изоляции ЛЭП без отключения напряжения. Например, известен оптико-электронный датчик тока и напряжения, структурная схема которого представлена на рис. 1 [2].

Принцип работы датчика заключается в следующем: ток ЛЭП протекает через шунт, возникает падение напряжения, в результате на вход первого аналого-цифрового преобразователя (АЦП) подается токовый сигнал. Подобным образом подается сигнал напряжения на вход второго АЦП через соединенные высокоомные и низкоомный резисторы. На выходах АЦП присутствуют сигналы, соответствующие аналоговым в параллельном цифровом коде, которые после преобразователя появляются в последовательном коде. Эти сигналы поступают в приемник через волоконно-оптический канал связи с помощью излучающих светодиодов. Блок питания имеет батареи светоизлучателей, преобра-

зующие электрическую энергию в энергетический световой поток. По дополнительным оптическим каналам связи энергетический световой поток направляется в батарею фотоэлементов, которая преобразует энергетический световой поток в электрическую энергию. Блок питания необходим для питания передающего блока.

Приведенный датчик может измерять ток линии и ток утечки изоляторов, так как в качестве датчиков используются безынерционные активные резисторы. Ток утечки изоляторов является важнейшим параметром их состояния. По нему можно определить электрическое активное сопротивление изолятора в процессе его старения [3, 4] и контролировать работу для прогнозирования выхода из строя. Необходимо помнить также, что наличие загрязнений по поверхности изолятора приводит к увеличению активного тока утечки [5].

Выпускается большое разнообразие изоляторов как по назначению, так и по видам изоляции. Исследуем ток утечки через изоляторы имеющихся в наличии марок: стеклянные ШС10Е, ПС70Е и фарфоровые изоляторы ШФ20Г и ШФ10Г на переменном напряжении, предварительно сделав математические расчеты [6, 7].

Теория. В ПУЭ [8] нормировано сопротивление изоляции изолятора, которое должно быть не менее 300 МОм на напряжение 10 кВ [8]. Следовательно, ток утечки через изолятор:

$$I_{\text{утеч}} = \frac{U_c}{R_{\text{из}}} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 300 \cdot 10^6} = 1,92 \cdot 10^{-5} \text{ А}, \quad (1)$$

где U_c — напряжение сети, кВ; $R_{\text{из}}$ — сопротивление изоляции изолятора, МОм.

Добавочное сопротивление:

$$R_{\Lambda} = \frac{\Delta U}{I_{\text{утеч}}} = \frac{2}{1,92 \cdot 10^{-5}} = 104167 \text{ Ом} = 104 \text{ кОм}, \quad (2)$$

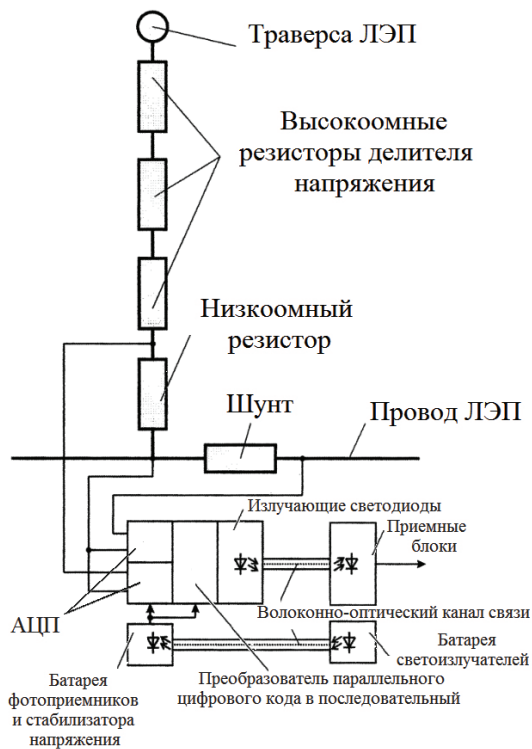


Рис. 1. Структурная схема опико-электронного датчика тока и напряжения

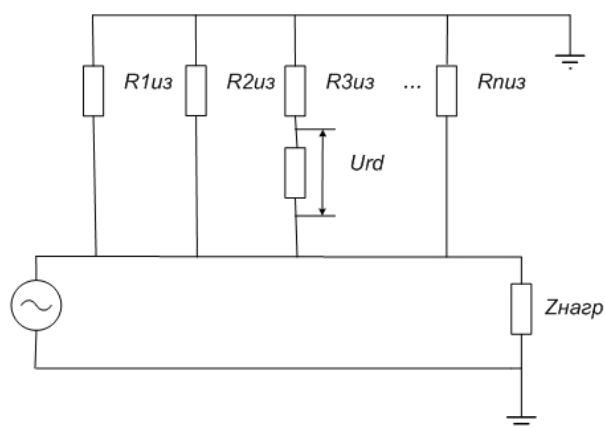


Рис. 2. Схема замещения ЛЭП

где ΔU — действующее значение напряжения, кВ.

Причем схема замещения ЛЭП с предлагаемым методом представлена на рис. 2.

Эксперименты. Для проведения эксперимента необходимы:

- высоковольтный источник напряжения — АИД-70М;
- изоляторы марок: ШС10Е, ПС70Е, ШФ20Г и ШФ10Г;
- персональный компьютер;
- соединительные провода.

Методика эксперимента на переменном напряжении:

1. Собрать электрическую схему (рис. 3), поочередно подключая для испытания один из изоляторов имеющихся марок: ШС10Е, ПС70Е, ШФ20Г и ШФ10Г (рис. 4, 5).

2. При помощи блока генератора АИД-70М (рис. 4) подать переменное напряжение на испыту-

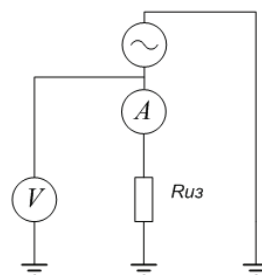


Рис. 3. Электрическая схема эксперимента



Рис. 4. Испытуемые изоляторы ПС70Е, ШС10Е и ШФ10Г (изображены по порядку слева направо)



Рис. 5. Изолятор фарфоровый ШФ-20Г

емый изолятор, которое с постепенным увеличением от 0 до 20 кВ. В точках, где напряжение равно было 10 кВ и 20 кВ, зафиксировать значения токов утечки.

Экспериментальные значения токов утечки при подаче переменного напряжения отображены в табл. 1 для каждого испытуемого изолятора.

3. После измерения токов утечки через испытуемые изоляторы необходимо рассчитать их сопротивления. Из формулы (1) выразим $R_{из}$ и найдем его значение для каждого изолятора. В формуле (3) представлен расчет $R_{из}$ для изолятора марки ШФ20Г и поданным на него напряжением, равным 10 кВ.

$$R_{из} = \frac{U_c}{I_{утеч}} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 57735027 \text{ Ом} = 58 \text{ МОм.} \quad (3)$$

Экспериментальные значения токов утечки при подаче переменного напряжения

Марка изолятора	Значение переменного напряжения, кВ	Значение тока утечки, мкА	Расчетное значение сопротивления, МОм
ШФ20Г	10	100	58
	20	220	52
ШФ10Г	10	70	82
	20	220	52
ШС10Е	10	110	52
	20	300	38
ПС70Е	10	200	29
	20	500	23

Пересчитаем в соответствии с реальными измеренными и рассчитанными параметрами утечек, напряжений и сопротивлений изоляторов соответствующие им необходимые добавочные сопротивления. В формуле (4) приведен расчет добавочного сопротивления для изолятора марки ШФ20Г и поданным на него напряжением, равным 10 кВ:

$$R_{\Delta} = \frac{\Delta U}{I_{\text{утеч}}} = \frac{2}{100 \cdot 10^{-6}} = 20\,000 \text{ Ом} = 20 \text{ кОм}, \quad (4)$$

В табл. 2 приведены рассчитанные значения добавочных сопротивлений для каждого из рассматриваемых марок изоляторов.

Расчет напряжения, подаваемого на АЦП, с использованием рассчитанных данных для изолятора марки ШС10Е:

$$I_{\text{утеч}} = \frac{U_c}{R_{\text{из}}} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 52 \cdot 10^6} = 11,1 \cdot 10^{-5} \text{ А}, \quad (5)$$

$$U_c = I_{\text{утеч}} \cdot R_{\text{из}} = 11,1 \cdot 10^{-5} \cdot 18 \cdot 10^3 = 1,999 \text{ В}. \quad (6)$$

Статический расчет. Предполагаем, что добавочный резистор будет использован для сетей с напряжением 6–35 кВ и выполнен из материала константан, который представляет собой термостабильный сплав на основе меди (Cu около 59 %) с добавкой никеля (Ni 39–41 %) и марганца (Mn 1–2 %).

Удельное электрическое сопротивление данного материала составляет 0,45–0,52 мкОм·м [9]. Относительно манганина значение на 0,03 выше, но при этом температурный коэффициент константана ($\alpha = 0,000005$), на два порядка меньше, чем у манганина ($\alpha_{\text{Mn}} = 0,0003$), что позволит материалу сохранить практически неизменным свое сопротивление при изменении температуры [10]. Этими параметрами был и обусловлен выбор материала.

Произведем пример расчета на марке сталеалюминиевого провода АСК-120/19 [11]. Среднее расстояние между опорами напряжением 35 кВ состав-

Таблица 2

Рассчитанные значения добавочных сопротивлений для рассматриваемых изоляторов

Марка изолятора	Значение тока утечки, мкА	Значение добавочного сопротивления, кОм
ШФ20Г	100	20
	220	9
ШФ10Г	70	29
	220	9
ШС10Е	110	18
	300	7
ПС70Е	200	10
	500	4

ляет около 50 м. Тогда необходимо рассчитать вес провода при соблюдении данных условий.

Вес провода АСК-120/19, выдерживаемый резистором, найдем по формуле:

$$P = P_0 \cdot L \cdot g = 471 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 231,03 \text{ Н}, \quad (7)$$

где P_0 — удельная масса провода марки АСК-120/19, кг/км; L — длина провода, км; g — ускорение свободного падения на поверхности Земли, м/с².

Расчетное сопротивление стеклопластика на основе эпоксидной смолы принимаем $R_{\text{расч}} = 1000 \text{ МПа}$ [12].

Таким образом, необходимая площадь поперечного сечения стеклопластика на основе эпоксидной смолы в резисторе из условия прочности определяется выражением:

$$F_{необ} = \frac{N}{R_{расч}} = \frac{231,03 \cdot 10^{-6}}{1000} = 0,23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, \quad (8)$$

где N — нормальная сила, приложенная в центр тяжести сечения (является равнодействующей внутренних сил в сечении) $P \cdot 10^{-6}$.

Условия прочности стеклопластика на основе эпоксидной смолы в резисторе определяется выражением:

$$F_{необ} = 0,25\pi d_{необ}^2. \quad (9)$$

Из предыдущей формулы выразим величину $d_{необ}$:

$$d_{необ} = \sqrt{\frac{4F_{необ}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,23 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 0,00054 \text{ м} = 0,05 \text{ см}. \quad (10)$$

Условие жесткости при центральном растяжении-сжатии:

$$\varepsilon_{\max} \leq [\varepsilon], \quad (11)$$

где ε_{\max} — максимальное напряжение в конструкции, ε — характеристика материала (допускаемое напряжение);

$$\frac{N}{EA} \leq \frac{1}{100}, \quad (12)$$

где E — модуль упругости стали, равный $2 \cdot 10^5$ МПа [13].

Площадь поперечного сечения из данного условия:

$$F_{необ} = \frac{100N}{E} = \frac{100 \cdot 231,03 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^5} = 0,012 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2. \quad (13)$$

Диаметр стойки из условия жесткости:

$$d_{необ} = \sqrt{\frac{4F_{необ}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,012 \cdot 10^{-5}}{3,14}} = 0,0004 \text{ м} = 0,04 \text{ см}. \quad (14)$$

Окончательно принимаем из двух диаметров больший, $d = 0,05$ см.

Таким образом, большая механическая прочность стеклопластика на основе эпоксидной смолы позволяет использовать минимальное количество материала для изготовления резистора.

Расчет удельных механических нагрузок. Динамический расчет. Предварительный расчет необходимых параметров:

— радиус провода марки АСК-120/19:

$$r_{np} = \sqrt{\frac{S_{np}}{\pi}} \cdot 10^{-3} = 6,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (15)$$

где S_{np} — сечение провода марки АСК-120/19, мм²;
— F_p — расчетное (действительное) сечение всего провода, которое отличается от номинального:

$$F_p = \frac{\pi \cdot r_{np}^2}{4} = \frac{\pi \cdot (6,18 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2. \quad (16)$$

Удельные нагрузки γ_i кг/м·мм² на провода учитывают механические силы от веса проводов и гололедных образований, а также давление ветра на провода без гололеда или с гололедом.

Удельные нагрузки относятся к единице длины и единице поперечного сечения провода и применяются во всех расчетах конструктивной части воздушной линии (ВЛ) [14].

Нагрузка от массы провода γ_1 :

$$\gamma_1 = g \frac{G_0}{F_p} = 9,81 \frac{0,324}{3 \cdot 10^{-5}} = 1,059 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^3, \quad (17)$$

где G_0 — масса 1 м провода, кг/м.

Нагрузка от массы гололеда γ_2 :

$$\gamma_2 = g \frac{G}{F_p} = 9,81 \cdot 2827 \frac{b \cdot (d + b)}{F_p} = 9,81 \cdot \frac{0,245}{3 \cdot 10^{-5}} = 8,026 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3, \quad (18)$$

где G — масса гололеда (кг) на проводе,

$$G = V \cdot \rho_{\lambda} = 2,727 \cdot 10^{-4} \cdot 900 = 0,245 \text{ кг}, \quad (19)$$

где V — объем гололеда на проводе длиной 1 метр, см³.

$$V = \pi b(d + b) = \pi b(2 \cdot r_{np} + b) = \pi \cdot 5 \cdot 10^{-3}(2 \cdot 6,18 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3}) = 2,727 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3, \quad (20)$$

где d — диаметр провода, м; b — толщина стенки гололеда, мм. Омск и Омская область относятся к гололедным районам 1–2, поэтому выбираем самый суровый вариант. Для второго района $b = 5$ мм; $\rho_{\lambda} = 900$ кг/м³ — плотность льда.

Нагрузка от массы провода и гололеда, γ_3 :

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2 = 1,059 \cdot 10^5 + 8,026 \cdot 10^4 = 1,862 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^3. \quad (21)$$

Нагрузка от давления ветра на провод без гололеда, γ_4 :

$$\gamma_4 = \frac{a \cdot C_x \cdot q_{\max} \cdot d}{1000 \cdot F_p} \cdot 10^6 = \frac{1 \cdot 1,2 \cdot 4,096 \cdot 15,2}{1000 \cdot 181,5} \cdot 10^6 = 411,7 \text{ Н/м}^3, \quad (22)$$

где a — коэффициент, учитывающий неравномерность скорости ветра по длине пролета, принимается в зависимости от скоростного напора ветра, q_{\max} (Н/м²) по табл. 3.

$$q_{\max} = \frac{v^2}{1,6} = \frac{24^2}{1,6} = 360 \text{ Н/м}^2, \quad (23)$$

где v — максимальная скорость ветра, м/сек. В Омске максимальная скорость ветра составляет 24 м/сек [15].

$$a = \frac{100 - \frac{360 - 270}{(400 - 270)/(100 - 85)}}{100} = 0,896. \quad (24)$$

C_x — аэродинамический коэффициент; C_x — 1,1 для проводов с $d = 20$ мм и более и при отсутствии голо-

леда; C_x — 1,2 для проводов с $d < 20$ мм, а также для всех проводов, покрытых гололедом; F_p — площадь сечения провода, м^2 .

Удельная нагрузка от давления ветра на провод с гололедом γ_5 :

$$\gamma_5 = \frac{a \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot q_{\max} \cdot (d + 2 \cdot b)}{1000 \cdot F_p} =$$

$$= \frac{0,896 \cdot 1,2 \cdot 0,25 \cdot 360 \cdot (2 \cdot 6,18 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3})}{1000 \cdot 3 \cdot 10^{-5}} =$$

$$= 159,511 \text{ Н/м}^3. \quad (25)$$

Суммарная ударная нагрузка на провод от его массы и давления ветра на провод γ_6 :

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2} = \sqrt{(1,059 \cdot 10^5)^2 + 159,511^2} = 1,059 \text{ Н/м}^3. \quad (26)$$

Нагрузка γ_6 на 1 м провода:

$$q_1 = \gamma_6 (S_{np} \cdot 10^{-6}) \cdot l_1 =$$

$$= 1,059 \cdot 10^5 \cdot (120 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 = 12,714 \text{ Н}, \quad (27)$$

где l_1 — длина провода, м ($l_1 = 1$).

Нагрузка γ_6 на 50 м провода ($l_2 = 50$):

$$q_2 = \gamma_6 (S_{np} \cdot 10^{-6}) \cdot l_2 =$$

$$= 1,059 \cdot 10^5 \cdot (120 \cdot 10^{-6}) \cdot 50 = 635,689 \text{ Н}. \quad (28)$$

Суммарная удельная нагрузка на провод от массы провода, массы гололеда и давления ветра γ_7 :

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2} =$$

$$= \sqrt{(1,862 \cdot 10^5)^2 + 72,139^2} = 1,862 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^3. \quad (29)$$

Нагрузка γ_7 на 1 м провода ($l_3 = 1$):

$$q_3 = \gamma_7 (S_{np} \cdot 10^{-6}) \cdot l_3 =$$

$$= 1,862 \cdot 10^5 \cdot (120 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 = 22,345 \text{ Н}. \quad (30)$$

Нагрузка γ_7 на 50 м провода ($l_4 = 50$):

$$q_4 = \gamma_7 (S_{np} \cdot 10^{-6}) \cdot l_4 =$$

$$= 1,862 \cdot 10^5 \cdot (120 \cdot 10^{-6}) \cdot 50 = 1,117 \cdot 10^3 \text{ Н}. \quad (31)$$

Определим сечение стержня из стеклотекстолита для изготавливаемого дополнительного резистора. Для марки стеклотекстолита ВФТ-С прочность при разрыве $392 \text{ МПа} = 3997,3 \text{ кгс/см}^2$ [16]. Тогда сечение стержня с утроенным воздействием силы $q_4 = 1117 \text{ Н} = 114 \text{ кгс}$:

$$S_{cm} = \frac{3997,3}{3 \cdot 114} = 11,7 \text{ см}^2. \quad (32)$$

Диаметр стержня:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4S_{cm}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11,7}{3,14}} = 3,9 \text{ см} = 39 \text{ мм}. \quad (33)$$

Конструкция добавочного резистора. На рис. 6 представлен чертеж добавочного резистора.

Резистор выполнен из стеклопластика (стеклотекстолита). На стержень намотан константановый провод, концы которого закреплены к металличе-

Определение коэффициента a

q_{\max}	До 270	400	550	700 и более
a	1	0,85	0,75	0,70

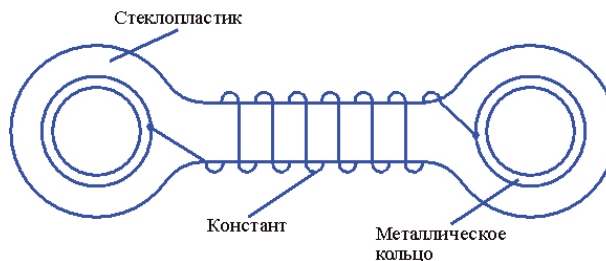


Рис. 6. Конструкция добавочного резистора

ским кольцам, вставленные в проушины стеклопластика.

Заключение. В работе определен диапазон токов утечек изоляторов, рассчитаны дополнительные сопротивления, которые предполагается использовать в проектируемой системе диагностирования. Произведен статический и динамический расчет нагрузок на конструкцию для определения диаметра стержня добавочного резистора. Разработана конструкция добавочного резистора.

Таким образом, рассчитанная конструкция резистора будет использована в качестве датчика тока утечки высоковольтного изолятора в системе диагностирования на средний класс напряжения 6–35 кВ.

Библиографический список

1. Арбузов Р. С. Исследования и совершенствование метода оптического контроля внешней изоляции электрооборудования высокого напряжения: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2005. 203 с.
2. Пат. 2608335 Российская Федерация, МПК G 01 R 19/00. Оптико-электронный датчик тока и напряжения / Никитин К. И., Поляков Д. А., Довбня Б. Я., Клецель М. Я., Максимов В. М. № 2015116387; заявл. 29.04.15; опубл. 17.01.17, Бюл. № 2.
3. Chunhua F., Jianguo W., Yang L. [et al.]. Composite Insulators Leakage Current Measurement System Based on LabView // 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Nov. 9–12, 2008. Chongqing, 2008. P. 113–115. DOI: 10.1109/ICHVE.2008.4773886.
4. Привалов Е. Е. Диагностика внешней изоляции электроэнергетического оборудования. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2015. 66 с. ISBN 978-5-4475-3705-0.
5. Ramirez I., Hernandez R., Montoya G. Measurement of leakage current for monitoring the performance of outdoor insulators in polluted environments // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2012. Vol. 28, Issue 4. P. 29–34. DOI: 10.1109/MEI.2012.6232007.
6. Изолятор штыревой фарфоровый ШФ-20Г // АС ЭНЕРГИЯ. URL: <http://asenergi.com/catalog/izolyatory/shf-20g.html> (дата обращения: 20.09.2018).
7. Изолятор линейный подвесной стеклянный ПС-70Е // БЭСТЭР КОМПЛЕКТ. URL: <http://www.bester54.ru/goods/index.php?type=description&id=438> (дата обращения: 23.09.2018).

8. ПУЭ-7 п. 1.8.35. Нормы приемосдаточных испытаний. Подвесные и опорные изоляторы // Правила устройства электроустановок. 7-е изд. URL: <http://pue7.ru/pue7/punkt.php?p=1.8.35> (дата обращения: 25.09.2018).

9. Медно-никелевый сплав константан // Метотехника. URL: <http://www.metotech.ru/konstantan-opisanie.htm> (дата обращения: 25.09.2018).

10. Удельное электрическое сопротивление проводников. URL: <https://bourabai.ru/toe/resistance.htm> (дата обращения: 25.09.2018).

11. Удельное электрическое сопротивление проводников. URL: <https://bourabai.ru/toe/resistance.htm> (дата обращения: 25.09.2018).

12. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д. Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2012. 376 с. ISBN 978-5-4248-0049-8.

13. Сравнение стеклопластиковой композитной арматуры и стальной // Rmnt.ru. URL: <https://www.rmnt.ru/story/metal/sravnenie-stekloplastikovoy-kompozitnoy-armatury-istalnoy.1012646/#go-sravnenie-tehnicheskikh-pokazatelej> (дата обращения: 25.09.2018).

14. Осевое растяжение-сжатие. URL: <http://www.soprotmat.ru/rast.htm> (дата обращения: 25.09.2018).

15. Карта гололедных районов. Гололедные нагрузки // СпецСтройСтандарт. URL: <http://www.angar21.ru/karta-gololednih-nagruzok-rossii/> (дата обращения: 25.09.2018).

16. ГОСТ 10292–74. Стеклотекстолит конструкционный. Технические условия. Введ. 1976–01–01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. 16 с.

ТЕРЕЩЕНКО Надежда Андреевна, магистрант гр. ЭЭМ-175 факультета элитного образования и магистратуры.

SPIN-код: 4017-2286

AuthorID (РИНЦ): 947723

Адрес для переписки: nadezhda.tereshchenko@mail.ru

НИКИТИН Константин Иванович, доктор технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника».

SPIN-код: 3733-8763

AuthorID (РИНЦ): 641865

Адрес для переписки: nki@ngs.ru

МАКОВЕЦКИЙ Станислав Сергеевич, магистрант гр. ЭЭМ-185 факультета элитного образования и магистратуры

Адрес для переписки: mr.stasen@mail.ru

ЖИЛЕНКО Елена Петровна, ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 1375-6868

AuthorID (РИНЦ): 1004998

Адрес для переписки: elenazhilenko@yandex.ru

Для цитирования

Терещенко Н. А., Никитин К. И., Маковецкий С. С., Жиленко Е. П. Расчет добавочного сопротивления и конструкции датчика тока утечки высоковольтного изолятора // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 131–136. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-131-136.

Статья поступила в редакцию 26.10.2018 г.

© Н. А. Терещенко, К. И. Никитин, С. С. Маковецкий, Е. П. Жиленко