

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

На правах рукописи

Кессаев Александр Геннадиевич



УДК 621.319.4

**ВОДНЫЕ ТРИИНГИ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ
ПРИ ДЕЙСТВИИ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И
ТЕХНИКА ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ**

Специальность 05.09.13 – Техника сильных электрических и
магнитных полей

Диссертация на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Беспрозванных Анна Викторовна,
доктор технических наук, профессор

*Ідентичність за змістом
з першим примірником
дисертації засвідчую*



*секретар
наукової
ради
№ 64.050.08
Горбунь Юрєва О.Ю.*

Харьков-2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ВОДНЫХ ТРИИНГОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ	15
1.1. Условия образования водных триингов и их влияние на электрическую прочность высоковольтной полимерной изоляции	16
1.2. Численное моделирование водных триингов в полимерной изоляции силовых кабелей	28
1.3. Техника обнаружения водных триингов в силовых кабелях	37
1.3.1 Испытания напряжением сверхнизкой частоты	37
1.3.2 Рефлектометрия во временной области	42
1.3.3 Поляризационно-деполяризационный метод испытаний с возможностью определения тангенса угла диэлектрических потерь	45
1.3.4 Техника диэлектрической спектроскопии	48
1.4. Выводы по разделу 1	53
РАЗДЕЛ 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОДНЫХ ТРИИНГОВ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ КОАКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ	56
2.1. Исходные интегральные уравнения для расчета напряженности электрического поля в силовом кабеле коаксиальной конструкции с осевой симметрией	58
2.2. Расчетная модель водных триингов сферической формы в толще сшитой полиэтиленовой изоляции и алгоритм расчета напряженности осесимметричного электрического поля	64
2.3. Область сильного электрического поля как функция размеров и расстояния между сферическими водными включениями в сшитой полиэтиленовой изоляции	65

2.4. Обоснование оптимальной геометрии силового кабеля коаксиальной конструкции для обеспечения максимальной пробивной напряженности электрического поля	70
2.5. Технологические и эксплуатационные факторы локального усиления напряженности электрического поля в силовом кабеле коаксиальной конструкции	78
2.6. Реплики водных триингов на форме зондирующих импульсов	87
2.7. Оценка волнового сопротивления кабелей коаксиальной конструкции по результатам импульсной рефлектометрии во временной области	94
2.8. Выводы по разделу 2	98
РАЗДЕЛ 3. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ КАБЕЛЕЙ КОАКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ	101
3.1. Моделирование частотных зависимостей тангенса угла диэлектрических потерь на основе схемы замещения изоляции в процессе увлажнения силовых кабелей с водоблокирующим барьером	102
3.2. Тестовые объекты кабелей коаксиальной конструкции с полиэтиленовой изоляцией и процедура старения	113
3.3. Динамика изменения релаксационных потерь кабелей в процессе увлажнения	116
3.4. Подтверждение кластерной структуры воды в полиэтиленовой изоляции на основании результатов техники высокочастотной диэлектрической спектроскопии	122
3.6. Выводы по разделу 3	129
РАЗДЕЛ 4. КРИТЕРИИ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ, ОСНОВАННЫЕ НА ТЕХНИКЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АБСОРБЦИИ	131
4.1. Корреляция между параметрами диэлектрической абсорбции в процессе увлажнения силовых кабелей	131

4.2. Критерии степени увлажнения силовых кабелей с водоблокирующим барьером на основе динамики изменения сопротивления изоляции	138
4.3. Обоснование возможности применения техники частичных разрядов для выявления увлажнения полимерной изоляции силовых кабелей	141
4.4. Повышение чувствительности высоковольтной установки для испытаний по характеристикам частичных разрядов	147
4.5. Выводы по разделу 4	156
ВЫВОДЫ	158
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	161
Приложение. Акты внедрения результатов диссертационной работы	180