

СВОЙСТВА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РЕЗИН

М. Н. ТРЕСКИНА, Н. Р. ГОНЧАР, С. Ф. ГОДУНОВА

(Представлена научным семинаром кафедры электроизоляционной и кабельной техники)

В гибких высоковольтных кабелях напряжением 6 кВ и выше незаменимым материалом для изоляции является резина. Вследствие структурных и технологических особенностей резине присуща пористость. При работе резиновой изоляции в электрическом поле напряженностью 3 кВ/мм и выше в газовых порах происходит ионизация, приводящая к ухудшению основных свойств резиновой изоляции гибкого кабеля.

К высоковольтным резинам предъявляется наряду с другими, требование высокой озонной и коронной стойкости. Повышение озонной и коронной стойкости резин может быть достигнуто путем применения специальных каучуков и стабилизаторов, наиболее эффективным является применение синтетических каучуков с малой непредельностью. По озоностойкости каучуки, применяемые в высоковольтных резинах, могут быть расположены в ряд по убывающей степени: кремний — органический (предельное соединение), этилен-пропиленовый (предельное соединение), бутилкаучук (непредельность 0,6 ÷ 1,0 мол %), натуральный каучук (непредельность до 96 мол %) [1]. По данным [2] короностойкость бутилкаучуковой резины в 2 раза выше, чем резины на основе натурального каучука, короностойкость этилен-пропиленовой резины в 1000 раз выше, чем короностойкость бутилкаучуковой резины. Таким образом, с уменьшением непредельности каучука увеличивается озонная и коронная стойкость резин.

Однако малая непредельность каучуков затрудняет процесс вулканизации резиновых смесей, обуславливает подбор специальных вулканизующих групп, состава смеси и выбор режимов вулканизации, что оказывает влияние на свойства резины.

В данной работе исследованы электроизоляционные и механические свойства изоляционных резин на основе различных каучуков: бутилкаучуковая резина (БК), этилен-пропиленовые резины на основе СКЭП (ЭПР) и на основе тройного сополимера (ЭПТФ), кремнийорганические резины на основе каучука «Силастен-50» (КО-1) и на основе каучука СКТ (КО-2), кремнийорганическая резина на основе фторсодержащего каучука (КО-Ф) и резина ТСШ-35А. Резиновые смеси выполнены по типовым рецептурам и свулканизованы в лаборатории ТомНИИКП.

Для оценки свойств изоляционных резин в условиях, близких к эксплуатационным, исследования проведены на образцах различных толщин (1 мм и 4 ÷ 5 мм) в температурном интервале от +20 до +120°C.

Оценка устойчивости резин к воздействию теплового поля сделана по изменению механических свойств.

Удельное объемное сопротивление резин рассчитывалось по токам, измеренным на гальванометрической установке с помощью лампового электрометра, после 1-минутной выдержки образца под напряжением. $\operatorname{tg} \delta$ и ϵ резин определены с помощью моста Р — 525. Электрическая прочность оценивалась по пробивному напряжению образцов резин при электродах игла-плоскость. Толщина пробиваемого слоя (0,8 мм и

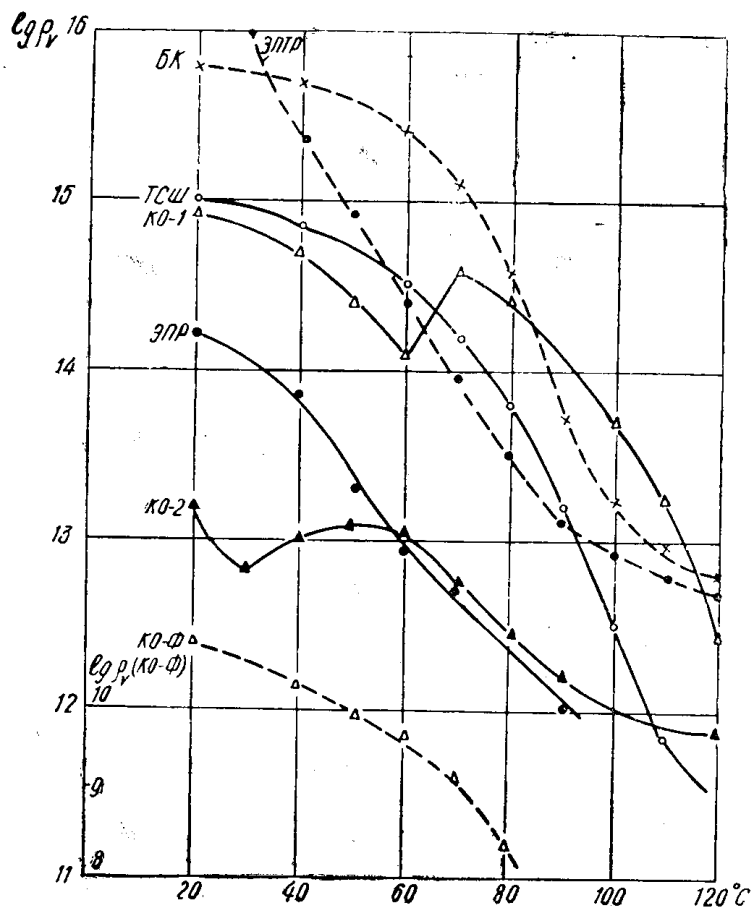


Рис. 1. Зависимость $\lg \rho_v$ от температуры для резин при толщине образцов 4—5 мм

—○— ТЩ-35 А, —×— бутилкаучуковая резина (БК), —●— резина на основе этилен-пропиленового каучука твердостью по Дефо 280 Г с Аэросилом (ЭПР), —●— этилен-пропиленовая резина на основе тройного сополимера (ЭПТР), —△— кремнийорганическая резина на основе каучука «Силостен-50» (КО-1), —▲— КО-резина на основе каучука СКТ (КО-2), —△— КО-резина на основе фторсодержащего каучука (КО-Ф)

2,5 мм) устанавливалась при перемещении иглы с помощью микрометрического винта. Измерения механических свойств резин проведены по стандартной методике.

Полученные экспериментальные данные представлены на рис. 1 ÷ 5 и в табл. 1.

Для всех исследуемых резин температурные зависимости, свойств S_v , $\operatorname{tg} \delta$, ϵ аналогичны для тонких (1 мм) и толстых слоев (4—5 мм).

Таблица 1

Электроизоляционные и механические свойства резины ТСШ-35А, бутилкаучуковой
(БК) этилен-пропиленовых (ЭП) и кремнийорганических резин (КО)

Характеристика	Резина ТСШ-35А	БК-резина	ЭП-резина на основе СКЭП	ЭП-резина на основе тройно- го сополимера	КО- резина на основе „Силас- тен—50“	КО-резина на основе СКТ	КО-резина на основе фторсо- держашего кау- чука
	2	3	4	5	6	7	8
ρ_v , ом см при 20°C при 100°C Кратность уменьшения	1·10 ¹⁵ 3,2·10 ¹² 3,1·10 ²	6·10 ¹⁵ 1,8·10 ¹³ 3,3·10 ²	1,7·10 ¹⁴ 8·10 ¹¹ 2,1·10 ²	6,3·10 ¹⁶ 8·10 ¹² 8·10 ³	8·10 ¹⁴ 5·10 ¹³ 16	1,6·10 ¹³ 1·10 ¹² 16	5,6·10 ¹⁰ <10 ⁷ >10 ³
tgδ при 20°C при 100°C Кратность увеличения	0,004 0,060 15	0,010 0,026 2,6	0,006 0,026 4,3	0,007 0,024 3,4	0,003 0,030 10	0,130 0,150 1,15	0,150 60°C—0,99 6,6
ε при 20°C при 100°C % изменения	3,77 3,87 +2,7	2,37 2,58 +8,9	3,60 3,52 —2,2	3,54 3,50 —1,1	3,0 2,8 —6,7	10,0 10,5 +5	6,6 60°C—14,0 +112
$U_{пр}$ ср. при толщине слоя 2,5 мм, кв среднеквад- ратичное отклонение, кв	36,8 3,74	38,0 3,75	36,2 2,99	37,3 3,38	39,8 4,37	27,3 2,22	25,4 2,74

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Разрывная прочность, $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ до старения после 4 сут. старения при 120°C % изменения	75,0	48,4	25,9	34,8	52,9	25,7	63,0
	51,3	47,0	31,2	34,3	53,8	29,4	61,0
	-31,6	-2,9	+20	-1,4	+1,7	+14,4	-3,2
Относит. удлинение, % до старения после 4 сут старения % изменения	486	668	683	572	426	463	467
	446	622	711	268	401	458	364
	-8,2	-6,9	+4,1	-53	-5,9	-1,1	-22
Остаточное удлинение, % до старения после 4 сут. старения % изменения	44	52	29	19	0	5	23
	44	49	35	0	0	4	17
	0	-5,8	+20	-100	-	-20	-26

Пробивная напряженность образцов резин при толщине слоя 2,5 мм на 40—50% меньше пробивной напряженности образцов при толщине слоя 0,8 мм.

При температуре 20°C наибольшим значением ρ_v обладает резина ЭПТР ($\rho_v = 6,3 \cdot 10^{16}$ ом см), наименьшим ρ_v — резина КО-Ф $\rho_v = 5,6 \cdot 10^{10}$ ом см) (рис. 1). При повышении температуры до 100°C замечено значительное (в $8 \cdot 10^3$ раз) уменьшение ρ_v резины ЭПТР и незначительное (в 16 раз) резин КО-1 и КО-2 (табл. 1).

Исследуемые резины при 20°C имеют близкие значения $\text{tg} \delta$, составляющие $0,003 \div 0,010$ (рис. 2). Исключение составляют кремнийор-

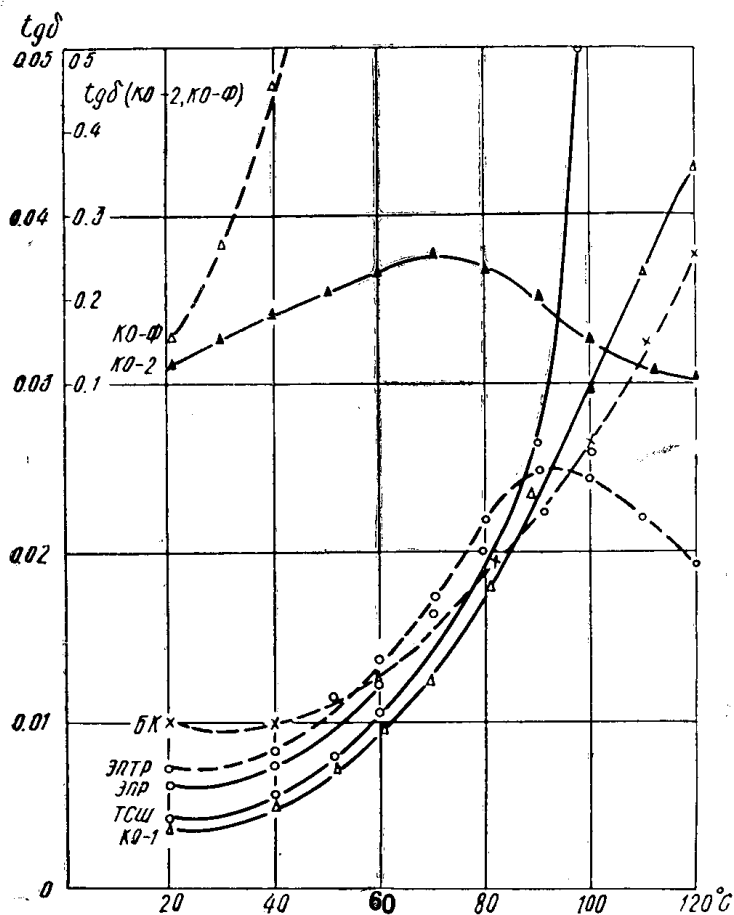


Рис. 2. Зависимость $\text{tg} \delta$ от температуры для резин при толщине образцов 4—5 мм. Обозначения — см рис. 1

ганические резины, обозначенные выше КО-2 и КО-Ф, $\text{tg} \delta$ которых равен $0,12 \div 0,15$. При повышении температуры до 100°C $\text{tg} \delta$ резин ТСШ-35А, КО-1 и КО-Ф увеличивается в 10-15 раз, для остальных резин возрастание $\text{tg} \delta$ составляет 2—4 раза. Диэлектрическая проницаемость БК-резины составляет 2,37, у кремнийорганических резин КО-Ф и КО-2 равны 6,5 и 10 соответственно, для остальных резин $\epsilon = 3 \div 3,8$. С повышением температуры ϵ резин ЭПР, ЭПТР, КО-1 уменьшается, ϵ остальных резин увеличивается (рис. 3).

Лучшей по электрической прочности является резина КО-1, худшими КО-2 и КО-Ф (рис. 4).

Из сравнения электроизоляционных свойств исследуемых резин видно, что кремнийорганическим резинам на основе фторсодержащего

каучука и СКТ присущи значительная электропроводность, высокие $\operatorname{tg} \delta$ и ϵ , следовательно высокая полярность, низкое значение электрической прочности. Кроме того, резина с СКТ уступает остальным по механической прочности.

По электроизоляционным свойствам лучшими являются бутылка-учуковая резина, этилен-пропиленовая резина на основе тройного

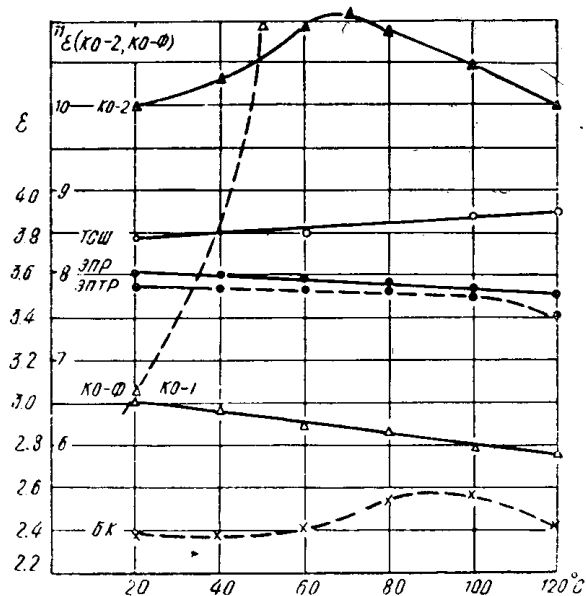


Рис. 3. Зависимость ϵ от температуры для резин при толщине образцов 4—5 мм. Обозначения — см рис. 1

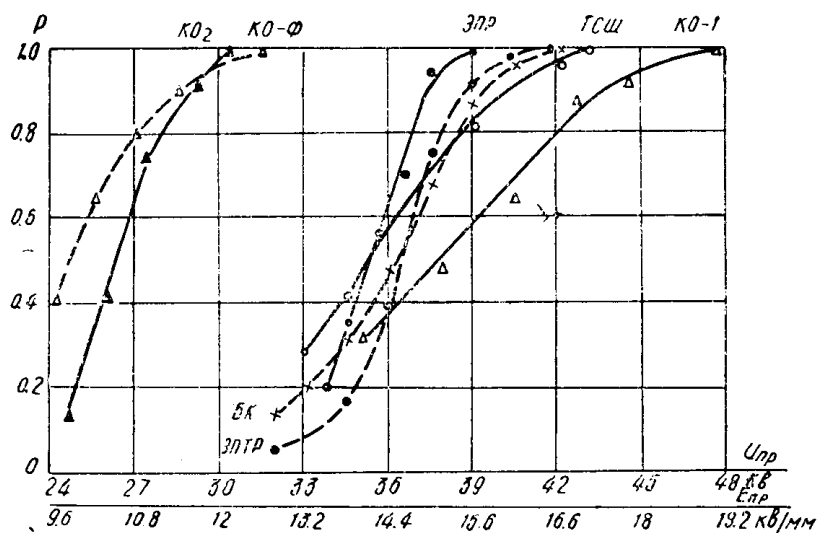


Рис. 4. Интегральные кривые вероятности пробоя образцов резин толщиной 4—5 мм при напряжении переменного тока, при электродах игла-плоскость и толщине пробиваемого слоя 2,5 мм. Обозначения — см. рис. 1

сополимера и кремний-органическая резина на основе «Силастен-50», но механическая прочность их на 36, 53 и 30% соответственно меньше прочности стандартной резины ТСШ-35А. Кроме того, в процессе теп-

лового старения резины ЭПТР наблюдается значительное уменьшение относительного и остаточного удлинений (рис. 5). В работе замечено увеличение ρ_v и уменьшение $\operatorname{tg} \delta$ этой резины после дополнительного нагревания до температуры 100°C , что может быть связано с продолжающимся процессом вулканизации при нагревании резины.

В работе проведено сравнение свойств этилен-пропиленовой резины на основе тройного сополимера в зависимости от неопределенности

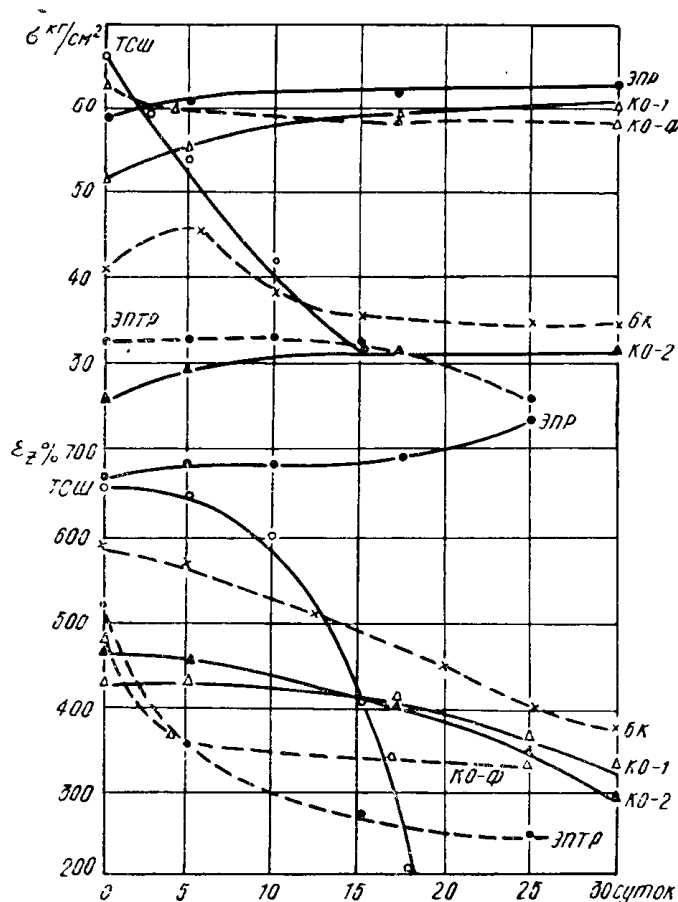


Рис. 5. Изменение разрывной прочности и относительного удлинения резин в процессе теплового старения при 120°C . Обозначения — см. рис. 1

(от 0,86 до 1,13 мол%) последнего. Изменение неопределенности каучука от 0,86 до 1,13 мол% не приводит к значительному изменению диэлектрических и механических свойств резины ЭПТР.

Резина ЭПР на основе этилен-пропиленового каучука имеет достаточно высокие диэлектрические свойства, но низкую механическую прочность (табл. 1).

В работе проведено сравнение свойств резины ЭПР в зависимости от твердости каучука. Диэлектрические свойства резины не зависят от твердости каучука, а механические свойства улучшаются с увеличением твердости каучука: увеличение твердости по Дефо от 280 Г до 800 Г приводит к возрастанию на 44% разрывной прочности, на 30% относительного удлинения и в 2 раза остаточного удлинения резины ЭПР. Кроме того, замена в этих резинах наполнителя-мела химического белой сажей типа Аэросил приводит к значительному повышению меха-

нической прочности (на 75%), относительного удлинения (на 50%), остаточного удлинения (в 3 раза).

Таким образом, имеется возможность получить озono-короностойкую этилен-пропиленовую резину с высокими диэлектрическими и механическими свойствами.

В работе проведено сравнение свойств двух бутилкаучуковых резин с различными вулканизирующими группами: 1) бессернистая, состоящая из парахинондиоксима, альтакса, перекиси марганца, 2) сернистая, состоящая из парахинондиоксима и серы.

На рис. 1—5 и в табл. 1 приведены данные для БК — резины с бессернистой группой.

Бутилкаучуковая вторая резина имеет худшие по сравнению с БК — резиновой первой (бессернистой) электроизоляционные и механические свойства:

$U_{пр}$ меньше на 10%, ρ_v меньше в 4 раза, $\operatorname{tg} \delta$ при 100°C больше в 4 раза, ϵ больше в 1,5 раза, разрывная прочность, относительное и остаточное удлинение меньше на 10, 20 и 18% соответственно и в процессе теплового старения при 120°C в течение 4 суток уменьшаются на 28, 37 и 45% соответственно (для бессернистой резины уменьшение при тепловом старении составляет 3,0, 7,0 и 5,8%).

Повышенная теплостойкость БК-резин с бессернистой группой по сравнению с сернистой БК-резиной объясняется более стойкими к термохимическим воздействиям поперечными связями -C-C- и C-O-C-O по сравнению со связями —C-S-C-. Кроме того, в резинах с бессернистой вулканизирующей группой остаточная ненасыщенность меньше, чем в сернистых резинах [1]. Поэтому БК-резина бессернистая является более озonoстойкой по сравнению с сернистой БК-резиной.

В работе получено заметное ухудшение свойств сернистой БК-резины при увеличении толщины образцов от 1 до 5 мм, что свидетельствует об увеличении неоднородности изоляции с увеличением толщины. Это подтверждается и большим значением среднеквадратичного отклонения $U_{пр}$ сернистой резины, составляющим 4,3 кВ при $U_{пр.ср.} = 35$ кВ (для бессернистой резины 3,75 кВ при $U_{пр.ср.} = 38$ кВ.).

Изучение изменения механических свойств резин в процессе теплового старения при 120°C показало (рис. 5), что со временем старения резин на основе каучуков, имеющих непредельность, происходит уменьшение разрывной прочности (резины ТСШ, БК, ЭПТР), а σ резин на основе предельных каучуков (резины ЭПР, КО-1, КО-2) со временем старения возрастает, что возможно связано с процессами деструкции в первом случае и со структурированием — во втором случае. В процессе теплового старения замечено значительное уменьшение относительного и остаточного удлинений резин ТСШ, БК и ЭПТР. Относительное удлинение кремнийорганических резин со временем старения незначительно уменьшается, а резины ЭПР незначительно возрастает.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. По электроизоляционным свойствам лучшими резинами из рассмотренных являются бутилкаучуковая, этилен-пропиленовая на основе тройного сополимера и кремнийорганическая на основе каучука «Силастен-50». Однако резина ЭПТР имеет низкую разрывную проч-

ность 34,8 $\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$ и резкое уменьшение при тепловом старении относи-

тельного и остаточного удлинений.

2. Исследованные кремнийорганические резины на основе СКТ и фторсодержащего каучука имеют низкие электроизоляционные и механические (резина с СКТ) свойства.

3. Изменение неопределенности тройного этилен-пропиленового каучука от 0,86 до 1,13 *мол*% не оказывает существенного влияния на диэлектрические и механические свойства резины.

4. Увеличение твердости по Дефо от 280 Г до 800 Г этиленпропиленового каучука приводит к возрастанию на 44% разрывной прочности, на 30% относительного удлинения и в 2 раза остаточного удлинения резины. Замена в этилен-пропиленовой резине мела химической белой сажей типа Аэросил приводит к повышению на 75% σ , на 50% ϵ_z в 3 раза остаточного удлинения.

5. Бутилкаучуковая резина с сернистой вулканизирующей группой имеет худшие диэлектрические и механические свойства, меньшую теплостойкость, большую неоднородность по сравнению с бессернистой БК-резиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. М. Глупушкин, А. Е. Саакян, Д. П. Щербаков. Кабельные резины, «Энергия», 1966.
 2. Отчет о посещении специалистами-кабельщиками заводов Италии. ОНТИ, 1966.
 3. Davini G. Современное развитие кабелей высокого напряжения, изолированных этилен-пропиленовой резиной «Mater. plast. ed elast.», 1967, 33, № 3.
 4. Л. И. Кранихфельд, Т. М. Орлович, Л. З. Хазен. Кремнийорганические резины в кабельной технике. ВНИИЭМ, 1966.
-