

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С393 в
А-67

18/и-73

P8 - 6987

Н.Г.Анищенко, В.Ф.Минеин

2269 / 2 - 73

ИССЛЕДОВАНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ
И СРОКОВ СЛУЖБЫ ЛАВСАНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ
В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

1973

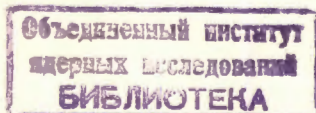
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

P8 - 6987

Н.Г.Анищенко, В.Ф.Минеин

**ИССЛЕДОВАНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ
И СРОКОВ СЛУЖБЫ ЛАВСАНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ
В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Направлено в ПТЭ



Summary

In the designs of recent years^(1,2) connected with the creation of superconducting synchrotron windings, SC inductive energy storages, superconducting and cryogenic d.c. and a.c. cables much attention is given to the questions of correct selection of electrical isolation. A number of papers^(3,4,5,6,7) are devoted to studying the dielectrical strength of the isolation, operating under cryogenic conditions. However, these questions, in particular the electrical ageing of cryogenic layer isolation, have not yet been studied well enough.

This paper presents the description of the setup to investigate the short - and long term electrical strength of different dielectrics and of the elements of superconducting devices in the medium of gaseous and liquid nitrogen and helium. As in ref.⁽⁸⁾ one can observe a significant scatter of the values of breakdown voltage stress (E) of two and especially one layer of a 10 μ mylar film, that is explained, evidently, by the presence of local film defects. At an a.c. voltage of 50 cps the short term electrical strength of two mylar layers was 240 ± 80 kV max/mm for all the range of studied cryogenic medias, at a d.c. voltage - 450 ± 90 kV/mm. The velocity of increasing the voltage was smooth and could be equal to any value in the range of 0.15 ± 2.7 kV/sec. At the both types of voltage during the tests the partial discharges^(9,12) were observed, the intensity of which sometimes achieved 10^{-5} Coulomb.

The long term electrical strength of the mylar film during the tests at 50 cps in liquid helium can be characterized by the voltage-time-to-breakdown curve ("curve of life") obtained by us, i.e. by the dependence $\lg \tau = f(\lg E)$, where τ is the service time of the isolation.

The analogous dependences for dielectric films in warm medias are presented in ref.⁽¹¹⁾, where the mechanism of electrical ageing is mainly connected with oxidising processes on the film surface resulting from the interaction of partial discharges in the presence of oxygen. In our investigations on ageing the range of breakdown voltage stress was from 200 up to 400 kV max/mm, the service time - up to 70 min. Under conditions of the performed experiments at 200 kV max/mm a sharp increase of the film service time was observed. The dependence of the partial discharges intensity upon that of the electrical field taken during the tests on the mylar ageing is also presented.

One can conclude, that the mylar isolation "ages" in the inert medium of liquid helium.

В последние годы составлено множество проектов криогенных и сверхпроводящих устройств на высокие импульсные, переменные и постоянные рабочие напряжения: от 3 кв - для сверхпроводящих обмоток синхротронов /1/ - до 140 и 200 кв - для сверхпроводящих кабелей, соответственно постоянного и переменного тока, - и более 300 кв - для сверхпроводящих индуктивных накопителей /2/. Совершенно очевидно, что успешное решение перечисленных выше задач возможно лишь при правильном выборе электрической изоляции, к которой предъявляются требования, с одной стороны, компактности, а с другой - высокой механической прочности и хороших диэлектрических свойств в криогенных условиях.

В настоящее время широко используется слоистая изоляция на основе пленок и бумаг, пропитанных криогенными жидкостями или газами. Известны работы, например, /3-6/ по исследованию кратковременной электрической прочности слоистой изоляции в криогенных условиях. Результаты сравнительных испытаний некоторых зарубежных материалов в разных средах приведены на рис. 1.

Попытку установить влияние времени приложения напряжения на электрическую прочность криогенной изоляции, т.е. определить ее срок службы, сделали Stone F.T. и McFee R. /7/. Они получили 20%-ное снижение электрической прочности различных диэлектрических пленок при выдержке под напряжением от 0,2 до 5 минут в среде жидкого азота и гелия.

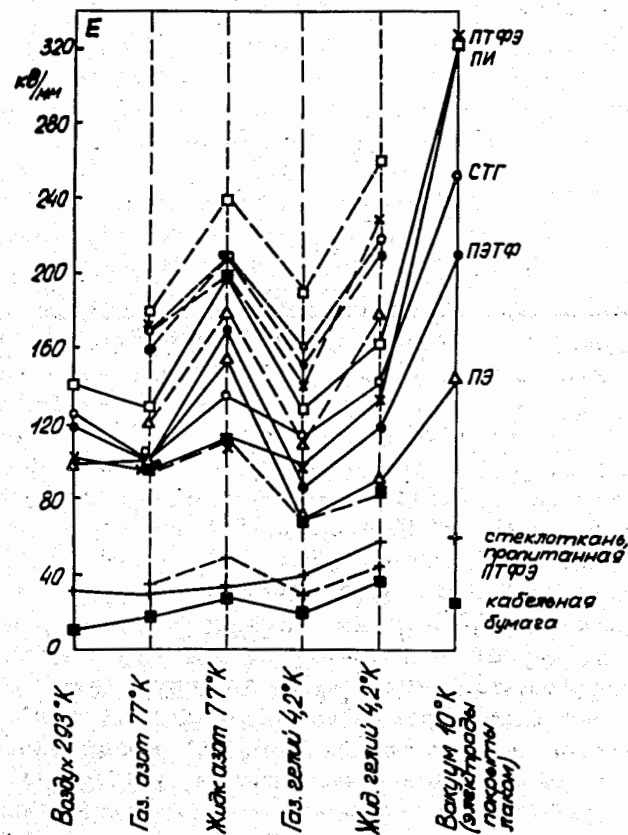


Рис. 1. Пробивные напряженности пленок в разных средах. Толщина 100 мкм. Электроды шар ϕ 30 мм - плоскость ^{1/3}. Обозначения: ПТФЭ - политетрафторэтилен; ПИ - полиимид; СТГ - сополимер тетрафторэтилена с гексафторпропиленом; ПЭТФ - полиэтилентерефталат; ПЭ - полиэтилен. Сплошные линии - переменное напряжение, пунктирные - напряжение постоянного тока.

Целью настоящей работы являлось: а/ исследование кратковременной электрической прочности отечественной пленки ПЭТФ /лавсана/ в криогенных условиях; б/ определение ее сроков службы в жидком гелии.

Установка для исследований включает в себя: а/ металлический криостат ϕ 300 мм, высотой 1300 мм с вводом на 50 кв, смотровыми окнами и сменными электродами в виде дисков с закругленными краями диаметрами 25 и 50 мм из нержавеющей стали; б/ высоковольтные источники постоянного и переменного напряжения /до 90 кв/ с ручным и регулируемым в широком диапазоне скоростей моторным подъемом напряжения; в/ измерительную часть, в том числе, измеритель частичных разрядов, выполненный по мостовой схеме с чувствительностью до $2 \cdot 10^{-12}$ к, киловольтметр С-96 и измеритель высокого напряжения с фиксацией величины напряжения в момент пробоя; г/ вспомогательное криогенное и защитное оборудование: блокировки, термометрия, измеритель уровня жидкого гелия, газовый пульт, заземляющее устройство.

Кратковременная электрическая прочность измерялась для одного и двух слоев пленки лавсана толщиной 10 мкм. Напряжение подавалось на диск диаметром 25 мм, а диск диаметром 50 мм заземлялся через сопротивление 5,1 ком. Пленка сматывалась с бобины, находящейся под электродами, протягивалась между дисками и наматывалась на катушку, укрепленную под крышкой криостата. Высокое напряжение подавалось плавно со скоростью от 0,15 до 2,7 кв/сек до наступления пробоя. Испытания проводились в среде холодных газообразных и жидких азота и гелия, а также на воздухе при атмосферном давлении.

Как и в ^{1/8}, наблюдался большой разброс значений напряженности пробоя $E_{пр}$. Малые $E_{пр}$ приблизительно соответствовали прочности промежутка без пленки, т.е. электрической прочности криогенной среды. Поэтому можно предположить, что малые значения $E_{пр}$ относятся к локальным дефектам пленки. Так как примерно каждое десятое измерение давало такое значение $E_{пр}$, то можно предположить, что на 1 м² испытанной пленки

приходится, по крайней мере, по 200 ÷ 250 точечных дефектов.

При переменном напряжении 50 гц $E_{пр.}$ двух слоев ПЭТФ для всего диапазона криогенных сред составила 240±80 кв макс/мм. Это примерно совпадает со значением $E_{пр.}$, полученным в работе /6/. При испытаниях двух слоев напряжением постоянного тока значения кратковременной прочности были в 2 раза выше и составили 460±90 кв/мм.

Частичные разряды /ЧР/ наблюдались при обоих видах напряжения /9/. При напряжении постоянного тока регистрировались относительно редкие ЧР. С ростом величины напряжения их частота иногда возрастала, однако, появление ЧР было довольно нерегулярным. В некоторых случаях при испытаниях в жидкостях наблюдался мощный ЧР /порядка 10^{-5} к/, за которым тут же следовал пробой. При испытаниях на переменном напряжении ЧР начинали регистрироваться уже при уровнях напряжения, равных половине $E_{пр.}$ Интенсивность ЧР в этом случае достаточно плавно росла с увеличением напряжения.

Отмечено влияние скорости подъема напряжения на величину $E_{пр.}$: при увеличении скорости в 10 раз $E_{пр.}$ увеличивалось в 2 раза. Зависимость величины $E_{пр.}$ от формы кривой испытательного напряжения, а также от скорости его подъема /т.е. времени приложения напряжения к изоляции/ может быть объяснена с помощью механизма воздействия ЧР на изоляцию /10/.

Зависимость срока службы изоляции τ от напряженности электрического поля E при испытаниях на переменном напряжении /50 гц/ для тонких диэлектрических пленок в воздухе и других теплых средах изучалось, например, С.Н.Койковым и А.Н.Цикиным /11/. Характер найденной ими зависимости $lg \tau = f(lg E)$ для лавсана изображен кривой 2 на рис. 2. Механизм электрического старения на воздухе для пленки лавсана они связывают, в основном, с окислительными процессами, происходящими на поверхности пленки в результате воздействия ЧР в присутствии кислорода.

Наши исследования по определению срока службы двух слоев пленки /по 10 мкм/ лавсана в инертной

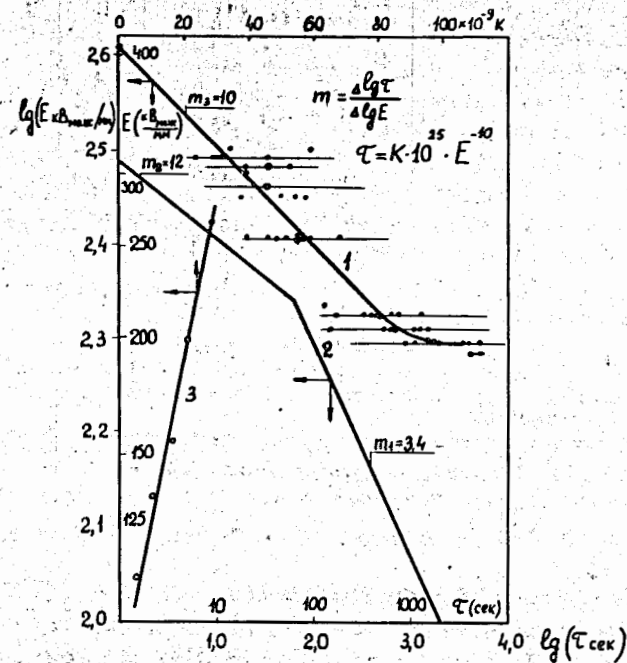


Рис. 2. Зависимость $lg \tau = f(lg E)$ для двух слоев пленки ПЭТФ по 10 мкм в переменном поле 50 гц /кривая 1 получена в ОИЯИ в жидком гелии и слабо неоднородном поле; кривая 2 - взята из 11, /стр. 16/ для резко неоднородного поля в воздухе при нормальной температуре/. Кривая 3 - полученная в ОИЯИ зависимость интенсивности частичных разрядов от $lg E$ кв макс /мм.

среде жидкого гелия показали, что явление уменьшения срока службы изоляции с увеличением E имеет место и здесь. На рис. 2 кривая 1 представляет полученную нами "кривую жизни" лавсановой пленки в среде жидкого гелия, снятую в диапазоне напряженностей от 200 до 400 кв макс /мм и сроках службы до 70 минут. Экспериментальная точка для значения $lg \tau = 0$ получена при скорости подъема напряжения 2,7 кв макс /сек. При напряженности 200 кв макс /мм наблюдается резкое увеличение срока службы пленки в условиях наших испытаний. Зависимость интенсивности ЧР от напряженности

электрического поля, снятая в условиях проведенного нами эксперимента, представлена кривой 3 на рис. 2.

Таким образом, лавсановая пленочная изоляция "стареет" и в жидком гелии. Поэтому выбор слоистой электрической изоляции для криогенных и сверхпроводящих устройств /особенно импульсного и переменного напряжения/ должен производиться с учетом зависимости $I_{gr} = f(IgE)$, т.е. так называемой "кривой жизни".

Литература

1. *Proceedings of the 8th International Conference on High-Energy Accelerators. CERN, 1971.*
2. *Proceedings of the 4th International Cryogenic Engineering Conference, 24-26 V. 1972. Eindhoven, The Netherlands.*
3. *J. Bobo, M. Perrier. Revue Gen. Electr., 1968, No. 6, 77, 605-609.*
4. *J. Bobo, M. Perrier, B. Fallou, J. Galand. Vacuum, 1968, V. 18, No. 7, 397-401.*
5. *K. N. Mathes. IEEE Trans. Electr. Insulat., 1969, 4, No. 1, 2-7.*
6. *J. P. Lehmann. Rev. Gen. Electr., 1971, No. 1, 15-22.*
7. *F. T. Stone, R. McFee. Rev. Sci. Instr., 1961, t. 32, 1400-1401.*
8. *K. Kobayashi, H. Takeba. Cryogenics, 1972, v. 12, No. 2, 97-98.*
9. *Н. Г. Анищенко, В. Ф. Минеин. Труды МЭИ, вып. 114, 1972 год.*
10. *М. А. Грейсух и др. Бумажно-масляная изоляция в высоковольтных конструкциях. ГЭИ, 1963 г.*
11. *С. Н. Койков, А. Н. Цикин. Электрическое старение твердых диэлектриков и надежность диэлектрических деталей. Изд. "Энергия", 1968 г.*

Рукопись поступила в издательский отдел
27 марта 1973 года.

Анищенко Н.Г., Минеин В.Ф.

P8 - 6987

Исследования кратковременной электрической прочности и сроков службы лавсановой изоляции в криогенных условиях

Исследована кратковременная и длительная электрическая прочность лавсановой пленки в различных криогенных средах. Приведены пробивные напряженности одного и двух слоев пленки при воздействии напряжения переменного 50 гц и постоянного тока. Представлена зависимость срока службы в жидком гелии двух слоев пленки от величины электрической напряженности в диапазоне от 200 до 400 кв макс./мм. Дано описание экспериментальной установки, позволяющей проводить исследования частичных разрядов при напряжениях до 50 кв. Установка разработана в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1973

Anishchenko N.G., Minein V. F.

P8 - 6987

Investigation of the Short Term Dielectrical Strength and the Service Time of Mylar Isolation under Cryogenic Conditions

See the Summary on the reverse side of the title-page.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1973