

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ РЕЗИН

М. Н. ТРЕСКИНА, Н. Р. ГОНЧАР, И. И. СИНИЦЫН

(Представлена научным семинаром кафедры электроизоляционной  
и кабельной техники)

Практически резиновая изоляция кабеля подвергается воздействию одновременно электрического, теплового полей и механических нагрузок. Поэтому представляет интерес исследование длительности жизни резин в условиях, близких к эксплуатационным. При отсутствии внешней короны развитие пробоя обуславливается процессами, протекающими в объеме резины. Резина многокомпонентна и вследствие структурных и технологических особенностей ей присуща пористость. Можно предположить, что основными факторами, приводящими к пробоям образцов резин, будет воздействие частичных разрядов в микрообъемах и разрушающее действие озона.

В качестве объектов исследования выбраны наиболее распространенные резины ТСШ-35А и ТСШМ-40 на основе каучуков с большой непредельностью. Эти резины отличаются процентом каучука в составе смеси, кроме того в резине ТСШМ-40 использован сильный антиозонант — сантофлекс УР. На многие свойства и поведение резин при старении оказывает влияние тип пространственной сшивки [1—3]. Так, резины, в качестве вулканизирующего агента в которых использован тиурам, имеют преимущественно моно- и дисульфидные связи, а сернистые резины — полисульфидные связи. Если первой резине присуща большая энергия поперечных связей, более высокая теплостойкость, то сернистые резины благодаря хорошим релаксационным свойствам имеют более высокие механические характеристики, но менее стойки при тепловом и озонном старении [1—3]. Для исследования влияния типа пространственной сшивки на длительную электрическую прочность в работе использованы модели резин № 144 (тиурамовая) и № 145 (сернистая). Состав исследуемых резин приведен в табл. 1.

Образцы резин выполнены в лаборатории ТомНИКИ. Режим вулканизации в прессе 143°С в течение 30 мин. Для исследования электрической прочности использованы плоские образцы резин толщиной  $0,5 \pm 0,05$  мм. Равномерное электрическое поле создавалось электродами плоскость — плоскость: а) нижний электрод — заземленная металлическая пластина; б) верхний высоковольтный электрод — латунный цилиндр диаметром 25 мм с закругленными краями, для устранения внешней короны опрессованный изоляционной резиной.

При заданных значениях напряжения электрического поля, статической деформации растяжения, температуре определялся набор времени жизни до пробоя (20—35 точек), за оценку принималось время, соот-

ветствующее вероятности  $P = 0,5$  и  $0,7$  по интегральным кривым распределения времен жизни.

Таблица 1

Состав исследуемых резин

Наименование ингредиентов	Содержание в весовых частях			
	ТСШ-35А	ТСШМ-40	№ 144	№ 145
НК	70	60	50	50
СКД	—	40	50	50
СКБ-35-40 рД	30	—	—	—
Тиурам	3,4	3,5	3,5	—
Сера	—	—	—	5,0
Каптакс	—	—	—	0,5
Стеариновая кислота	2	2	1	1
Окись цинка	5	11	5	5
Сантофлекс IP	—	5	5	5
Мел химический	—	35	35	35
Мел сепарированный	168	—	—	—
Парафин	3,0	7,5	7,5	7,5
Тальк	—	82	82	82
Прочие	3,6	6	—	—

В литературе известны данные по «кривым жизни» кабелей и различных изоляционных материалов. В кабельной технике принято «кривые жизни» представлять в координатах  $E = f(T)$ , а спрямление кривых  $E = f\left(\frac{1}{\sqrt{T}}\right)$  позволяет определить длительную прочность  $E_{\infty}$ . При работе с полимерными пленками авторы [4] исследовали зависимости  $\tau = BE^{-m}$  и  $\tau = Ae^{-BE}$ . Анализ зависимости  $\lg \tau = f(\lg E)$  показал, что в определенном интервале  $E$  зависимость представляет прямую линию. Время жизни  $\tau$  резко возрастает, стремясь к бесконечности при приложении напряженности поля, близкой к напряженности начала ионизации. При  $E \leq E_u$  частичные разряды отсутствуют и ионизационное старение полимерных пленок не происходит [4].

При исследовании «кривых жизни» резин зависимости  $\lg \tau = f(E)$  и  $\lg \tau = f(\lg E)$  заметно не отличаются. Однако хорошо просматриваются напряженности, при которых время жизни стремится к «бесконечности». Нами приняты для обсуждения зависимости  $\lg \tau = f(\lg E)$ . Полученные зависимости по характеру аналогичны кривым, обсуждаемым в [4].

В растянутом состоянии в объеме резины возможно расслоение и образование свободных объемов (пор), напряженное состояние связей в молекулярной системе. При определенных напряженностях электрического поля в порах возникает ионизация и вследствие ее разрушающего действия (электронная и ионная бомбардировка, локальный нагрев, действие продуктов, разряда, в особенности озона) резина со временем выходит из строя, наступает пробой.

Как видно из рис. 1—3, при определенных напряженностях электрического поля время жизни резин велико, что возможно и определяется начальной ионизацией, не вызывающей существенных разрушений ( $E_u$ ). В согласии с высказанным положением находится тот факт, что для всех

резин увеличение статической деформации растяжения приводит к уменьшению  $E_u$  (рис. 1—2). Деформации выбраны близкими к практически встречающимся в эксплуатации гибких кабелей (10÷20%). Увеличение деформации от 10 до 20% приводит к уменьшению  $E_u$  на 20% при температуре 20°С и на 8—10% при 60°С, а при заданной напряженности

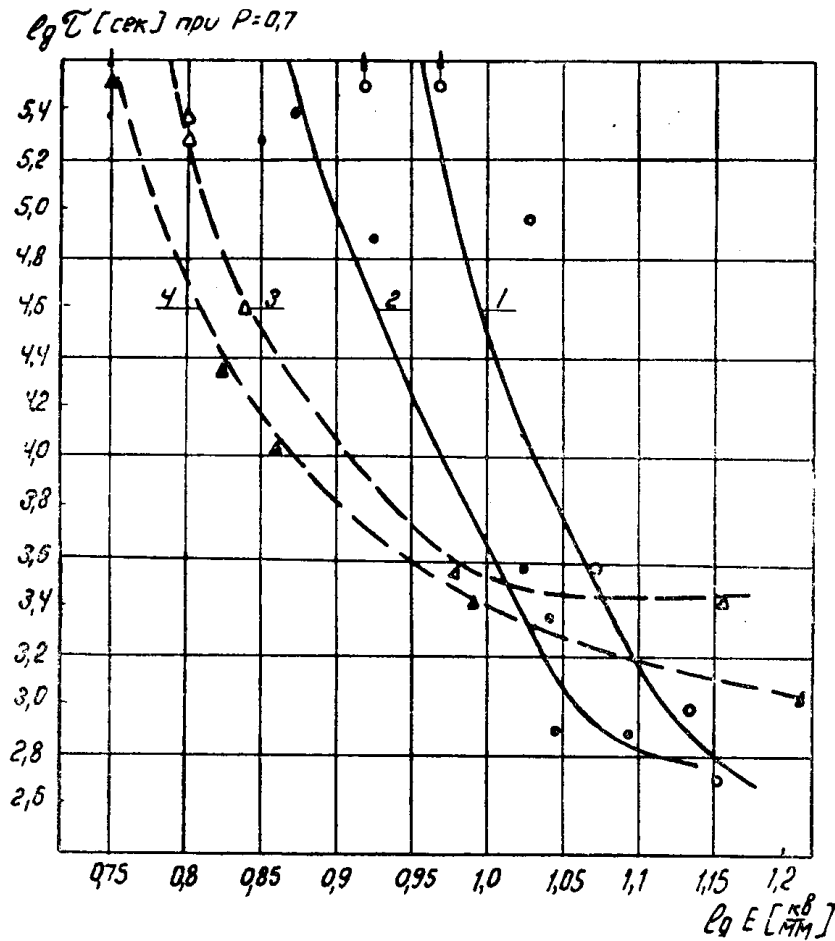


Рис. 1. Зависимость  $\lg \tau = F(\lg E)$  для резины ТСШ-35А:  
 1 —  $t = 20^\circ \text{C}$ ,  $\varepsilon = 10\%$ ; 2 —  $t = 20^\circ \text{C}$ ,  $\varepsilon = 20\%$ ; 3 —  $t = 60^\circ \text{C}$ ,  
 $\varepsilon = 10\%$ ; 4 —  $t = 60^\circ \text{C}$ ,  $\varepsilon = 20\%$

подобное увеличение деформации сокращает время жизни резин в 10 раз при 20°С и в 2,5 раза при 60°С. Несущественные изменения при 60°С могут быть связаны с релаксационными процессами, уменьшением внутренних напряжений в растянутых резинах.

Высказанное положение о характере разрушения подтверждается и тем фактом, что резине с антиозонантом (ТСШМ-40) характерны более высокие  $E_u$  и более длительные времена жизни (особенно при температуре 20°С). С увеличением температуры уменьшается эффективность защитного действия сантофлекса и менее существенна разница в значениях  $E_u$  резины ТСШМ-35А и ТСШМ-40 (рис. 1, 2).

На рис. 3 приведены зависимости  $\lg \tau = f(\lg E)$  для резин с различной вулканизирующей группой. Как при температуре 20°С, так и в нагретом состоянии (60°С) более высокие напряженности ( $E_u$ ) и большие времена жизни характерны для тиурамовой (№ 144) резины с моно- и дисульфидными поперечными мостиками, имеющими большую энергическую связь. Несмотря на то, что первичные акты разрушения вулканизаторов обусловлены двойными связями, в процессе объемного разрушения

(например, при прорастании озонных трещин, приводящих к пробое) вносит вклад величина энергии пространственной сшивки молекул и, видимо, в меньшей степени влияет снятие напряженного состояния в ко-

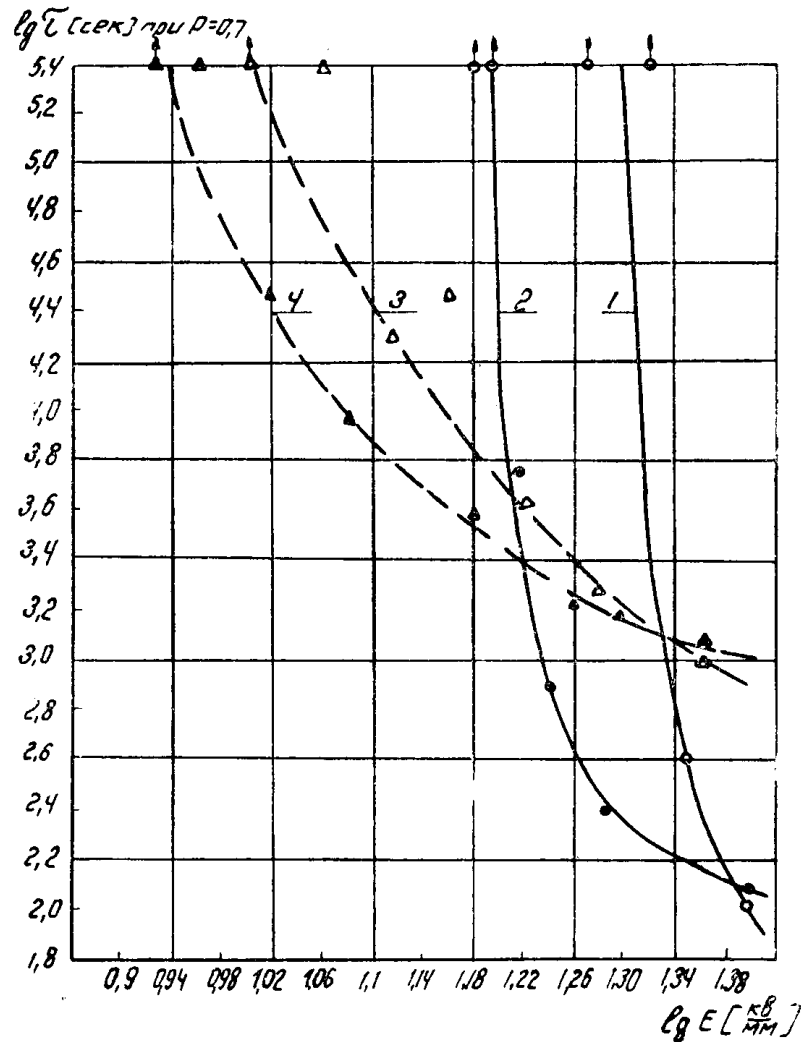


Рис. 2. Зависимость  $\lg \tau = f(\lg E)$  для резины ТСПМ-40-2:  
 1— $t = 20^\circ \text{C}$ ,  $\varepsilon = 10\%$ ; 2— $t = 20^\circ \text{C}$ ,  $\varepsilon = 20\%$ ; 3— $t = 60^\circ \text{C}$ ,  
 $\varepsilon = 10\%$ ; 4— $t = 60^\circ \text{C}$ ,  $\varepsilon = 20\%$

нусе трещины за счет релаксационных возможностей цепей (при гибких цепях резины № 145 времена жизни меньше, чем для резины № 144).

Анализируя значения напряженностей электрического поля  $E_u$ , при которых времена жизни резин стремятся к «бесконечности» (более 100 час), можно рекомендовать методику определения допустимых рабочих напряженностей  $E_{\max}$ .

В табл. 2 приведены полученные в данной работе значения  $E_u$  для исследуемых резин.

Известно, что динамическая и циклическая деформации для резин более опасны, чем статическая деформация [3]. К сожалению, нет коэффициентов, позволяющих вести пересчет долговечности резин при переходе от одной деформации к другой. Учитывая возможное воздействие на резину в эксплуатации кроме статических деформаций также циклические и динамические, а также возможные электрические перенапряжения при эксплуатации кабеля, необходимо при определении  $E_{\max}$  предусмотреть коэффициент запаса прочности  $n$ .

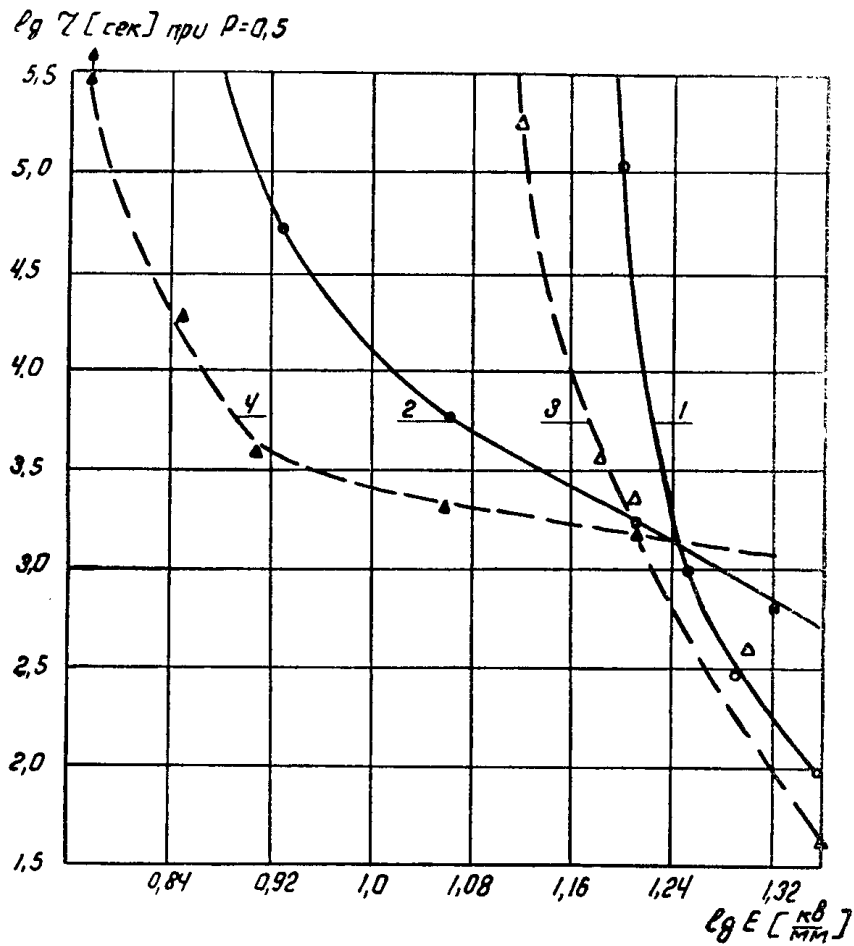


Рис. 3. Зависимость  $\lg \tau = f(\lg E)$  при  $\varepsilon = 20\%$  для резины № 144 (1— $20^\circ\text{C}$ , 2— $60^\circ\text{C}$ ) и № 145 (3— $20^\circ\text{C}$ , 4— $60^\circ\text{C}$ )

Таблица 2

Значения напряженностей начала ионизации, определенные по «кривым жизни» резины

Резина	$E_{ц}, \text{кв/мм}$			
	$t=20^\circ\text{C}$		$t=60^\circ\text{C}$	
	$\varepsilon=10\%$	$\varepsilon=20\%$	$\varepsilon=10\%$	$\varepsilon=20\%$
ТСШ-35	9,0	7,1	6,2	5,6
ТСШМ-40	20,0	16,0	10,0	8,7
№ 144	—	15,0	—	7,6
№ 145	—	12,0	—	6,0

Зная, что для гибких кабелей на напряжении 6 кВ с изоляцией из резины ТСШ-35А допускается  $E_{\max} = 1,75 \div 2,5$  кВ/мм, можно определить  $n$  по экспериментальным данным (табл. 2) при испытании резин при  $t = 60^\circ \text{C}$  и  $t = 20\%$ .

$$n = \frac{E_u}{E_{\max}} = \frac{5,6}{1,75 \div 2,5} = 3 \div 2,$$

Тогда для резины ТСШМ-40 могут быть рекомендованы

$$E_{\max} = \frac{8,7}{3 \div 2} = 2,9 \div 4 \text{ кВ/мм.}$$

### Выводы

Для резин замечена существенная зависимость времени жизни от величины напряженности поля, статической деформации растяжения, температуры, наличия противостарителя-сантофлекса  $JP$  и типа вулканизационных мостиков:

а) увеличение деформации от 10 до 20% приводит к уменьшению  $E_u$  20% резины ТСШМ-40, содержащей сантофлекс  $JP$ , в 100 раз превышает это влияние менее существенно;

б) при одинаковых напряженностях время жизни растянутой на 20% резины ТСШМ-40, содержащей сантофлекс  $JP$ , в 100 раз превышает время жизни резины ТСШ-35А при  $20^\circ \text{C}$  и в 16 раз при  $60^\circ \text{C}$ ;

в) при  $\epsilon = 20\%$ ,  $t = 60^\circ \text{C}$  напряженности  $E_u$ , соответствующие  $\tau \rightarrow \infty$ , составляет 5,6 и 8,7 кВ/мм для ТСШ-35А и ТСШМ-40 соответственно. Если  $E_{\max}$  резины ТСШ-35А составляет  $1,75 \div 2,5$  кВ/мм, то для ТСШМ-40 можно рекомендовать  $2,9 \div 4$  кВ/мм;

г) резина, в которой вулканизирующим агентом является тиурам, более устойчива к воздействию электрического поля по сравнению с резиной, вулканизованной серой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. З. Борщевская. Коррозионное разрушение напряженных резин. Кандидатская диссертация, М., НИИРП, 1965.
2. А. С. Кузьминский, Н. Н. Лежнев, Ю. С. Зуев. Окисление каучуков и резин. М., Госхимиздат, 1957.
3. С. М. Кавун. Исследование термической и термоокислительной деструкции сшитых эластомеров в условиях статического и динамического нагружения. Кандидатская диссертация. М., ИХФАН, 1968.
4. С. Н. Койков, А. Н. Цикин. Электрическое старение твердых диэлектриков. Л., «Энергия», 1968.