

## ИЗУЧЕНИЕ БУМАЖНО-ПРОПИТАННОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

В. М. АНИКЕЕНКО, В. Ф. ГРАФОВ, М. Н. ТРЕСКИНА

(Представлена научным семинаром кафедры ЭИКТ)

В процессе эксплуатации кабельных линий на изоляцию воздействуют тепловое и электрическое поля, вызывающие необратимые изменения электрических и физико-механических характеристик, степень изменения которых характеризует состояние изоляции [1, 2, 3].

Целью данной работы явилось исследование состояния изоляции силового кабеля марки СБ 3×95 на 10 кВ и прогнозирование дальнейшей работы после 30-летней эксплуатации в условиях частичного обеднения (изоляции) вследствие утечки пропиточного состава через сквозные трещины в оболочке. В кабелях, особенно с секторными жилами и нерадиальным электрическим полем, обеднение приводит к появлению и развитию ионизационных процессов, выходу кабеля из строя.

В связи с вышесказанным изучались  $\operatorname{tg}\delta$ ,  $R_{\text{из}}$ , напряжение начала ионизации, электрическая прочность при кратковременном и длительном воздействии напряжения частотой 50 Гц и механическая прочность бумажной изоляции. С целью сравнения степени старения изоляции кабеля СБ параллельно исследовалась изоляция «нового кабеля» (изготовленного в феврале 1971 г.) марки АСБ 3×70 на 10 кВ в исходном состоянии и после 50 и 200 часов обеднения в лабораторных условиях. Исследование проводилось на образцах и моделях кабелей, в конструкции которых предусматривалось исключение утечки тока по поверхности, краевого эффекта и т. п.

За время работы кабельной линии произошло частичное обеднение и старение бумажной изоляции. Эти процессы оказали наибольшее влияние на слои лент, расположенные у поверхности жилы: так,  $E_{\text{пр}}$  первых слоев составляет 25 кВ/мм, наружных слоев фазной и поясной изоляции соответственно 36,7 кВ/мм и 45 кВ/мм. При этом предел прочности на разрыв лент фазной изоляции у кабеля марки СБ равен 7,01 кг/мм<sup>2</sup>, у кабеля АСБ 8,17 кг/мм<sup>2</sup>. Установлено, что напряженность начала ионизации в изоляции кабеля СБ находится на уровне 0,855 кВ/мм, АСБ 0,94 кВ/мм. Результаты исследования  $\operatorname{tg}\delta$  и  $R_{\text{из}}$  в зависимости от температуры и времени искусственного обеднения представлены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, для схемы подсоединения образцов кабеля «одна жила против двух других, соединенных со свинцовой оболочкой»  $\operatorname{tg}\delta$ , при испытательном напряжении, меньшем напряжения начала ионизации, у кабеля СБ при повышенных температурах в 1,5—2 раза больше, чем у изоляции кабеля АСБ.

Таблица 1

№ п/п	t °C	Кабель СБ			Кабель АСБ		
		время обеднения (часы)					
		0	50	200	0	50	200
$\operatorname{tg} \delta$							
1	20	0,01	0,01	0,010	0,01	0,02	0,015
2	60	0,09	0,078	0,065	0,02	0,032	0,05
3	80	0,22	—	0,17	0,03	0,075	0,09
$R_{\text{из}} \cdot 10^{-12}$							
4	20	4,2	6,2	6,3	2,3	6,2	6,2

Приведенные выше характеристики позволяют лишь качественно оценить состояние изоляции кабелей, но не позволяют количественно оценить срок ее службы. С целью прогнозирования надежности изоля-

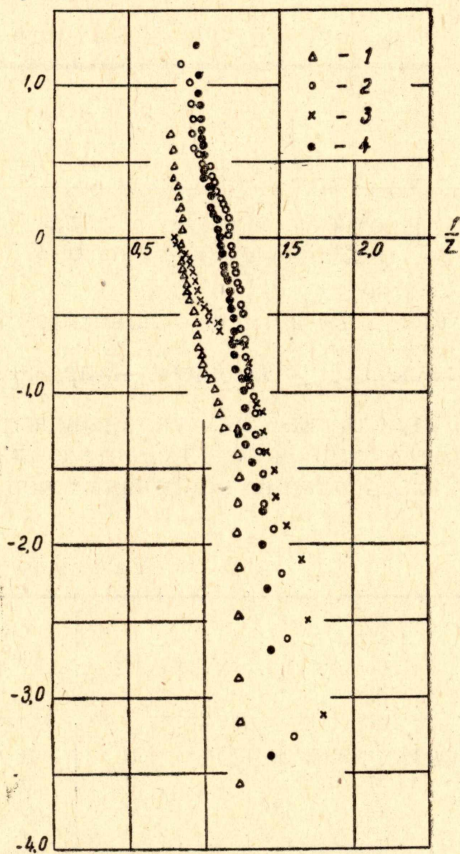
 $\ln[-\ln P(\tau)] - \ln Z$ 


Рис. 1. Зависимость  $\ln[-\ln P(\tau)] - \ln Z$  от  $\frac{1}{Z}$  для кабелей марки СБ при различных  $E_{\text{max}}$

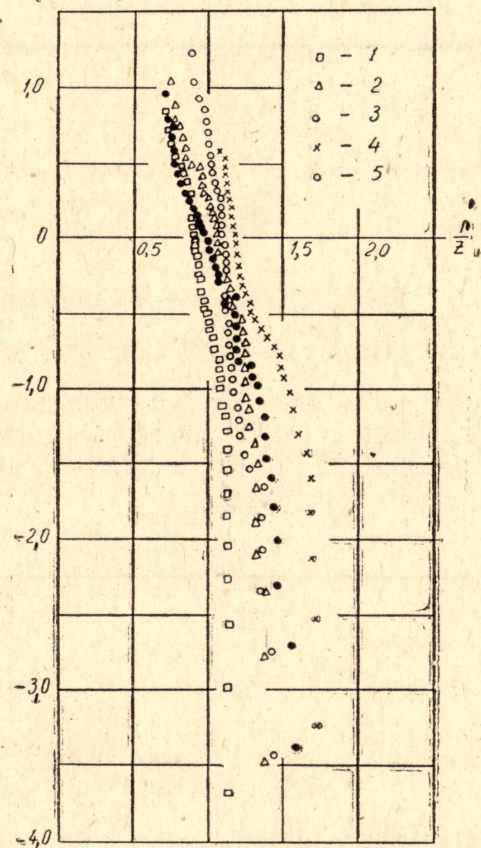
 $\ln[-\ln P(\tau)] - \ln Z$ 


Рис. 2. Зависимость  $\ln[-\ln P(\tau)] - \ln Z$  от  $\frac{1}{Z}$  для образцов фазы кабеля марки АСБ при различных  $E_{\text{max}}$

ции кабелей СБ и АСБ были проведены испытания 4-х партий модельных образцов каждого кабеля при длительном воздействии переменного напряжения технической частоты. Результаты испытаний, обработан-

ные с помощью распределения Вейбулла, и представляют собой ломаные кривые, имеющие по 2—4 прямолинейных участка.

На кафедре электроизоляционной и кабельной техники ТПИ разработана методика оценки надежности кабельных изделий [4]. Уравнение надежности при отсутствии внешних и внутренних механических напряжений имеет вид

$$P(\tau) = \exp \left[ - \frac{d \cdot S_M}{0,482 \cdot v_0 \cdot f} \cdot Z \cdot \exp \left( - \frac{0,482 \cdot \ln \frac{0,65}{p^{5/3}}}{Z} \right) \right], \quad (1)$$

$$Z = \left[ \ln \frac{1 - \frac{1}{v}}{A \cdot e^{-bT} \cdot f \cdot E \cdot \ln \frac{2D}{A \cdot e^{-bT} \cdot \beta \cdot f \cdot E}} \right]^{0,82} \cdot \left[ \frac{1}{D - A \cdot e^{-bT} \cdot \beta \cdot f \cdot E - 2ki \cdot \ln \tau / \tau_0} \right] \quad (2)$$

Методика определения параметров уравнения (1) описана в [4]. Результаты расчетов приведены в табл. 2 и рис. 1—2.

Таблица 2

Модель кабеля	$\frac{W \cdot 10^{-19}}{\text{св}}$	$\frac{A \cdot e^{-27}}{\frac{\text{дж}}{\text{св}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{в}}}$	$\frac{b \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{^\circ\text{К}}}$	$\frac{1}{v}$	$P$	$\frac{v_0 \cdot 10^{-7}}{\text{м}^3}$
СБ	4,86	2,60	5,10	0,200	0,00724	7,34
АСБ	5,16	2,12	3,16	0,222	0,00153	6,44

Как следует из приведенных рис. 1—2, все зависимости  $\{\ln[-\ln P(\tau)] - \ln Z\} = f\left(\frac{1}{Z}\right)$ , соответствующие различным напряжениям поля и температуре для каждой модели кабеля, укладываются на одну прямую. Поэтому следует считать ошибочным представление автора [6] об изменении механизма отказа изоляции при разных вероятностях ее пробоя.

Таблица 3

Кабель	Срок службы, годы	Т °К							
		1	2	3	5	10	15	20	30
Изоляция кабеля СБ	333	1	0,99996	0,99996	0,99992	0,94060	0,072	0	0
	343	0,99996	0,99992	0,84900	0	0	0	0	0
	353	0,33000	0	0	0	0	0	0	0
Изоляция кабеля АСБ	333	1	1	1	1	0,99996	0,99996	0,99996	0,99994
	343	0,99998	0,99998	0,99996	0,99996	0,99992	0,99992	0,95630	0,33865
	353	0,99994	0,99994	0,99992	0,97650	0,00245	0	0	0

На основании определенных параметров по уравнению (1) были проведены расчеты надежности изоляции кабельной линии длиной 2700 м на напряжение 10 кВ, изготовленной из кабеля АСБ 3×70 и СБ 3×95 при температурах 333, 343 и 353°К. Результаты расчетов веро-

ятности безотказной работы изоляции кабельной линии представлены в табл. 3.

### Выводы

1. В процессе эксплуатации кабелей с вязкой пропиткой происходит ухудшение свойств изоляции: уменьшается кратковременная электрическая прочность как отдельных лент, так и изолированных жил, увеличиваются диэлектрические потери в области повышенных температур (60—80°C). Замечено существенное ухудшение изоляции, расположенной у свинцовой оболочки.

2. Методика расчета долговечности и надежности электрической изоляции, разработанная в ТПИ, позволила рассчитать на основе экспериментальных данных надежность работы кабеля в состоянии значительного обеднения изоляции без учета муфт для различного срока эксплуатации.

3. Установлено, что при температуре эксплуатации линии, равной 60°C, кабель может работать без отказов в течение 7—8 лет, при 70°C — в течение 2-х лет и при 80°C — в течение 1 года.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Воскресенский, А. К. Манн. Исследование ионизационных характеристик изоляции кабеля с вязкой пропиткой. «Электрические станции», 1959, № 7.

2. М. А. Грейсух, Г. С. Кучинский и др. Бумажно-масляная изоляция в высоковольтных конструкциях. ГЭИ, 1963.

3. С. Н. Койков, А. Н. Цикин. Электрическое старение твердых диэлектриков. «Энергия», 1968.

4. В. С. Дмитриевский. Расчет электрической изоляции. ТПИ, 1972.

5. В. С. Дмитриевский, В. Ф. Графов и др. Старение твердых диэлектриков и надежность электрической изоляции. Тезисы доклада на Научном совете по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики. Новосибирск, 1970.

6. I. M. Oudin, I. Regollet, H. Thevenon. Rev. gen. electr., 1968, 77, № 7, 430—434.