

DOI 10.5862/JEST.254.13

УДК 621.3

Г.В. Грешняков, Д.А. Селезнёв, Н.В. Коробкин

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В УСИЛИВАЮЩЕЙ ИЗОЛЯЦИИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЬНЫХ МУФТ НА НАПРЯЖЕНИЕ 110 КВ

G.V. Greshnyakov, D.A. Seleznev, N.V. Korovkin

ELECTRIC FIELD REGULATION IN INCREASING ISOLATION CONNECTING CABLE JOINTS ON 110 KV

В статье речь идет о кабельной арматуре с емкостным методом регулирования. Рассматриваются ключевые аспекты моделирования конструкции элемента управления полем, выполненного в виде силиконового стресс-конуса соединительной кабельной муфты. Анализ выполнен при помощи компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов в специализированном программном комплексе Elcut Professional. В статье определены наиболее проблемные зоны в конструкции конуса. Рассчитаны зависимости напряженности электрического поля в этих критических зонах от характерных геометрических и физических параметров конуса. Показана картина касательной и суммарной напряженностей электрического поля реально полученной конструкции стресс-конуса. Даны рекомендации по конструкции для получения оптимальной картины распределения напряженности электрического поля в кабельной разделке.

СТРЕСС-КОНУС; КАБЕЛЬНАЯ МУФТА; КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ; УСИЛИВАЮЩАЯ ИЗОЛЯЦИЯ.

In this article, we will focus on cable accessories with a capacitive control method. It examines the key aspects of modeling the structure of the control field, made in the form of silicone stress cone connecting cable joint. The analysis is conducted with help a computer simulation using the finite element method in Elcut professional program. The article defines the problem areas in a design. Dependence to the electric field intensity calculated in the problem areas of the characteristic geometric and physical parameters of the stress cone. Recommendations give for optimal distribution pattern of the electric field in the cable cutting.

STRESS CONE; CABLE JOINT; COMPUTER MODELING; REGULATION OF THE ELECTRIC FIELD; REINFORCING ISOLATION.

Введение

Кабельная арматура высокого напряжения — один из наиболее ответственных элементов кабельной линии. Надёжность концевых и соединительных муфт напрямую зависит от совершенства их конструкции. Поэтому весьма актуален анализ неравномерности распределения электрического поля [1] и возможности ее снижения в усиливающей изоляции современных кабельных муфт, где материалом изоляции кабеля является сшитый полиэтилен (СПЭ), а

в качестве материала усиливающей изоляции муфты используется эластомер — силиконовая резина. Цель такого анализа — оптимизация параметров ключевых элементов усиливающей изоляции муфты и конструкции муфты в целом. Для проведения анализа в теле муфты выделяются так называемые критические зоны, где существенно повышены напряженность и неоднородность электрического поля. Снижение и выравнивание поля в этих зонах представляет значительный практический интерес.

Вопросам анализа электрического поля в усиливающей изоляции кабельных муфт посвящено достаточное количество работ. В [2] изложена методология конструирования усиливающей изоляции концевых кабельных муфт на примере анализа электрического поля в кабельных разделках для кабелей с бумажно-пропитанной и масляно-бумажной изоляцией. В качестве материала усиливающей изоляции концевой муфты рассматривается кабельная бумага, пропитанная маслом. В [3] рассмотрены конструкции – соединительные муфты с эластомерной усиливающей изоляцией, которые могут применяться для соединения строительных длин кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. При этом распределение электрического поля исследуется с помощью интегральных уравнений. В результате получена эмпирическая формула для расчёта тангенциальной составляющей напряжённости поля на границе раздела изоляции кабеля и эластомерной изоляции муфты (усиливающей изоляции). В [3] изложен общий подход, без привязки к конкретной конструкции усиливающей изоляции соединительной муфты, а следовательно, без выделения критических зон и анализа поля в них.

В настоящей статье рассматривается кабельная арматура с емкостным методом регулирова-

ния электрического поля. В качестве элемента регулирования в кабельной разделке используется двухкомпонентный эластомерный стресс-конус конкретной конструкции. Важно, что у соединительных муфт (рис. 1) по сравнению с концевыми [4–7] количество зон, где напряженность поля может превысить допустимые значения, увеличивается, а именно: появляется дополнительная зона – на границах полимерного высоковольтного электрода, расположенного над соединительной гильзой. Кроме того, в зависимости от соотношения между длиной гильзы и длиной высоковольтного полимерного электрода может возникнуть ещё одна критическая зона – у края гильзы.

Цель настоящей работы – получить на базе численного моделирования электрического поля оптимальную конструкцию стресс-конуса и соединительной муфты. Рассматриваемый критерий оптимальности – минимальное значение напряженности электрического поля (его тангенциальной составляющей) в выделенных критических зонах.

Методология

Формулировка задачи анализа электрического поля [8] для численного решения [9] основана на уравнении Пуассона [1]

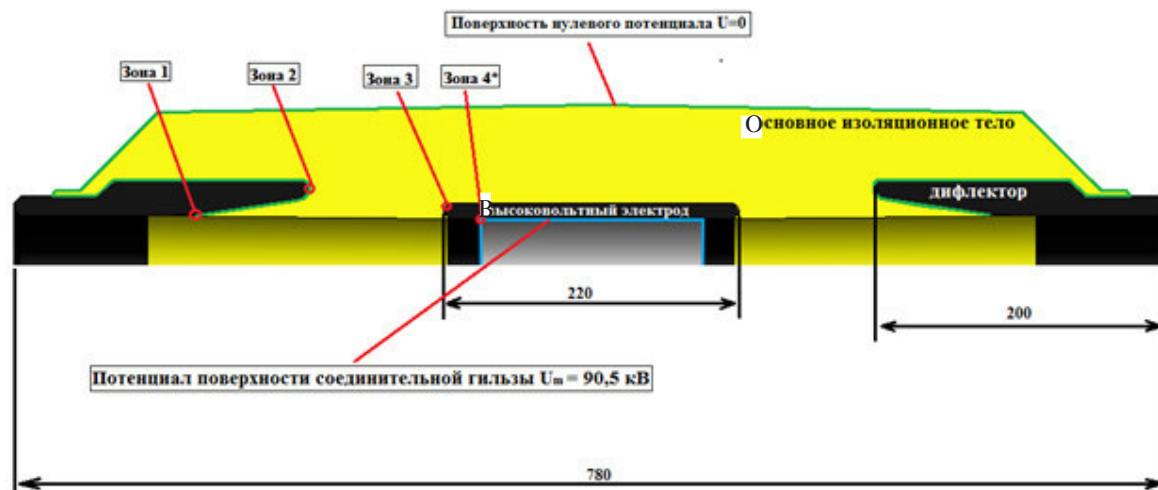


Рис. 1. Элементы конструкции стресс-конуса и критические зоны напряженности поля:
зона 1 – граница полимерного экрана по изоляции кабеля и диффлектора;
зона 2 – край диффлектора; *зона 3* – край полимерного высоковольтного электрода;
*зона 4** – край поверхности соединительной гильзы.

В задаче рассматривался наихудший вариант, когда нет скругления (при несогласованном выборе длины высоковольтного электрода)

$$\nabla(\epsilon \cdot E) = \rho, \quad (1)$$

а также на уравнении растекания токов в проводящей среде

$$\nabla j = -i\omega \sigma, \quad (2)$$

при учете закона Ома

$$j = \sigma E. \quad (3)$$

Тогда уравнение для потенциала U приобретает вид

$$\nabla([\epsilon - i\sigma / \omega] \nabla U) = 0. \quad (4)$$

Здесь $\sigma = (\sigma_z, \sigma_r)$ – удельная проводимость, См/м; $\epsilon = (\epsilon_z, \epsilon_r)$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м; j – комплекс вектора плотности тока, А/м²; E – комплекс вектора напряженности электрического поля, В/м; U – комплексный электрический потенциал, В; $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота, рад/с; i – мнимая единица. Решив (4) и используя связь

$$E = -\text{grad}U, \quad (5)$$

можно рассчитать напряжённость электрического поля в любой точке модели. Задача (4) решается в цилиндрической системе координат. Граничные условия Дирихле заданы следующим образом: $U = U_m = 64\sqrt{2}$ кВ на поверхности жилы (соответственно и на поверхности соединительной гильзы); $U = 0$ на поверхности экрана кабеля. На остальных границах предполагаются естественные граничные условия, соответствующие нулевой нормальной составляющей электрического поля $E_n = 0$.

Решение уравнений (1)–(5) проводится с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Программным продуктом, генерирующим сетку конечных элементов и реализующим на ней решение уравнений, является специализирован-

ный комплекс на базе диалоговой вычислительной системы ELCUT [9, 10].

Типичные зависимости от длины высоковольтного электрода напряженности электрического поля в зонах 3 и 4 представлены на рис. 2. Если соединительная гильза короче высоковольтного электрода менее чем на 10 мм, происходит резкое увеличение напряженности в критической зоне 3. При длине гильзы большей, чем длина высоковольтного электрода, появляется новая критическая зона (у края гильзы), значения напряженности в которой много больше значения напряженности у края высоковольтного электрода.

Исследование зависимости напряженности в зонах 3,4 от длины высоковольтного электрода при фиксированной длине диффлектора

Значения напряжённости поля в зонах 3, 4 для соединительной муфты класса 110 кВ в зависимости от длины высоковольтного электрода при фиксированном размере соединительной гильзы (150 мм) сведены в табл. 1.

При сравнении зависимости напряженности электрического поля от длины высоковольтного электрода при разных длинах соединительной гильзы было обнаружено, что характер зависимостей при длине гильзы 150 мм и при длине 160 мм практически один и тот же (рис. 3).

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2, показывает, что при фиксированной длине диффлектора увеличение длины высоковольтного полимерного электрода начиная с определённого значения (зависящего от длины диффлектора) приводит к резкому увеличению напряжённости поля на краю электрода (зона 3).

Таблица 1

Напряжённость E поля в зонах 3, 4 в зависимости от длины высоковольтного электрода для соединительной муфты класса 110 кВ

Длина высоковольтного электрода, мм	E, кВ/мм	
	Зона 3	Зона 4
280	5,11	0,0001
260	4,8	0,0008
200	4,79	0,0024
180	4,71	0,017
160	4,75	0,2
140	4,61	7,84

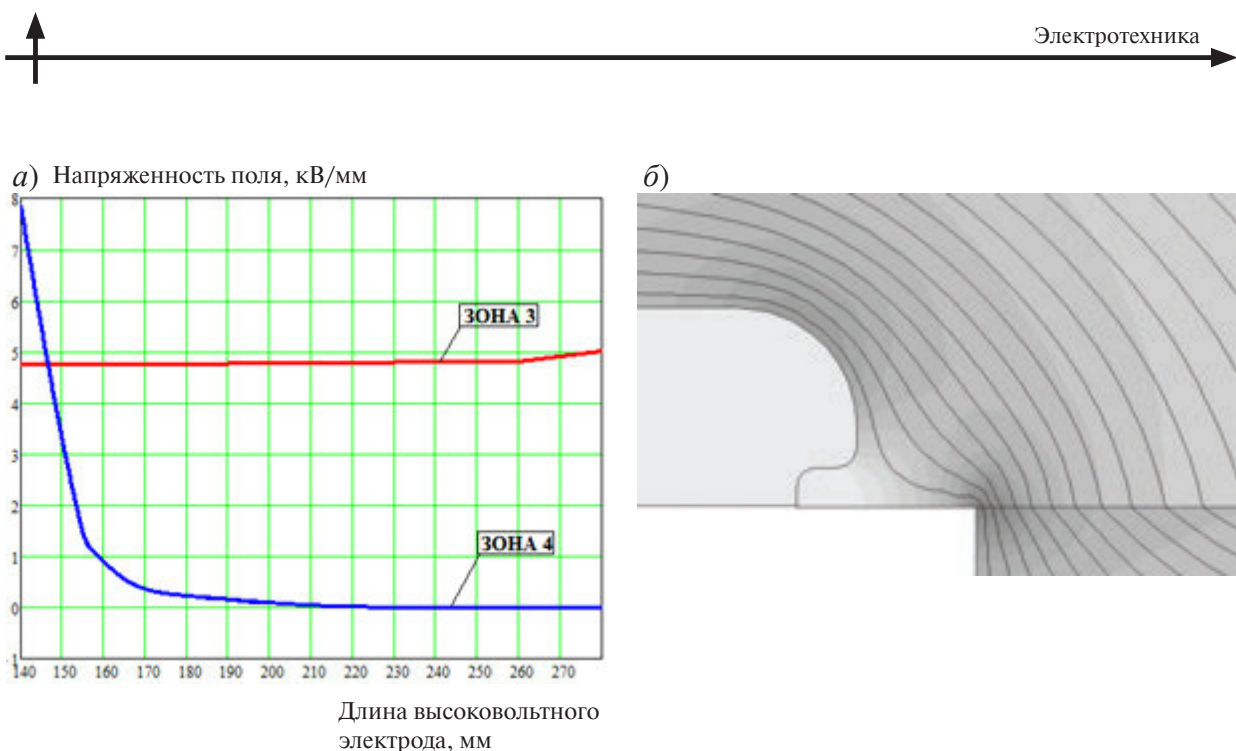


Рис. 2. Зависимости напряженностей электрического поля от длины высоковольтного электрода в зонах 3 и 4 (а) и цветовая диаграмма распределение напряженности электрического поля у края высоковольтного электрода (зона 3) (б). Длина электрода 140 мм

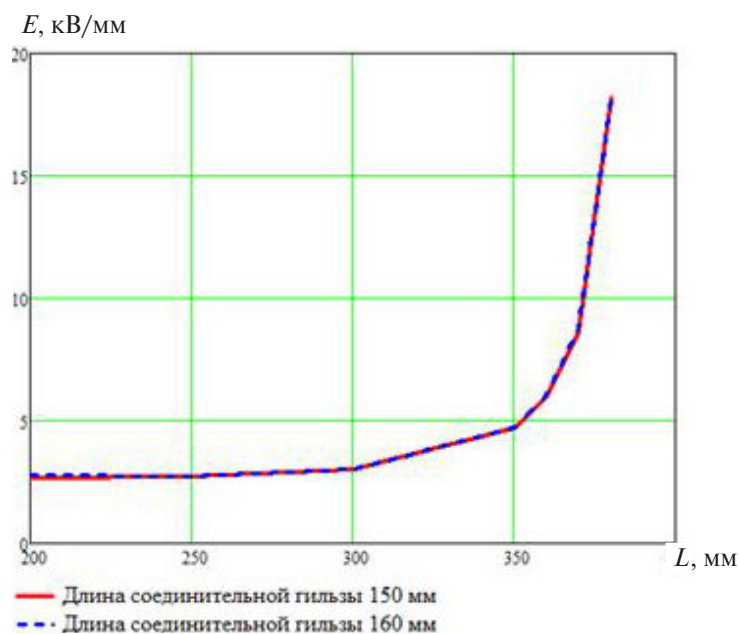


Рис. 3. Зависимости напряженностей электрического поля в зоне 3 от длины L и 4 (а) высоковольтного электрода при длине соединительной гильзы 150 и 160 мм

При этом на краю соединительной гильзы (зона 4; см. рис. 2) с увеличением длины электрода напряжённость поля уменьшается. Наоборот, при укорочении электрода начиная с некоторого значения его длины происходит резкое увеличение напряжённости поля на краю гильзы (зона 4).

Таким образом при проектировании муфты необходимо согласовывать длину соединительной гильзы с длиной высоковольтного электрода, а длину высоковольтного электрода – с длиной проекции диффлектора на ось кабеля.

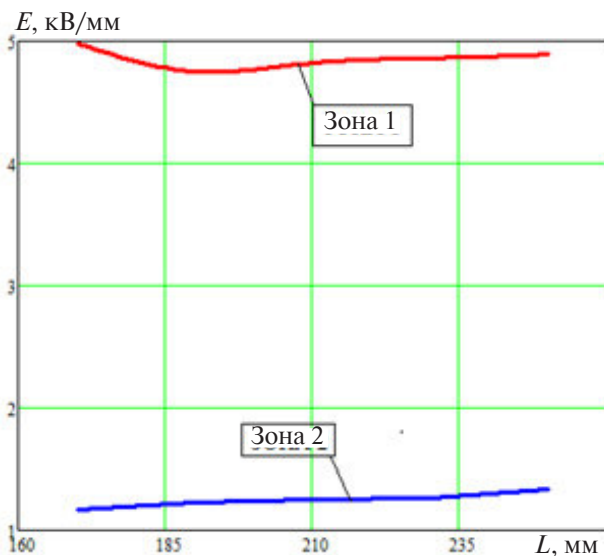


Рис. 4. Зависимость напряжённости поля в зонах 1,2 от длины диффлектора

Исследование зависимости напряжённости электрического поля в зонах 1 и 2 от длины диффлектора при фиксированной длине высоковольтного электрода

Зависимости значений напряжённости поля в зонах 1 и 2 при разной длине диффлектора (имеется в виду проекция диффлектора на ось кабеля) сведены в табл. 2 и представлены на рис. 4.

Анализ зависимости, представленной на рис. 4, позволяет сделать вывод, что интенсивность поля в зоне 1 (граница диффлектора и изоляции кабеля) и в зоне 2 (край диффлектора) слабо зависит от длины последнего до определённого значения, начиная с которого (например, при длине полимерного электрода 180 мм – начиная с 200 мм) возрастает (сближение диффлектора и высоковольтного электрода). Следовательно, из

соображений ограничения интенсивности поля не только в зонах 3, 4, но и в зонах 1, 2 длина проекции диффлектора на ось кабеля при фиксированной длине высоковольтного электрода не должна превышать некоторого критического значения. Это необходимо учитывать при проектировании усиливающей изоляции муфты.

Исследование зависимости напряжённости электрического поля от угла наклона диффлектора к оси кабеля (зона 1)

Анализ распределения напряжённости поля показывает [6], что ее значение прямо пропорционально углу между касательной к начальному участку диффлектора и осью кабеля (углу наклона). Поэтому этот угол следует делать по возможности малым (критерий – возможности технологии изготовления).

Исследование зависимости напряжённости E электрического поля в зонах 1 и 2 от расстояния между высоковольтным электродом и диффлектором

В табл. 3 сведены данные по зависимости величины напряжённости электрического поля в критических зонах 1 и 2 от расстояния между краем диффлектора и высоковольтного электрода.

На рис. 5 приведена цветовая диаграмма распределения поля между диффлектором и высоковольтным электродом при расстоянии между ними равном 10 мм [6, 11].

Анализ данных из табл. 3 и цветовой диаграммы рис. 5 позволяет сделать вывод, что конструкция с расстоянием между диффлектором и высоковольтным электродом в 65 мм с точки зрения интенсивности поля в зонах 1 (начало

Таблица 3

Напряжённость электрического поля в зонах 1 и 2 от расстояния между краем диффлектора и высоковольтного электрода

Расстояние между диффлектором и высоковольтным электродом, мм	Напряжённость поля вблизи диффлектора (зона 1) E , кВ/мм	Напряжённость поля у высоковольтного электрода (зона 2) E , кВ/мм
65	1,10	2,78
55	1,20	2,80
45	1,47	2,93
35	1,91	3,12
25	2,67	3,51
10	5,50	6,00

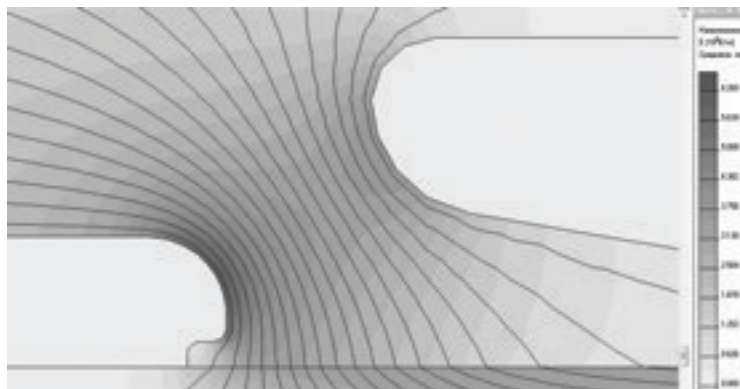


Рис. 5. Распределение напряженности электрического поля между дифлектором и высоковольтным электродом

диффлектора – граница с изоляцией кабеля) и 2 (окончание диффлектора) обеспечивает величину тангенциальной составляющей напряжённости электрического поля в зоне 1 – не более 1,1 кВ/мм, в зоне 2 – не более 2,78 кВ/мм.

Влияние проводимости материала диффлектора на напряженность поля в зоне 2

График зависимости величины напряжённости E электрического поля в зоне 1 от величины активной проводимости материала диффлектора представлен на рис. 6.

График демонстрирует, что увеличение проводимости сверх значения $2 \cdot 10^{-4}$ См/м не приводит к существенному снижению напряженности поля в критической зоне 1. Очевидно, что эти результаты можно распространить и на критическую зону 2 [12].

Далее, нами была проведена оценка конструктивных размеров стресс-конуса соединительной муфты, изготовленного из кремнийорганической резины известного производителя [13–15], для кабелей класса напряжения 110 кВ. В результате оптимизации поля в проблемных зонах по описанному выше алгоритму можно предложить следующие параметры двухкомпонентного стресс-конуса (электрические и механические свойства эластомерных изоляционных и проводящих материалов известны) [15] при длине соединительной гильзы (сплав меди) 160 мм:

Далее, нами была проведена оценка конструктивных размеров стресс-конуса соединительной муфты, изготовленного из кремнийорганической резины известного производителя [13–15], для кабелей класса напряжения 110 кВ. В результате оптимизации поля в проблемных зонах по описанному выше алгоритму можно предложить следующие параметры двухкомпонентного стресс-конуса (электрические и механические свойства эластомерных изоляционных и проводящих материалов известны) [15] при длине соединительной гильзы (сплав меди) 160 мм:

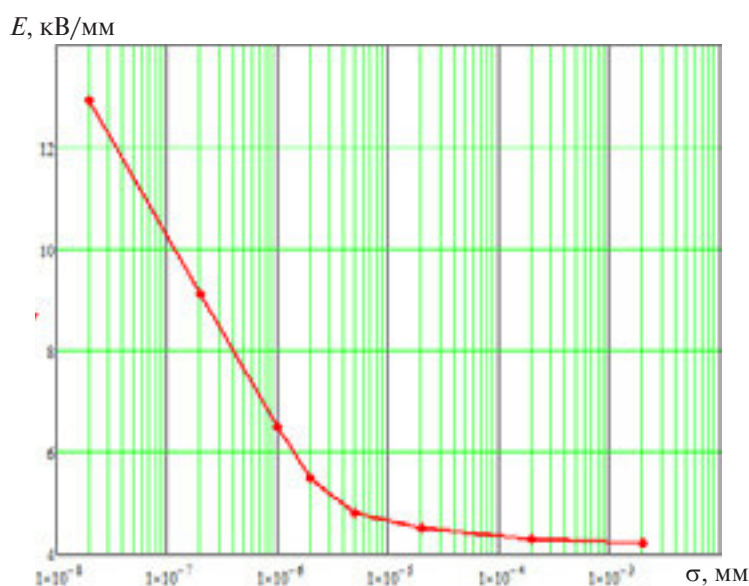


Рис. 6. Зависимость напряжённости поля в зоне 1 от активной составляющей проводимости диффлектора

общая длина стресс конуса – 780 мм;
 длина диффлектора (проекция на ось кабеля)
 – 200 мм (с каждой стороны);
 длина полимерного высоковольтного электрода – 220 мм;
 расстояние между высоковольтным электродом и диффлектором – 80 мм.

При этом максимальное расчётное значение тангенциальной составляющей напряженности поля E_{τ} – 2,45 кВ/мм (зона 3).

Анализ распределения модуля и тангенциальной составляющей напряжённости электрического поля при оптимальной конструкции усиливающей изоляции соединительной муфты

Проанализируем распределение интенсивности электрического поля в усиливающей изоляции муфты в виде двухкомпонентного стресс-конуса с указанными выше оптимальными геометрическими характеристиками. Для этого выделим линии (рис. 7), вдоль которых будем исследовать распределение напряжённости электрического поля – как модуля E_{Σ} , так и тангенциальной составляющей E_{τ} :

«AB» – линия, проходящая по поверхности высоковольтного электрода и заканчивающаяся в месте стыка его с изоляцией кабеля (проходит через критическую зону 3);

«BC» – линия от стыка высоковольтного электрода и изоляции кабеля до стыка диффлектора и полимерного экрана по изоляции кабеля, проходящая по поверхности изоляции кабеля (проходит через критическую зону 1);

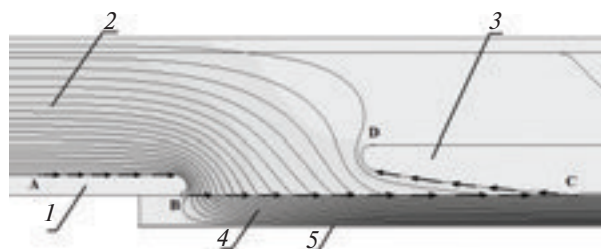


Рис. 7. Диаграмма распределения модуля напряжённости электрического поля (1 – Высоковольтный электрод стресс конуса; 2 – основное изоляционное тело стресс-конуса; 3 – Диффлектор стресс-конуса; 4 – изоляция кабеля; 5 – полимерный экран по жиле кабеля

«CD» – линия, проходящая по поверхности диффлектора (проходит через критическую зону 2).

Ниже приведены зависимости модуля напряжённости и её касательной составляющей, построенные вдоль выбранных линий (рис. 8, 9).

Таким образом, мы видим, что максимальные значения модуль напряжённости электрического поля и его тангенциальная составляющая принимают на линии АВ в критической зоне 3, т.е. на краях полимерного высоковольтного электрода, находящегося над соединительной гильзой. Учитывая то обстоятельство, что для более высоких классов напряжения конструкции усиливающей изоляции и соединительной гильзы будут подобны рассматриваемым, можно предположить, что наибольшая концентрация поля будет также на краях высоковольтного полимерного электрода.

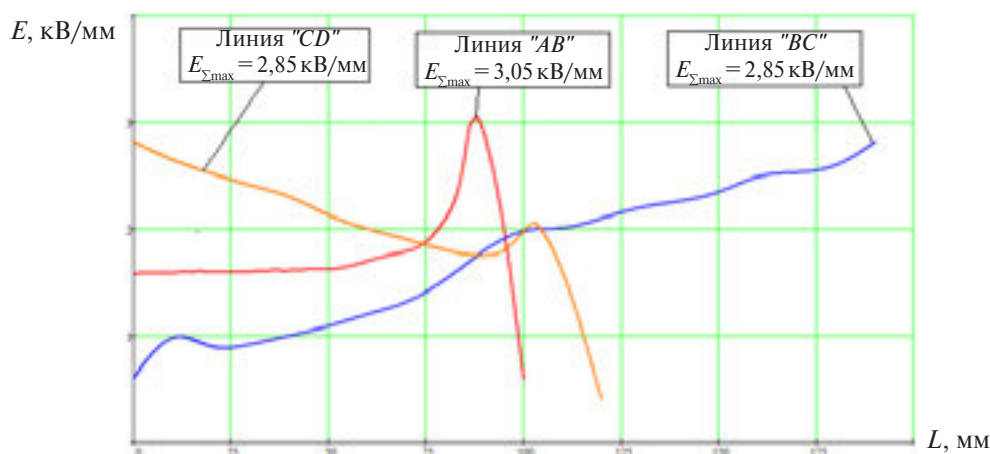


Рис. 8. Распределение модуля напряжённости электрического поля вдоль расчётных контуров усиливающей изоляции

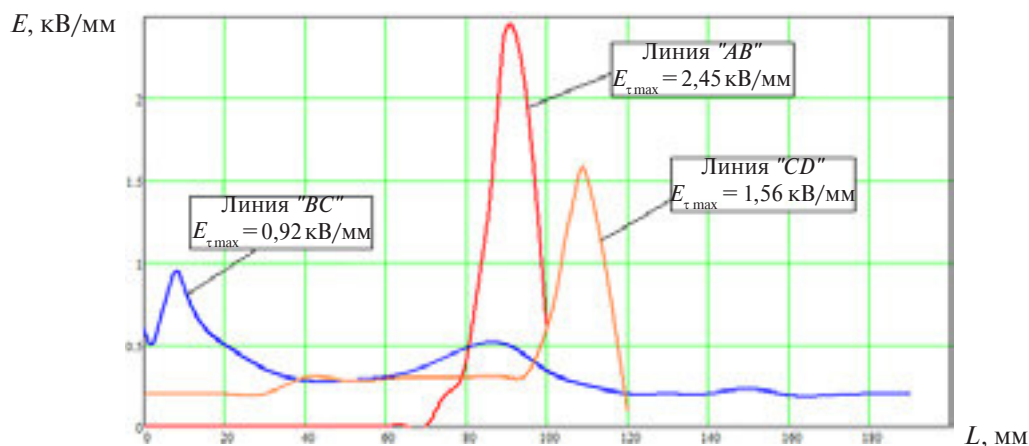


Рис. 9. Распределение тангенциальной составляющей напряженности электрического поля вдоль расчетных контуров усиливающей изоляции

Обсуждение результатов

Численное моделирование электрического поля в усиливающей изоляции соединительной муфты позволило определить проблемные зоны (критические точки) с наибольшей амплитудой и неоднородностью распределения поля: место обрыва полимерного экрана по изоляции кабеля (зона 1); окончания диффлектора стресс-конуса (зона 2); края полимерного высоковольтного электрода (зона 3).

Оптимизация конструкции стресс-конуса осуществляется за счёт минимизации тангенциальной составляющей электрического поля в проблемных зонах путём выбора геометрии как диффлектора (угол наклона касательной к начальному участку диффлектора; длина проекции диффлектора на ось кабеля), так и полимерного высоковольтного электрода над соединительной гильзой. Причём все размеры должны быть согласованы между собой.

Удельная проводимость полимерного материала, из которого изготовлены диффлектор и полимерный высоковольтный электрод, должна быть не менее $2 \cdot 10^{-4}$ См/м.

Длина соединительной гильзы должна быть короче полимерного высоковольтного электрода не менее, чем на 10 мм (по 5 мм с каждой стороны). Если это не выполняется, то происходит резкое увеличение напряженности в критической зоне 3. При длине гильзы большей, чем длина высоковольтного электрода, появляется новая критическая зона — 4 (у края гильзы), значение напряженности в которой много больше

значения напряженности у края высоковольтного электрода.

Анализ распределения напряженности поля показывает, что её значение прямо пропорционально углу между касательной к начальному участку диффлектора и осью кабеля (углу наклона), и этот угол следует делать по-возможности меньшим (критерий — возможности технологии изготовления).

Задачи, рассмотренные в настоящей статье, актуальны, так как место соединения кабелей остаётся одним из слабых звеньев в кабельной линии. Ряд авторов, например [4], проводили анализ распределения напряженности поля в соединительной муфте, однако конструкции стресс-конуса и высоковольтного полимерного электрода отличались от варианта, обсуждаемого в настоящей статье.

Вывод

В результате анализа распределения электрического поля в усиливающей изоляции получены оптимальные геометрические параметры элементов стресс-конуса и соединительной кабельной муфты в целом. Эти параметры обеспечивают наиболее эффективное снижение амплитуды и неравномерности распределения электрического поля в конструкции усиливающей изоляции (двухкомпонентного стресс-конуса) соединительной муфты для кабельных линий класса 110 кВ. Параметры при длине соединительной гильзы (сплав меди) 160 мм следующие: общая длина стресс-конуса — 780 мм;

длина диффлектора (проекция на ось кабеля) – 200 мм длина полимерного высоковольтного электрода – 220 мм; расстояние между высоковольтным электродом и диффлектором – 80 мм.

При этих размерах обеспечивается минимальное значение тангенциальной составляющей электрического поля в зоне 3 (зона максимальной концентрации поля) на уровне 2,45 кВ/мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники: В 2 томах. СПб.: Питер, 2009.

2. Шварцман Л.Г. Регулирование электрического поля в концевых муфтах кабелей высокого напряжения // Труды ВНИИ КП. 1969. №13. С. 11–33.

3. Ветлугаев С.С., Макаров Л.Е., Образцов Ю.В., Фурсов П.В. Электрическое поле в соединительных муфтах с эластомерной изоляцией на напряжение 110 кВ // Кабели и провода. 2004. № 1. С.15–18.

4. Патент на полезную модель № 97013. Соединительная муфта для силового кабеля / Г.В. Грешняков, И.В. Журавлёв, А.В. Матвеев. Зарегистрирована в Государственном реестре полезных моделей 20 августа 2010 г. Срок действия патента истекает 29 декабря 2019 г.

5. Greshnyakov G., Dubitskiy S., Korovkin N. Optimization of Capacitive and Resistive Field Grading Devices for Cable Joint and Termination // International Journal of Energy. 2015. Vol. 9. P. 24–30.

6. Грешняков Г.В., Селезнёв Д.А. Некоторые аспекты конструирования соединительных муфт высокого напряжения // Силовая электроника. 2014. № 4. С. 66–68.

7. Патент на полезную модель № 160436. Концевая муфта силового кабеля с пластмассовой изоляцией / Г.В. Грешняков, Г.Г. Ковалёв, С.Д. Дубицкий, Н.В. Коровкин. Зарегистрирована в Государственном реестре полезных моделей 20 февраля 2016 г. Срок действия патента истекает 01 апреля 2025 г.

8. Грешняков Г.В., Коровкин Н.В., Дубицкий С.Д., Ковалёв Г.Г. Численное моделирование электриче-

ского поля в усиливающей изоляции кабельной муфты // Кабели и провода. 2013. № 6. С. 9–14.

9. Грешняков Г.В., Ковалёв Г.Г., Коровкин Н.В., Дубицкий С.Д. Полевые методы в кабельных задачах // Исследование компьютерного моделирования и численных расчётов для решения инженерных задач в различных областях проектирования и разработки на основе применения программы ELCUT. СПб.: Любавич, 2015, С. 5–74.

10. Грешняков Г.В., Дубицкий С.Д., Коровкин Н.В. К вопросу о конструировании кабельных муфт высокого напряжения // Силовая электроника. 2014. № 1. С. 76–79.

11. Greshnyakov G. V., Dubitskiy S. D., Korovkin N. V. Capacitance and Impedance Methods of Electric Field Grading in Cable Joint and Termination // International Conference on Energy, Environment and Material Science (EEMAS 2014). State Polytechnic University. S-Peterburg, Russia, September 23–25, 2014. S. 95–99.

12. Грешняков Г.В. К вопросу о разработке и производстве высоковольтной кабельной арматуры // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования. 2013. Часть 4. С. 38–41.

13. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии. М., 1996.

14. Кабели, провода и шнуры: Справочник. М.: Изд-во ВНИИ КП, 2002.

15. Котов Р.В. Распределение электрического поля в кабельных муфтах холодной усадки // Электро. 2006. № 5. С. 40–44.

REFERENCES

1. Demirchian K.S., Neyman L.R., Korovkin N.V. Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki: V 2 tomakh. SPb.: Piter, 2009. (rus.)

2. Shvartsman L.G. Regulirovaniye elektricheskogo polya v kontsevykh muftakh kabeley vysokogo napryazheniya. Trudy VNIIPK. 1969, № 13. S.11–33. (rus.)

3. Vetlugayev S.S., Makarov L.Ye., Obrastsov Yu.V., Fursov P.V. Elektricheskoye pole v soyedinitelnykh muftakh s elastomernoy izolyatsiyey na napryazheniye 110 kV. Kabeli i provoda. 2004. № 1. S. 15–18. (rus.)

4. Patent na poleznuyu model № 97013. Soyedinitelnaya mufta dlya silovogo kabelya / Greshnyakov G.V., Zhuravlev I.V., Matveyev A.V. – Zaregistrirrovana v Gosu-

darstvennom reyestre poleznykh modeley 20 avgusta 2010 g. Srok deystviya patenta istekayet 29 dekabrya 2019 g.

5. Greshnyakov G., Dubitskiy S., Korovkin N. Sochetanie emkostnogo i rezistivnogo metodov vyravnivaniya polya v konstruksiyakh soedinitelnoy i kontsevoy muft [Optimization of Capacitive and Resistive Field Grading Devices for Cable Joint and Termination]. International Journal of Energy. 2015. Vol. 9. P. 24–30.

6. Greshnyakov G.V., Seleznev D.A. Nekotoryye aspekty konstruirovaniya soyedinitelnykh muft vysokogo napryazheniya. Silovaya Elektronika. 2014. № 4. S. 66–68. (rus.)

7. Patent na poleznuyu model № 160436. Kontsevaya mufta silovogo kabelya s plastmassovoy izolyatsiyey /

G.V. Greshnyakov, G.G. Kovalev, S.D. Dubitskiy, N.V. Korovkin. — Zaregistririvana v Gosudarstvennom reyestre poleznykh modeley 20 fevralya 2016 g. Srok deystviya patenta istekayet 01 aprelya 2025 g. (rus.)

8. **Greshnyakov G.V., Korovkin N.V., Dubitskiy S.D., Kovalev G.G.** Chislennoye modelirovaniye elektricheskogo polya v usilivayushchey izolyatsii kabelnoy mufty. *Kabeli i provoda*. 2013. № 6. S. 76–79. (rus.)

9. **Greshnyakov G.V., Kovalev G.G., Korovkin N.V., Dubitskiy S.D.** Polevyye metody v kabelnykh zadachakh» v sb. Statey. *Issledovaniye kompyuternogo modelirovaniya i chislennykh raschetov dlya resheniya inzhenernykh zadach v razlichnykh oblastiakh proyektirovaniya i razrabotki na osnove primeneniya programmy ELCUT*. SPb.: Lyubavich, 2015. S. 5–74. (rus.)

10. **Greshnyakov G.V., Dubitskiy S.D., Korovkin N.V.** K voprosu o konstruirovaniy kabelnykh muft vysokogo napryazheniya. *Silovaya Elektronika*. 2014. № 1. S. 95–99. (rus.)

11. **Greshnyakov G.V., Dubitskiy S.D., Korovkin N.V.** Capacitance and Impedance Methods of Electric Field Grading in Cable Joint and Termination. *International Conference on Energy, Environment and Material Science (EEMAS 2014)*. State Polytechnic University. S-Peterburg. Russia. September 23–25, 2014. S. (rus.)

12. **Greshnyakov G.V.** K voprosu o razrabotke i proizvodstve vysokovoltnoy kabelnoy armatury. Materialy Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya». 2013. Chast 4. S. 38–41. (rus.)

13. **Larina E.T.** Silovyye kabeli i vysokovoltnyye kabelnyye linii. M., 1996. (rus.)

14. Kabeli, provoda i shnury: Spravochnik. M.: Izd-vo VNIIPK, 2002. (rus.)

15. **Kotov R.V.** Raspredeleniye elektricheskogo polya v kabelnykh muftakh kholodnoy usadki. *Elektro*. 2006 g. № 5. S. 40–44. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

ГРЕШНЯКОВ Георгий Викторович — кандидат технических наук заведующий лабораторией ООО НИИ «Севкабель».

199106, Санкт Петербург, Кожевенная линия, 40.
E-mail: g.greshnyakov@gmail.com

GRESHNYAKOV Georgii V. — Research institute “Sevkabel”.
40, Kozhevennaia line, St. Petersburg, 199106.

E-mail: g.greshnyakov@gmail.com

СЕЛЕЗНЁВ Дмитрий Александрович — младший научный сотрудник НИИ «Севкабель».
199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д. 40.

E-mail: Selezneff.mitia2012@yandex.ru

SELEZNEV Dmitrii A. — *Research institute «sevkabel»*
40, kozhevennaia linia, St. Petersburg, Russia, 199106.

E-mail: Selezneff.mitia2012@yandex.ru

КОРОВКИН Николай Владимирович — доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
E-mail: nikolay.korovkin@gmail.com

KOROVKIN Nikolai V. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia.

E-mail: nikolay.korovkin@gmail.com