

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. А. КАРАПЕТЯН

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
 КАБЕЛЕЙ С РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ  
 ИХ ТЕПЛОВОГО СТАРЕНИЯ

Немногочисленные работы посвящены исследованию изменений электрических характеристик кабельной резиновой изоляции при ее тепловом старении. Методика исследований в известных нам работах в частности в работе [1] заключалась в следующем. Из резиновой смеси, подлежащей старению, готовились пластины толщиной 2—3 мм. Эти пластины помещались в термостат и как правило подвергались нагреву при температурах, значительно превышающих нормально допустимые для данной резиновой изоляции.

В результате испытаний, проведенных по указанной методике, было установлено, что тепловое старение кабельной резиновой изоляции приводит к росту диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости.

На фиг. 1, заимствованной из отчета НИИ Кабельной Промышленности [1] представлены зависимости  $tg\delta$  от времени старения для двух резиновых смесей ТС-35 и ТСШ-35, испытанных вышеуказанной методикой при температуре 120°.

Однако действительные условия работы кабельной резиновой изоляции совершенно отличны от тех условий, при которых они обычно исследовались. Доступ воздуха к изоляции в кабеле отсутствует, а допустимая рабочая температура нагрева  $\psi$  изоляции не превышает 65°.

Исследование химических и физических изменений в резине в результате старения привело к выводу, что эффективность этих изменений зависит от температуры нагрева резины и количества присоединенного кислорода. Отсюда ясно, что в действительных условиях изменения  $tg\delta$  и  $\epsilon$  в кабельной резиновой изоляции могут оказаться иными, чем это получено при проведенных испытаниях.

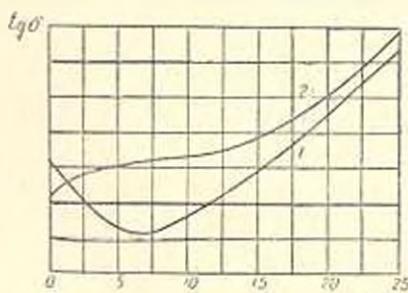


Рис. 1. Зависимость  $tg\delta$  от времени старения в сутках. Резиновая пластинка, старевшая при температуре 120° в термостате. 1—резина ТС-35 (СК-50); 2—резина ТСШ-35 (СК-50).

Наши опыты доказали правильность этих предположений. Методика исследований заключалась в следующем. Испытаниям подверглись куски кабелей с резиновой изоляцией типа СРГ-3000 в  $1 \times 1,5$  и  $1 \times 4,0$  кв.мм, КНРП-500в —  $2 \times 1,5$  кв.мм (производства з-да „Севкабель“) и опытный шестижильный электротракторный кабель Ереванского кабельного завода. Все эти кабели имели газо-непроницаемую оболочку. Для образцов брались куски кабелей длиной в 1 м. При такой длине образца окружающий воздух мог бы проникнуть во внутрь кабеля. С целью предотвращения проникновения воздуха концы кабельных кусков при подготовке образцов погружались в посуду с расплавленной смесью галовакса с бензилцеллюлозой. После охлаждения на концах образцов образовались прочные слои этого материала. Испытанию подверглись 30 образцов вышеназванных кабелей.

Изоляция указанных кабелей выполнена резиновыми смесями типа ТС-35 и ТСШ-35. Кабельные куски-образцы нагревались в термостате до температуры 45 и 75°. Образцы в сутки нагревались 10 часов, а остальное время суток охлаждались.

Измерения  $\text{tg}\delta$  и емкости образцов производились с помощью моста МДП. Результаты испытаний приведены на фиг. 2, 3 и 4. Как видно из этих фигур в противоположность прежним результатам (фиг. 1) тепловое старение приводит к снижению как  $\text{tg}\delta$ , так и емкости кабельных образцов.

Для объяснения причин этих расхождений выясним механизм химических изменений структуры каучука или резины в процессе старения. Выше отмечалось, что как изоляция всех испытанных нами кабелей, так и резиновые пластины, испытанные НИИКП, изготовлены из резиновых смесей типа ТС-35 и ТСШ-35. Эти резины изготовлены на основе натурального каучука (НК) и каучука СКБ.

НК является слабо полярным диэлектриком. Слабая полярность НК объясняется линейным строением молекулярной цепи и отсутствием в ней полярных групп. Потери в каучуке СКБ имеют более явно выраженный, чем в случае НК, полярный характер [2]. Это объясняется наличием боковых групп [3].

Диэлектрические потери в вулканизированной резине имеют ярко выраженный дипольный характер, т. е. температурная зависимость потерь имеет два максимума.

В области высокотемпературного максимума потерь, в полимерах под действием электрического поля ориентируются не только полярные группы и диполи, но и целые участки и звенья молекулярной цепи. В области низкотемпературного максимума потерь молекулярная цепь „замораживается“ и большинство звеньев не участвуют в тепловом движении.

Таким образом величина потерь в резине будет определяться не только количеством полярных групп, имевшихся в резине, но и подвижностью звеньев молекулярных цепей каучука.

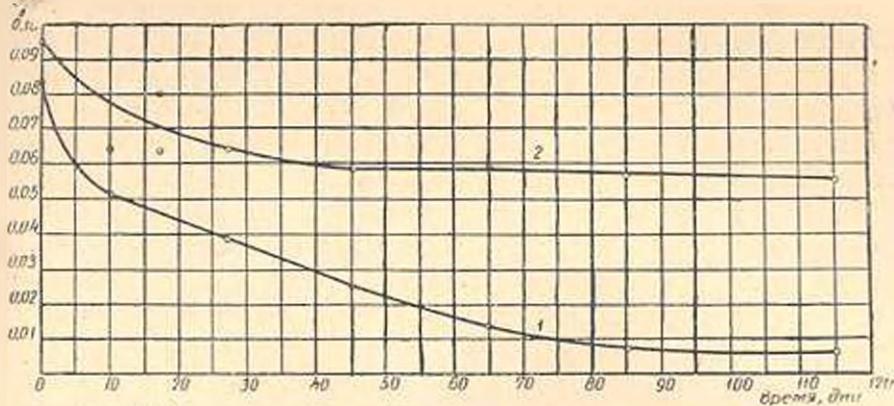


Рис. 2. Зависимость  $tg\delta = f(\tau)$ . Кабель СРГ  $1 \times 1,5$  м.кв. Тепловое старение при темп.  $75^\circ$ . 1—при напр. 3 кв; 2—при напр. 7 кв.

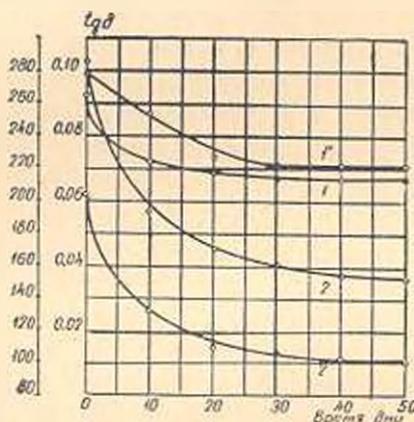


Рис. 3. Зависимости 1 и 1' —  $C = f(\tau)$ ; 2 и 2' —  $tg\delta = f(\tau)$ ; 1 и 2 — при напр. 1,3 кв; 1' и 2' — при напр. 5 кв. Кабель электротракторный. Тепловое старение при темп.  $75^\circ$ .

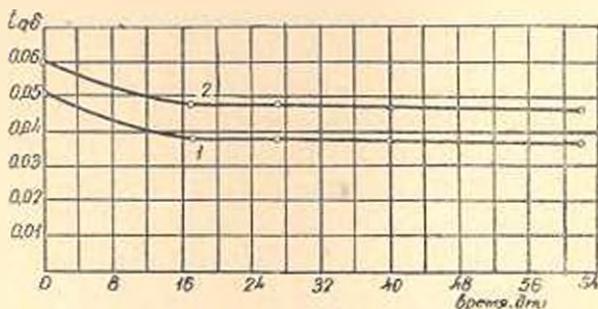


Рис. 4. Зависимость  $tg\delta = f(\tau)$ . 1—при напряжении 50 кв; 2 — при напр. 7 кв. Кабель КИП II  $2 \times 1,5$  м.кв. Старение при темп.  $45^\circ$ .

Из теории эластичности каучуков известно, что интенсивность теплового хаотического движения звеньев зависит от длины цепи между двумя закрепленными точками этой цепи (свободная длина цепи). Закрепленными точками в молекулярной цепи считаются места поперечных связей. Однако на свободу теплового движения сильно влияют только ближайшие поперечные связи. Это значит, что если поперечные связи редки, то они не будут влиять на подвижность звеньев. Отсюда следует, что причину снижения потерь и емкости образцов во время наших испытаний надо искать в таких физико-химических процессах в резине, которые приводят к уменьшению подвижности звеньев молекулярной цепи каучука.

Возможно, что таким процессом является теплоокислительное старение каучуков. Кислород действуя на каучук вызывает его деструкцию. Наоборот, под действием тепла в каучуке идет процесс структурирования, причем активность этого процесса сильно зависит от количества двойных связей в боковых цепях [3].

В зависимости от строения каучука при данных условиях испытания будет превалировать или деструкция или структурирование.

Так, например, при испытании НК (не имеющего двойных связей в боковых цепях) в воздухе преобладает деструкция, между тем испытание СКВ, имеющего от 50 до 80% двойных связей в боковых цепях, неизменно показало структурирование до температуры нагрева 133° [5].

На основании вышеприведенного можно сделать следующие заключения. При данных опытах тепловое старение кабеля вызвало структурирование изоляционной резины, так как количество кислорода в кабеле ограничено, а температура нагрева была невысокая—75°. Структурирование резины привело к снижению подвижности молекулярных цепей и, следовательно, к снижению диэлектрических потерь в кабеле.

В опытах НИИ кабельной промышленности неограниченный доступ кислорода к резине и высокая температура ее нагрева (120°) обуславливали деструкцию одного из исходных каучуков—натурального каучука. Как известно деструкция ведет к росту подвижности молекулярных цепей и, следовательно, к росту диэлектрических потерь (фиг. 1).

Из вышеописанного механизма структурирования резиновой изоляции кабеля следует, что после израсходования всех двойных связей в каучуке и образования такой пространственной структуры, когда свободная длина цепей очень мала, дальнейшее структурирование резины должно сильно затрудниться. А это значит, что в процессе теплового старения кабеля должен наступить момент, когда прекращается дальнейшее снижение диэлектрических потерь и емкости образцов.

Как видно из фиг. 2—4 и, особенно, 5, явление прекращения снижения потерь и емкости образцов действительно имеет место.

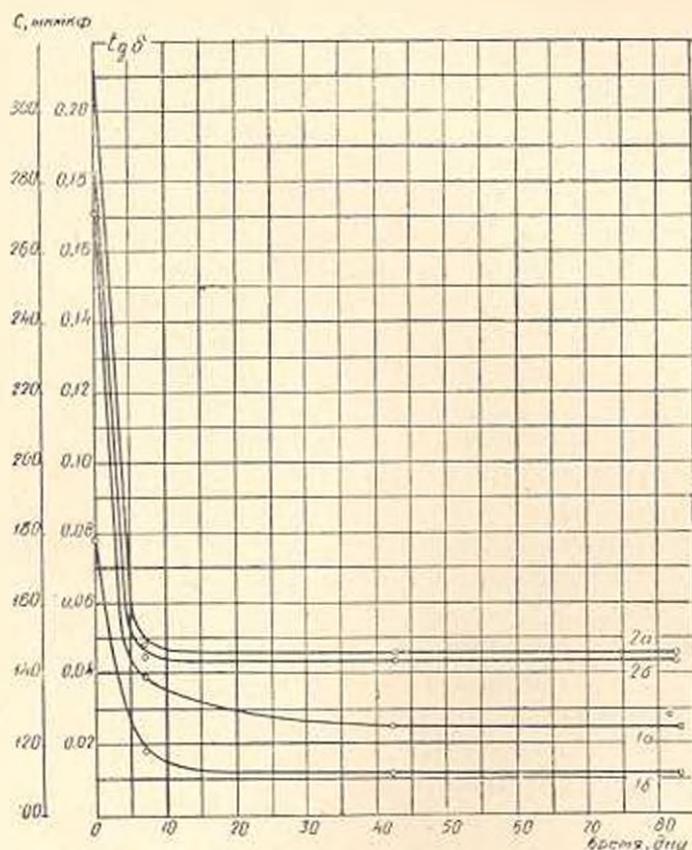


Рис. 5. Тепловое старение кабеля СРГ  $1 \times 4,0 \text{ мм}^2$ . Нагрев осуществлен подачей из кабель высокочастотного напряжения. 1а и 1б—зависимости  $\text{tg } \delta = f(\tau)$  при напр. 7 и 3 кВ; 2а и 2б зависимости  $C = f(\tau)$  при напр. 7 и 3 кВ.

Подтверждается вывод отчета [1], о том что тепловое старение заметно не снижает электрическую прочность резины.

### Выводы

1. Тепловое старение кабелей с резиновой изоляцией и газонепроницаемой оболочкой приводит к снижению их диэлектрических потерь и емкости, причем, чем выше температура нагрева кабеля, тем более это снижение (в пределах температур до  $75^\circ$ ).

2. Методика определения изменений электрических характеристик кабельной резиновой изоляции, в результате теплового старения, защищенной от свободного доступа воздуха, с помощью резиновых пластинок, испытанных в воздухе, приводит к неверным результатам.

Մ. Ա. ԿԱՐՊԵՏՅԱՆ,

**ՌԵՏԻՆԵՆ ՄԵԿՈՒՍԱՅՈՒՄՈՎ ԿԱՐԵԼԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՏԿԱՆԻՇՆԵՐԻ  
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ՄԵՐԱՑՄԱՆ ՀՆՏԵՎԱՆՔՈՎ**

Ա մ լ ի ո ի ու մ

Մինչև այժմ էլ կարելիացին ուսման մեկուսացման ջերմային ծերացումն ստուգված է սեռինն թերթիքի վրա, նրանց տեղափոխելով ջերմապահարանների մեջ: Այդ նշանակում է, որ սեռինն թերթին ազատ շփված է տաք օդի հետ: Փորձարկման ջերմատարիճանը հաճախ վերցվում է 120°: Նման ստուգումները հանդիսանում են այն եզրակացություն, որ ջերմա-օքսիդական ծերացումը բերում է կարելիացին սեռինն մեկուսացման գիլէկտրոլիզական կորուստների մեծացման:

Ստրալն կարելի սեռինն մեկուսացման իրական աշխատանքի պայմանները խիստ տարբեր են վերը շարադրված ստուգման պայմաններից: Կարելի սեռինն մեկուսացումը շրջապատի տաք օդի անմիջական ազդեցությունից պաշտպանված է կապարի պատշաճությամբ սեռինն շրմանցով, իսկ նրա բանփորական ջերմատարիճանը չի գերազանցում 70°-ից:

Էլեկտրա-մեկուսիչ սեռինն ջերմա-օքսիդական ծերացման մեխանիզմի խորն աստիճանաթափանչում բերում է այն եզրակացություն, որ սեռինն թերթիքների փորձարկմամբ ստուգված ջերմա-օքսիդական ծերացման արդյունքները կարող են չհամապատասխանել այն արդյունքներին, որոնք կատարվին կարելիացին մեկուսացման բնական ջերմա-օքսիդական ծերացման հետևանքով:

Հոգվածում նկարագրված փորձերը հաստատում են այն եզրակացությունը: Իսկապես, կարելիացին կոորդների տաքացումը բերում է նրա մեկուսացման գիլէկտրոլիզական կորուստների փոքրացման:

Դիլէկտրոլիզական կորուստների փոքրացումը պետք է բացատրել նրանով, որ նախ՝ սեռինն մեկուսացման հետ փոխդրժույ թթվածնի շունակությունը կարելի գեպտում ասմանախալ է: Այս հանգամանքը խիստ խզկնում է կառչակի մեջ գնացող գետտուլիտն պրոցեսի ակտիվությունը: Երկրորդ՝ ջերմություն տակ տեղի է աճնում կառչակի տարածական սարկոտուրալի առացում:

Եթե կարելիների ստուգման ժամանակ գերակշռում է երկրորդ պրոցեսը, այս սեռինն թերթիքների փորձարկման ժամանակ՝ առաջինը — օքսիդացման գետտուլիտն պրոցեսը: Այստեղից էլ փորձարկման արդյունքների լրիվ հասկացումը:

Ուրեմն կարելի սեռինն մեկուսացման ջերմա-օքսիդական ծերացումը պետք է ստուգել կարելի կոորդների վրա հատակ մշակված մեխանիզմով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Отчет № 356-53, НИИ Кабельной Промышленности, 1953.
2. И. В. Бородина, А. К. Никитин. Технические свойства советских синтетических каучуков, Гостхимиздат, 1952.
3. Сб. Тр. 1 ой научно-технической конференции ВЗЭИ 1919—50 учебного года.
4. Старение каучуков и резин и повышение их стойкости. Сб. Тр. научно-техн. конф. ВИНТО резишиков, 1950.
5. Коллоидный журнал, 1950, в. 1.