

Таблица 2

**Характеристика удельной натуральной мощности  
традиционных и сеточных линий напряжением 110 кВ**

Линия	Натуральная мощность на единицу ширины трассы (числитель), МВт/м, и площадь поперечного сечения линии (знаменатель), МВт/м <sup>2</sup>				
	Число составляющих и в расщепленной фазе				
	1	2	3	4	5
Традиционная одноцепная	$\frac{2,3}{0,17}$	–	–	–	–
Традиционная двухцепная	$\frac{4,4}{0,24}$	–	–	–	–
Сеточная двухрядная	–	$\frac{14,2}{0,78}$	$\frac{19,9}{1,09}$	$\frac{25,1}{1,38}$	$\frac{33,0}{1,81}$

Параметры  $P_{\text{нат}}/\text{м}$ ,  $P_{\text{нат}}/\text{м}^2$  традиционных и сеточных линий приведены в табл. 2. Габариты линий – ширина трассы и высота опор с грозозащитными тросами при расчете значений  $P_{\text{нат}}/\text{м}$ ,  $P_{\text{нат}}/\text{м}^2$  определены согласно [2, 3], и для линий одного класса напряжения различаются конструктивными параметрами сближенных расщепленных фаз.

Как следует из табл. 2, степень использования ширины трассы и коридора сеточных линий при передаче через них максимального потока электрической энергии в натуральном режиме при  $n = 2$  и напряжении  $U = 110$  кВ составляет 14,2 и 0,78 МВт/м<sup>2</sup> соответственно, у традиционных двухцепных – 4,4 и 0,24 МВт/м<sup>2</sup>.

Проведены также исследования режимов электропередачи напряжением 110 кВ с применением линий сеточного и традиционного типов в широком диапазоне передаваемых мощностей с изменением длины линий до 80 км, которые также подтверждают преимущества линий сеточного типа.

#### Л и т е р а т у р а

1. Электропередачи переменного тока повышенной мощности / В. Т. Федин [и др.]. – Минск : Наука і тэхніка, 1993. – 224 с.
2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
3. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ЧЕРЕЗ СИЛОВЫЕ КАБЕЛИ ПОД АТМОСФЕРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ**

**М. Д. Астапенко**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Н. В. Грунтович

*Исследована возможность протекания трансформаторного масла через силовой кабель под атмосферным давлением. Представлены результаты эксперимента и сделан вывод, что*

для уменьшения частичных разрядов в кабельных линиях возможно использование прокачки масла через кабель. В результате была предложена установка для восстановления изоляции кабеля находящегося на барабане.

**Ключевые слова:** кабели, частичные разряды, диагностирование, увлажнение изоляции, протекание масла.

Ежегодно при диагностировании кабельных линий путем измерения частичных разрядов электрические сети сталкиваются с проблемой появления частичных разрядов в абсолютно новых и недавно проложенных кабелях.

Как уже было описано в [1], уровень частичных разрядов в кабеле зависит от степени увлажнения. Данное предположение было подтверждено в ходе диагностирования кабельных линий в Гомельских и Могилевских распределительных сетях 6–10 кВ. При этом диагностирование проводилось как для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, так и с бумажно-масляной изоляцией.

Как показал анализ хранения и эксплуатации кабелей, бухты хранятся круглый год под открытым небом. Под воздействием переменной температуры окружающей среды из воздуха, находящегося в кабеле, постепенно образуются микроскопические капельки влаги (росы) [2]. Эти капли и являются причиной частичных разрядов. Кабели закладываются в землю уже с увлажненной изоляцией и при их диагностировании фиксировались частичные разряды.

Исходя из этого, актуальным является разработка способа сушки и восстановления изоляции кабельных линий для увеличения их срока эксплуатации.

**Постановка задачи.** В настоящее время в городских распределительных сетях появилась современная система диагностики кабельных линий путем измерения частичных разрядов фирмы Megger, которая позволяет определить наличие частичных разрядов в кабеле, следовательно, и возможное наличие воды в кабельной линии [3].

К большому сожалению, на данный момент нет действующего способа для сушки кабеля на барабане, кроме сушки в вакууме, которое возможно только на заводе изготовителе, и данное оборудование является очень дорогостоящим. Цель данной работы – разработка способа сушки изоляции путем прокачки масла через кабель.

**Предлагаемые решения проблем.** В качестве решения проблемы увлажненности кабеля предлагается прокачка масла через кабель. Для этого был проведен эксперимент по исследованию возможности протекания трансформаторного масла через кабель под давлением и подобраны образцы 7 марок кабелей (рис. 1): АПвПу2г, N2XSEY (Helukabel – Германия), NYCWY (Helukabel – Германия), N2XSEY (Helukabel – Германия), NY(FL)Y (Helukabel – Германия), N2XSY (Helukabel – Германия), ААШв (отечественного производства).

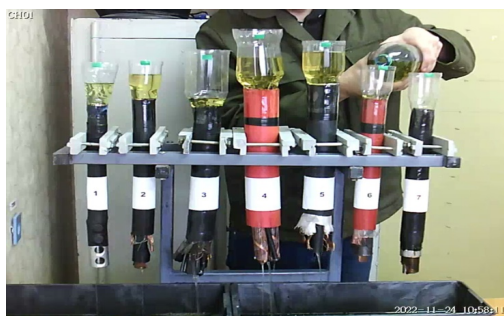


Рис. 1. Фото эксперимента протекания масла через кабель

В ходе эксперимента к 0,5 м кабеля данных образцов была примотана воронка, позволяющая пропустить через кабель трансформаторное масло объемом 0,5 л. Кроме этого на первом образце кабеля марки АПвПу2г был установлен соединитель термостаживаемой муфты для оценки возможности протекания масла через соединительную муфту. Для прохождения масла через соединитель в нем было проделано отверстие 6 мм в перегородке для лучшего его прохождения. Результаты протекания масла в ходе данного эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Результаты эксперимента протекания масла через образцы кабелей

Тип кабеля	Время появления масла на другом конце кабеля, с	Время протекания трансформаторного масла через кабель объемом 0,5 л
АПвПу2г	15	2 мин 39 с
N2XSEY	21	4 мин 16 с
NYCWY	8	1 мин 1 с
N2XSEY	4	1 мин 27 с
NY(FL)Y	6	50 с
N2XSY	29	2 мин 49 с
ААШв	> 30 мин	>1 сутки

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что данный способ восстановления изоляции возможен. Соответственно предлагается создание экспериментальной установки для прокачки масла через кабель, расположенный на барабане. Для ускорения протекания масла по концам кабеля необходимо установить вакуумный насос и бак под давлением. Кроме того, для улучшения эффекта сушки изоляции кабеля перед пропуском масла через кабель необходимо прокачать через него инертный газ (азот), как было предложено в [1].

Для выполнения натуральных экспериментов необходимо следующее оборудование:

1. Стальной бак для масла объемом  $15 \div 20$  л под давление  $4 \text{ кг/см}^2$ .
2. Баллон с азотом –  $P = 10 \text{ кг/см}^2$  объемом  $V = 50 \div 100$  л.
3. Редуктор (детандер) –  $10/1 \text{ кг/см}^2$ .
4. Манометры для измерения давления –  $0 \div 6 \text{ кг/см}^2$ .
5. Клапан со штуцером (4 шт.) для соединения кабеля с емкостями или уплотнительные манжеты по диаметру кабеля (4 шт.).
6. Емкость для подключения вакуумного насоса объемом  $10 \div 15$  л (1 шт.).
7. Манометры для измерения вакуума – 1 шт.
8. Клапан для соединения баллона с азотом и редуктором.
9. ТЭН для нагрева масла в баке до  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  мощностью  $6 \div 10 \text{ кВт}$ ;
10. Вакуумный насос – 1 шт.
11. Масло трансформаторное или кабельное –  $30 \div 40$  л.
12. Кабели двух марок  $100 \div 150$  м.
13. Диагностическая система Megger.

Порядок выполнения эксперимента:

1. Выбирается новый кабель после долгого хранения из сшитогополиэтилена или АПвПу2г – 100–150 м; можно из кусков разного кабеля, тогда в соединителе необходимо сделать отверстие 5–6 мм.

2. В кабеле, находящемся на барабане, измеряется уровень частичных разрядов диагностической системой Megger.

3. Для удаления влаги кабель продувается теплым азотом или воздухом.

4. Измеряются частичные разряды в кабеле.

5. Через кабель пропускается трансформаторное масло.

6. Измеряются частичные разряды в кабеле.

7. При отсутствии частичных разрядов в кабеле концы кабелей герметизируют мастикой и пленкой или устанавливают концевые муфты. Кабель возвращается на барабан для хранения. Периодически один раз в три месяца регистрируются частичные разряды в кабеле.

В заключение отметим следующее:

1. Теоретически обосновано, что в результате сложившейся практики кабеля закладываются в землю уже с увлажненной изоляцией, так как бухты хранятся круглый год под открытым небом. В итоге частичные разряды в кабеле регистрируются в первые месяцы эксплуатации кабелей.

2. Проведены эксперименты по определению скорости истечения масла с использованием образцов 7 марок кабелей под атмосферным давлением, а также по определению видов кабеля, подходящих для данного способа восстановления изоляции.

3. Разработана экспериментальная схема для прокачки масла через кабель, расположенный на барабане.

#### Литература

1. Грунтович, Н. В. Способы восстановления изоляции высоковольтных кабелей // Н. В. Грунтович, М. Д. Астапенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – 2021. – № 4. – С. 58–66.
2. Физический энциклопедический словарь / под ред. А. М. Прохорова. – М. : Сов. энцикл, 1983. – Т. 4. – 451 с.
3. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования / Н. В. Грунтович. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2013. – 271 с.

## **ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ОРЕБРЕНИЯ ТЕПЛОТДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРОЦЕСС ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ АЦЕТОНА**

**Д. С. Радюк**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Н. А. Вальченко

*Приведены результаты экспериментального исследования теплообмена при кипении ацетона на горизонтальных трубах, имеющих поперечное оребрение с различной геометрией ребра, в диапазоне тепловых потоков  $q = 2,9–30,1$  кВт/м<sup>2</sup> при атмосферном давлении в кольцевом канале. Определены закономерности влияния профиля ребра на вид кривой кипения.*