

М. М. Маркосян

Влияние влаги на электрическую прочность изоляционной резины

В настоящее время особо важное значение имеет вопрос замены свинцовой оболочки высокополимерными органическими материалами, преимущественно синтетическими каучуками и эластомерами.

Замена свинца высокополимерными органическими материалами не может быть проведена полностью из-за высокой влагопроницаемости последних.

Однако недостаточно сделать защитную оболочку с малым коэффициентом влагопроницаемости, нужно еще знать, как влияет проникающая в слой изоляции влага на ее электрические свойства и в особенности на электрическую прочность.

Электрическая прочность вулканизированной резины обусловлена целым рядом причин, из коих наибольшее значение имеет неоднородность структуры, наличие пор, образование и рост трещин и прочие слабые места, где обычно пробивается испытуемый образец [1]. По мнению ряда исследователей, причины, приводящие к пробоям сухой резины, объясняются главным образом наличием слабого места и образованием и ростом трещины. Следовательно, электрическая прочность изоляционной резины зависит не только от свойств компонентов, применяемых для изготовления резиновой смеси, но и от характера технологических операций по изготовлению изоляции и самого кабеля. При современном состоянии кабельной техники было бы неправильным считать резиновые смеси вполне однородными, ибо повторяемость значений пробивного напряжения сухой резины имеет весьма широкий диапазон рассеивания.

Другая вероятная причина пробоя — это образование и рост трещин под действием озона, который образуется в результате ионизации воздушных включений в резине и окружающего воздуха. Эти, постепенно углубляющиеся в резине трещины ослабляют ее электрическую прочность и приводят к пробоям. Процесс образования и роста трещин протекает быстрее при наличии натяжений в резине.

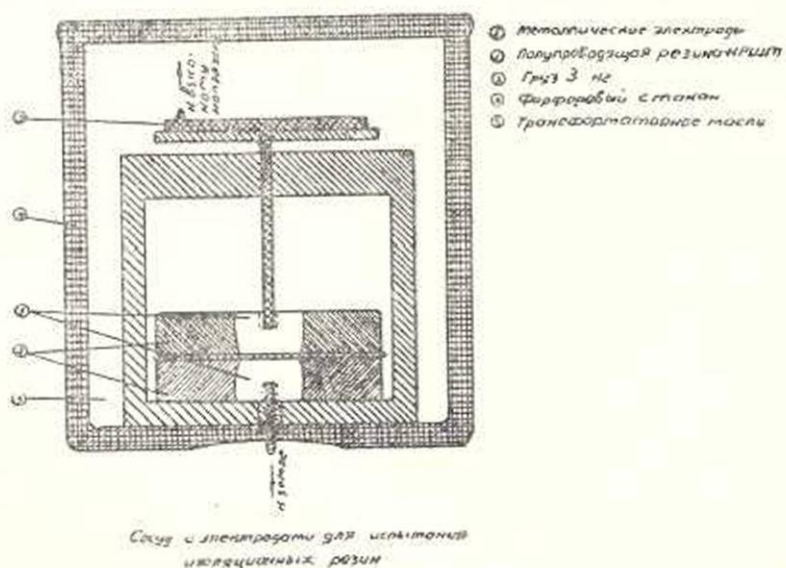
Исходя из анализа опытных данных, можно считать, что основным видом пробоя является пробой из-за ионизации воздушных включений и наличия слабых в электрическом отношении мест.

Тепловой характер пробоя резиновой изоляции может иметь место при температуре около 90—100°C. Так, например, исследование зависимости пробивной прочности резиновой изоляции высоковольтных проводов, проведенное С. М. Брагиним, показало, что до 60—80°C пробой не зависит от температуры, а при более высокой температуре пробивная прочность резко снижается. Тепловой пробой может иметь место при высокой частоте и в условиях плохого теплоотвода.

Для выяснения влияния времени увлажнения на пробивную прочность изоляционной резины нами были проведены три серии испытаний: первая серия — пробой высушенных образцов, вторая и третья серии — пробой увлажненных образцов. Способ увлажнения в обоих случаях был одинаковый. Разница заключалась лишь в том, что в одном случае образцы выдерживались в атмосфере воздуха при 100% относительной влажности более длительно, чем в другом, что давало разную степень увлажнения.

Объектом исследования являлись образцы современных промышленных резин, широко применяющихся на наших кабельных заводах, с преобладающим и с 50% натурального (ТСШМ-35 и ТС-45) и с преобладающим и со 100% содержанием синтетических каучуков (ТС-35; ТС-30).

Получение надежных результатов испытания в однородном электрическом поле обеспечивалось особой формой электродов с полупроводящей резиной (НРШМ), охватывающей весь стальной электрод, разработанных в Кабельной лаборатории МЭИ. Для обеспечения плотного прилегания электродов к поверхности образца, на них клался груз 3 кг (фиг. 1).



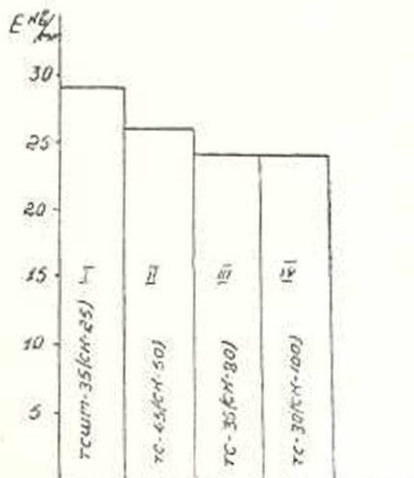
Фиг. 1.

Пробой производился переменным током промышленной частоты при непрерывном подъеме напряжения от нуля до пробоя со скоростью около 1 кв. в сек.

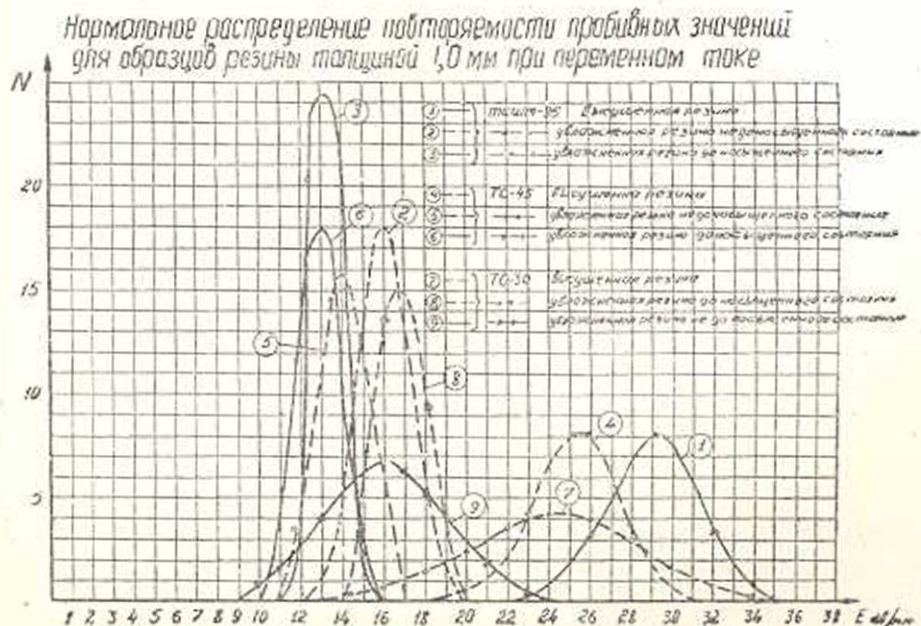
Как известно, в резиновой смеси имеется определенный процент наполнителей, ингредиентов и каучуков, которые выбраны на основе опыта и теоретических соображений, с целью получения наиболее выгоднейших технико-экономических показателей резиновой смеси. Таким образом, наличием примесей в резине будут обусловлены ее электрические свойства.

Из диаграммы 2 видно, что несмотря на изменение содержания синтетического каучука от 50 до 100% и характера резиновой смеси, электрическая прочность их практически не уменьшается.

На основании статистической обработки результатов испытаний построены кривые нормального распределения, выражающие зависимость между повторяемостью пробоя и величиной пробивной напряженности (фиг. 3). Из этих кривых видно, что для сухой резины величина пробивной прочности имеет весьма большое рассеивание.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Кривые распределения частот пробивной прочности изоляционных резин разных марок показывают, что на диапазон рассеивания влияет именно сам состав резины и до некоторой степени — однородность материала.

Кроме того, рассеивание электрической прочности зависит от размеров закрытых пор, ибо с увеличением последних при приложении к образцам высокого напряжения увеличивается поверхность соприкосновения резины с выделяющимся в порах озоном.

Механические и электрические характеристики резиновой смеси значительно улучшаются после вулканизации.

Современная теория вулканизации каучука объясняет улучшение механических и электрических характеристик образованием поперечных серных „мостиков“, как бы сшивающих молекулы каучука. Согласно этому представлению о строении резины, вулканизирующий агент, например сера, связывает макромолекулы каучука в пространственные сетки по основным валентностям [3].

Введением большого количества серы увеличивается процент связанной серы, а при 35% связанной серы получается уже эбонит.

Следовательно, можно ожидать увеличения электрической прочности резины с уменьшением пор в единице объема.

Наши рассуждения по вопросу увеличения электрической прочности с уменьшением пор в единице объема можно подтвердить тем фактом, что эбонит имеет большее значение электрической прочности, чем резина.

Уменьшение пор в единице объема можно достигнуть с увеличением времени вулканизации.

Все это справедливо в том случае, когда в резиновую смесь вводится большой процент серы, как вулканизирующий агент.

Однако в современных изоляционных резинах для повышения теплостойкости взамен серы вводится от 1,2 до 1,35% ускорителей (тиурам, каптакс).

Таким образом, для таких смесей увеличение времени вулканизации не приводит к увеличению количества поперечных мостиков, а следовательно, и к уменьшению пор в единице объема.

Рассеивание E_{cp} может быть характеризовано величиной стандарта рассеивания — σ_E и коэффициентом вариации V_E [2]:

$$V_E = \frac{\sigma_E}{E_{cp}} 100, \quad (1)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (E_n - E_{cp})^2}{\sum n}} \quad (2)$$

где

Коэффициент вариации сухой резины больше, чем увлажненной.

Разброс значений пробивной прочности вулканизированной сухой резины колеблется в широком диапазоне для марок ТСШМ-35 и ТС-45 и составляет 24% от среднего значения пробивной прочности — $E_{ср}$, а для резины ТС-30—40% от $E_{ср}$, т. е. у резины с преобладающим содержанием синтетического каучука разброс пробивной прочности больше, чем резины с меньшим процентом синтетического каучука. Частично это можно объяснить тем, что резина ТС-30 была взята из производственной партии, а остальные марки были изготовлены в лабораторных условиях и их изготовлению было уделено особое внимание.

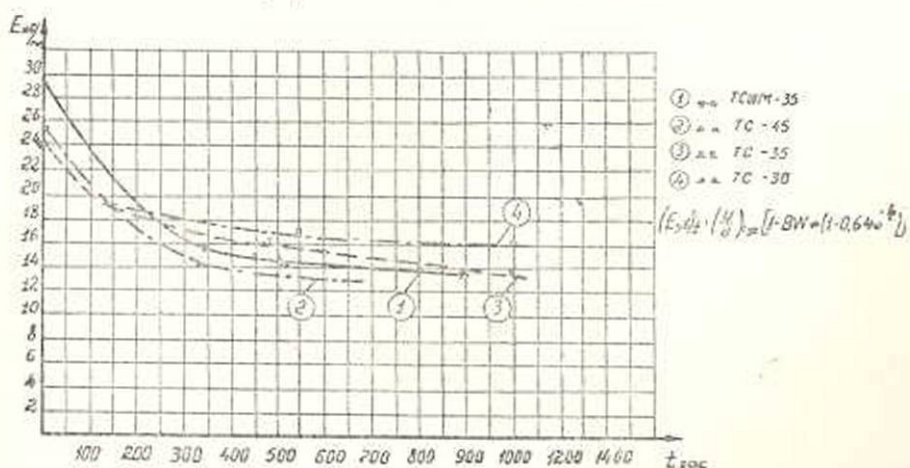
Приведенные данные показывают, что путем правильного выбора технологического режима изготовления резиновой смеси с преобладающим содержанием синтетического каучука типа Буна — С-3 можно получить изоляционную резину, не уступающую своими электрическими показателями резине с преобладающим содержанием натурального каучука.

По мере увлажнения разброс уменьшается и кривые $N_{10} = f(E)$ суживаются и передвигаются в сторону уменьшения электрической прочности.

У большинства диэлектриков, применяющихся в практике, электрическая прочность уменьшается с поглощением влаги.

Кривые $E = f(t)$ (фиг. 4) показывают, что с увеличением време-

Зависимость эл. прочности вулканизированных изоляционных резин толщ. 1,0 мм от времени увлажнения



Фиг. 4.

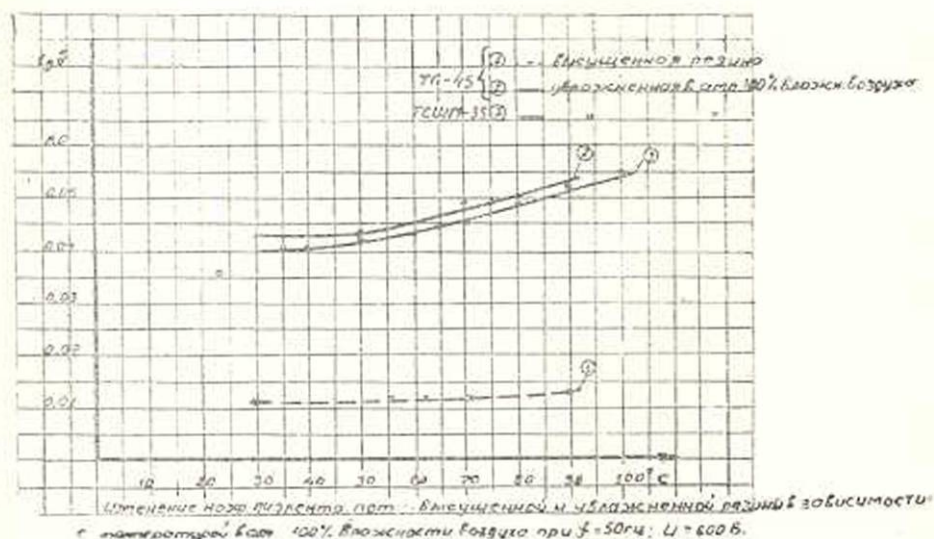
ни увлажнения резины ее электрическая прочность падает [и доходит до некоторого, почти неизменного минимального значения. Это значение находится в пределах от 12 до 16 кВ/мм, т. е. является не таким уж незначительным, как представлялось до проведения этих исследований.

Из кривых фиг. 4, выражающих изменение электрической прочности вулканизированной изоляционной резины от времени увлажнения — $E = f(t)$, видно, что в первый период увлажнения электрическая прочность резины непрерывно уменьшается. В этом периоде увлажнения скорость падения электрической прочности, численно равная тангенсу угла наклона касательной к кривой $E = f(t)$, является величиной постоянной — $\operatorname{tg} \alpha = \frac{E}{t}$ (0,06—0,04).

Однако в указанном периоде не у всех материалов замечается линейное изменение электрической прочности.

Например, у кабельных бумаг было замечено, что в течение небольшого промежутка времени увлажнения изменение электрической прочности с увеличением влажности происходит по кривой, которая сначала возрастает, а затем резко идет книзу и, наконец, устанавливается почти неизменной.

Резкое ухудшение электрической прочности изоляционной резины имеет место в начальный период увлажнения, после чего она практически не уменьшается. В течение 24-часового увлажнения пробивная прочность понижается на 20%. После 14-дневного увлажнения в атмосфере 100% относительной влажности воздуха снижение пробивной прочности резины ТСШМ-35 составляет 46%, а после 37-дневного — 53%.



Фиг. 5.

Поглощенная резиной влага связывается с материалом адсорбционными силами, и в результате материал приобретает новые свойства.

Надо полагать, что пробой при увлажнении резины является электрическим, так как нет ни нагревания образца, ни зависимости

пробивного напряжения от температуры. После двухмесячного увлажнения в атм. 100% влажного воздуха температурный ход тангенса угла диэлектрических потерь — $\operatorname{tg} \delta = f(t)$ (резин ТСПМ-35 и ТС-45) показывает (фиг. 5), что тепловая устойчивость увлажненной резины сравнительно высокая, хотя с повышением температуры тут имеет тенденцию к повышению, однако это увеличение незначительно.

Повидимому, механизм пробоя следующий: влага в начальном периоде увлажнения, проникая в резину, образует как бы острия, которые и создают пути для разряда.

В ы в о д ы

В результате проведенных экспериментов по изучению электрической прочности вулканизированной изоляционной резины марок ТСПМ-35, ТС-45, ТС-35, ТС-30, можно сделать следующие выводы:

1. Величина электрической прочности высушенной изоляционной резины указанных марок колеблется от 24 до 29 кВ/мм.

2. При увеличении содержания синтетического каучука от 50 до 100%, электрическая прочность практически не изменяется.

3. С увеличением процентного содержания натурального каучука разброс пробивной прочности уменьшается по сравнению с разбросом электрической прочности резиновых смесей с преобладающим и со 100% содержанием синтетического каучука.

4. Механизм пробоя увлажненной резины, повидимому, электрический, ибо тепловая устойчивость при этом сравнительно высокая. Несмотря на то, что с повышением температуры $\operatorname{tg} \delta$ имеет тенденцию к повышению, однако это увеличение незначительно и не приводит к заметному повышению температуры образца до пробоя.

5. С увеличением содержания синтетического каучука более 50% снижение пробивной прочности в зависимости от времени увлажнения происходит медленнее по сравнению с резиновой смесью с преобладающим содержанием натурального каучука.

Указанные выводы надлежит учесть при оценке срока службы кабеля с резиновой изоляцией, находившегося длительное время в условиях повышенной влажности и при составлении резиновых смесей на основе 100% и с преобладающим содержанием синтетического каучука.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 6 VII 1954

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Брагин С. М. Информационный материал по обмену опытом, № 2, 1945, ЦНИКЛ.
2. Романовский В. И. Применение математической статистики в опытном деле. ГЭИ, 1947.
3. Под редакцией Догадкина Б. А. и Пасынского А. Г. Химия больших молекул № 1, 1948.

Մ. Մ. Մարկոսյան

ԽՈՆԱՎՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵԿՈՒՍԻԶ ՌԵՏԻՆԻ
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԱՍՐՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգվածում բերված են տարրեր քանակություններով բնական և սինթետիկ կաուչուկ պարունակող մեկուսիչ ռետինի էլեկտրական ամրություն վրա խոնավության ազդեցության վերաբերյալ էքսպերիմենտալ հետազոտության արդյունքները:

Հետազոտվել են TC-45, TCШM-35, TC-35, և TC-30 մարկաների ռետինի նմուշներ, որոնք համապատասխանորեն պարունակում են 45, 35 և 30% կաուչուկ:

Փորձերը ցույց տվեցին, որ սինթետիկ կաուչուկի տեկոսը 50-ից մինչև 100 բարձրացնելը գործնականորեն չի ազդում մեկուսիչ ռետինի էլեկտրական ամրության վրա:

Բնական կաուչուկի տնտեսման նպատակով ոչ պատասխանատու կարելային շինվածքների ռետինե խառնուրդներում կարելի է ավելացնել սինթետիկ կաուչուկի տեկոսը, քանի որ վերջինիս մեծացումը նշված սահմաններում գործնականորեն չի փոխում ռետինի էլեկտրական ամրությունը:

Անհրաժեշտ է նշել, որ սինթետիկ կաուչուկի տեկոսի ավելացմամբ էլեկտրական ամրության տատանումը մեծանում է:

Ռետինի խոնավացման ժամանակը երկարացնելու հետևանքով նրա էլեկտրական ամրությունն բնկնում է և հասնում մինչև որոշ, դրեթե անփոփոխ, միջիմալ սահմանի՝ 12... 16 կՎ/մմ, իսկ էլեկտրական ամրության տատանումը փոքրանում է:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը, կարելի է ասել, որ տվյալ հետազոտության արդյունքները մեզ հնարավորություն կտան գնահատելու ռետինե մեկուսիչ ունեցող այն կարելի ծառայության տեղությունը, որը կար ժամանակ գտնվել է բարձր խոնավության պայմաններում, բացի այդ, մեզ կօգնեն 100% և գերակշռող սինթետիկ կաուչուկ պարունակող ռետինի խառնուրդներ պատրաստելու գործում: