

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3582/82

2/III-82
8-82-172

Н.Г.Анищенко, В.Я.Волков, Р.Халлер,
Г.П.Цвинева, Ю.А.Шишов

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ
МНОГОАМПЕРНЫЕ ТОКОВОДЫ
В КРИСТАТЫ С ЖИДКИМ ГЕЛИЕМ

Направлено в журнал "Cryogenics"

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Многие перспективные направления в развитии энергетики и электротехники связаны с использованием сверхпроводимости. В СССР и других странах ведутся работы по созданию опытно-промышленных образцов криотурбогенераторов /мощностью 300 МВт и более/, электродвигателей большой мощности с криогенным охлаждением, крупных сверхпроводящих магнитных систем для магнитогидродинамических генераторов и термоядерных установок, сверхпроводящих линий электропередач, накопителей и другого электрооборудования для энергосистем^{/1,2/}. Часть перечисленного оборудования должна быть высоковольтной. При этом требуется особо тщательная разработка электроизоляционных конструкций /ЗИК/, действующих в условиях многократных глубоких охлаждений.

Основными элементами ЗИК криоэлектрооборудования могут являться жидкий или газообразный гелий, вакуум /например, при использовании циркуляционных систем охлаждения сверхпроводника/, многослойные конструкции из кабельной бумаги или синтетических пленок. Однако, как правило, ЗИК криоэлектрооборудования являются многоэлементными и выполняются, например, в виде многослойной изоляции, пропитанной свободно кипящим жидким гелием или эпоксидным компаундом. С учетом данных, полученных другими авторами /см., например^{/3/}, и нашего опыта^{/4/}, по-видимому, можно считать, что использование перечисленных элементов ЗИК позволит создать криоэлектрооборудование напряжением до -200 кВ. Оборудование на более высокое напряжение может быть выполнено, например, с ЗИК, вынесенными из области криогенных температур. Для этого возможно применение высоковольтных платформ с криостатами, находящимися под потенциалом этих платформ. Цепи управления, измерения и сигнализации в таких системах могут выполняться в виде гибких световодов. Однако при таком решении вопроса требуется разработка узлов электроизоляционной развязки по линиям прямого и обратного гелия в рефрижераторной схеме охлаждения.

2. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗИК КРИОЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Одна из трудностей при создании высоковольтных ЗИК, использующих жидкий гелий в качестве диэлектрика, связана со зна-

чительной деградацией электрической прочности гелия с повышением температуры. Так, амплитудное значение напряженности пробоя жидкого гелия при нормальном давлении ~30 кВ/мм/межэлектродный промежуток - 1 мм, поле однородное, частотой 50 Гц/, что превышает электрическую прочность первоклассного трансформаторного масла. В тех же условиях прочность газообразного гелия при 5 К снижается до 18 кВ/мм, при 10 К - до ~6,5 кВ/мм, при 20 К до ~5 кВ/мм. Таким образом, наличие объемов с газообразным нагревающимся гелием в слоистой изоляции, пропитанной жидким гелием, снижает электрическую прочность ЭИК в целом. В разрядных же промежутках, заполненных целиком жидким кипящим гелием, пробой инициируется внутри пузырьков^{5/}. Некоторые особенности ЭИК сверхпроводящих магнитных систем термоядерных реакторов обсуждаются в^{6/}.

При проектировании комбинированных ЭИК следует также учитывать, что криогенные газы и жидкости имеют очень маленькие удельные электрические проводимости /жидкости - до $10^{-17} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ /, низкие диэлектрические проницаемости /жидкости - при температурах кипения и 0,1 МПа: $\epsilon_{\text{He}} = 1,05$; $\epsilon_{\text{Ne}} = 1,44$ / и незначительные диэлектрические потери при низких напряженностях электрических полей^{5/}. Далее, поскольку ϵ газообразного гелия близка к 1 и, как правило, в несколько раз меньше, чем ϵ твердой компоненты изоляции, то трещины в ЭИК и другие объемы с газообразным гелием, имеющим низкую электрическую прочность, оказываются к тому же наиболее электрически напряженными. В результате в ЭИК со слоистой изоляцией, пропитанной гелием, при локальных напряженностях порядка 15 кВ/мм возникают частичные разряды /ЧР/. Длительное существование ЧР сопровождается тепловым, электрическим и химическим воздействием на твердый диэлектрик в местах его контакта с каналами ЧР, что приводит к старению диэлектрика. Это следует учитывать при выборе рабочей напряженности ($E_{\text{раб}}$) электрического поля в ЭИК. Так, при разработке модели сверхпроводящего кабеля со слоистой изоляцией из майларовой пленки, пропитанной жидким гелием, на напряжение 154 кВ_д промышленной частоты принята $E_{\text{раб}} = 7,5 \text{ кВ/мм}$, а для модели кабеля постоянного напряжения 110 кВ, имеющего в качестве изоляции жидкий гелий, - $E_{\text{раб}} = 5 \text{ кВ/мм}$ ^{7/}. По данным^{8/} для сверхпроводящего кабеля с изоляцией из жидкого гелия /при 5 К и 0,4 МПа/, работающего при частоте 50 Гц, $E_{\text{раб}}$ принимается равной всего 2 кВ_д/мм.

Помимо опасности возникновения ЧР в слоистой изоляции, причиной столь низких величин $E_{\text{раб}}$ в различных ЭИК является уменьшение электрической прочности жидкого и газообразного гелия при увеличении изоляционных промежутков. Так, по данным^{3/} для жидкого гелия предлагается следующее соотношение между напряжением пробоя U и величиной изоляционного промежутка d :

$$U [\text{кВ}] = K \cdot d^n [\text{мм}], \text{ где}$$

до значений $U \approx 250 \text{ кВ}$ $K=23-24$; $n=0,76$. Это соотношение справедливо для амплитудного значения напряжения промышленной частоты. Импульсная же электрическая прочность /1/50 мкс/ жидкого гелия не менее чем в 3 раза выше. Повышение рабочего давления также увеличивает электрическую прочность гелия, которая возрастает на ~70% при увеличении давления с 0,1 до 1 МПа^{3/}.

Важной особенностью ЭИК сверхпроводящих высоковольтных устройств является низкая электрическая прочность газообразного гелия вдоль поверхности твердого диэлектрика, особенно в случаях значительной нормальной к поверхности последнего составляющей электрического поля. По данным^{3/} электрическая прочность вдоль поверхности пропитанной гелием слоистой изоляции может оказаться на порядок величины ниже, чем ее прочность поперек слоев. Это необходимо учитывать, например, при проектировании высоковольтных токовводов в жидкий гелий.

3. ИЗОЛЯЦИЯ ТОКОВВООДОВ КРИОЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Технические трудности при разработке высоковольтных многоамперных токовводов связаны в основном с механическими напряжениями, возникающими в конструкции вследствие существенно различных коэффициентов термической усадки /в диапазоне 4,2 К-300 К/ материалов токоведущей и изолирующей частей ввода; с низкой поверхностной электрической прочностью в продольном направлении ввода, особенно в области теплого газообразного гелия; с теплопритоком по токоведущей части ввода в область жидкого гелия.

К настоящему времени для моделей криоэлектрооборудования созданы и испытаны несколько вариантов многоамперных токовводов в жидкий гелий на 50-200 кВ^{3,9,10/}. Например, для моделей импульсных накопителей энергии изготовлены два токоввода с параметрами 1,4 кА; 47 кВ, имеющие по-разному выполненные ЭИК /рис.1^{9/}/. В одной из них изоляционный остов общей длиной 2,5 м /2 м - часть, расположенная под крышкой криостата/ выполнен в виде многослойной конструкции из стекловолокна, пропитанного эпоксидным компаундом. Намотка стекловолокна произведена на токоведущую трубу без зазора и неплотностей и осуществлена под углом к ее оси. Вся конструкция испытана в среде теплого /293 К/ газообразного гелия напряжением до 50 кВ. Другая ЭИК изготовлена из кабельной бумаги с эпоксидной пропиткой. Наружная боковая часть изоляционного остова /от фланца на крышке криостата до области холодного газа в непосредственной близости от поверхности жидкого гелия/ экранирована, как

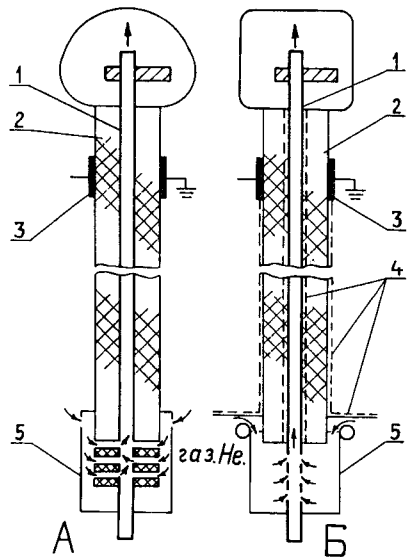


Рис.1. Высоковольтные токовводы в жидкий гелий с изоляционными остовами из стекловолкна /А/ и кабельной бумаги /Б/, пропитанными эпоксидным компаундом: 1 - токоведущая труба; 2 - изоляционный остов; 3 - заземленный фланец; 4 - экранирующие поверхности из фольги; 5 - узел ввода охлаждающего газа в токоведущую трубу.

это впервые было предложено и осуществлено в^{11,12/} заземленной металлической фольгой /пунктир на рис.1Б/. Таким образом, наиболее электрически напряженным промежутком является находящийся в холодном газе зазор между тором цилиндра, за-

репленного на токоведущей трубе под уровнем жидкого гелия, и заземленной плоскостью, которой оканчивается наружный экранирующий слой на изоляционном остова. Через этот промежуток проходит поток холодного газа на охлаждение токоведущей трубы ввода. Устранение механических напряжений из-за различных термических усадок материалов вдоль оси ввода в диапазоне 4,2 К - 300 К достигнуто нанесением еще одного эквипотенциального слоя из фольги - на внутреннюю поверхность изоляционного остова. При этом разница в линейных температурных сокращениях остова и токоведущей трубы компенсируется свободным ее проскальзыванием внутри остова.

Недостатком конструкции, показанной на рис. 1А, является наличие участков поверхности изоляционного остова со значительной нормальной к ней составляющей электрического поля. Во вводе /рис.1Б/ изоляционный промежуток между тором узла /5/ и заземленной поверхностью /4/ заполнен проточным холодным гелием, температура которого может повышаться, например, в случае ухудшения охлаждения токоведущей части потоком обратного гелия или при перегрузках ввода по току. Это приводит к снижению электрической прочности ЭИК токоввода. Другим недостатком конструкции, изображенной на рис.1Б, являются относительно большие размеры /по сравнению, например, с конструкцией рис.4/ металлических частей ввода, находящихся под рабочим напряжением со стороны его "холодного" конца. Данные недостатки устранены в конструкции /рис.4/, предложенной нами^{11,12/} и описанной ниже.

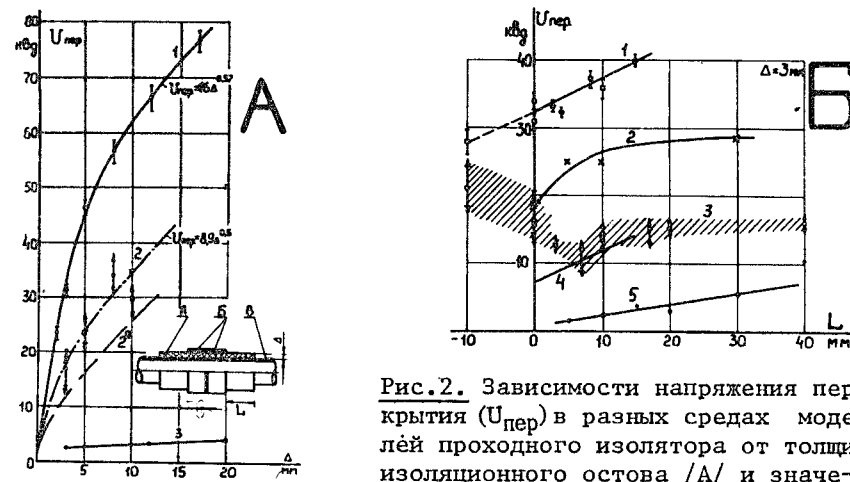


Рис.2. Зависимости напряжения перекрытия ($U_{пер}$) в разных средах моделей проходного изолятора от толщины изоляционного остова /А/ и значения L /Б/. На эскизе: А - изоляционный остов; Б - заземляемая втулка-электрод. На рис. 2А: 1 - в жидком азоте; 2 - в жидком гелии; 2а - минимальные значения $U_{пер}$ в жидком гелии; 3 - в газообразном /293 К/ гелии. На рис.2Б: 1 - в жидком азоте; 2 - в трансформаторном масле /45 кВ_д/2,5 мм/; 3 - в жидком гелии /заштрихованная область/; 4 - в воздухе; 5 - в газообразном /293 К/ гелии.

4. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЭИК В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

При разработке конструкции высоковольтного токоввода нами проведен ряд исследований. В частности, измерены термические усадки различных диэлектрических материалов при охлаждении до криогенных температур; изучалась поверхностная электрическая прочность моделей проходных изоляторов в различных криогенных средах^{11/}.

В экспериментах на моделях проходных изоляторов /рис.2/ установлено, что в криогенных условиях в резконеоднородных электрических полях наблюдаются те же стадии развития разряда, что и в обычной "теплой" изоляции: корона/или частичный разряд/ малой интенсивности, скользящие разряды и полное перекрытие. Возрастание напряжения перекрытия ($U_{пер}$) с увеличением разрядного расстояния L является важным критерием для выбора конструкции проходных изоляторов /вводов/, работающих в обычных условиях. Так, для газов и жидкостей эмпирические зависимости $U_{пер}$ при нормальной температуре имеют вид^{13/} $U_{пер} = A \cdot L^m$ /для малых L /; $U_{пер} = U_{ск} + B \cdot L^n$ /для больших L /, где: $U_{ск} = C \cdot \Delta^k$ - на-

пряжение появления скользящих разрядов; Δ - толщина диэлектрика изолятора; A, B, C, m, n, k - коэффициенты, зависящие от материала и конструкции изолятора, среды у его поверхности, формы воздействующего напряжения. Некоторые из результатов экспериментов, целью которых было установление связи $U_{пер}$ с L и Δ для изоляторов из фторопласта, погруженных в жидкий гелий /4,2 К; 0,1 МПа/, представлены на рис.2.

Эксперименты на образцах с $L=0$ /рис.2А/ подтвердили известную зависимость $U_{пер}(\Delta)$: напряжение перекрытия возрастает с увеличением толщины изоляционного остова, как Δ^k . В наших экспериментах на моделях с Δ до 20 мм $k=0,6$ /кривые 1 и 2 рис.2А/.

При испытаниях в жидком гелии образцов с $\Delta=3; 5$ и 8 мм не наблюдалось увеличения $U_{пер}$ с ростом L /до 40 мм/. Для образцов же с $L < 0$ значения $U_{пер}$ возрастали: так, при $\Delta=3$ мм и $L=-10$ мм $U_{пер}$ почти в 1,5 раза выше, чем при $L \geq 0$ /заштрихованная область на рис. 2Б/. То же наблюдалось и на образцах с $\Delta=5$ мм и $L=-15$ мм. У образцов с $L < 0$ длина заземленной наружной трубки-электрода больше, чем длина изоляционного остова. Такое увеличение $U_{пер}$ у образцов с $L < 0$ связано в основном с тем, что у них отсутствует составляющая напряженности электрического поля, нормальная к поверхности изоляционного остова. Радиальная же и аксиальная составляющие поля у краев их заземленных втулок воспринимаются жидким гелием. Своего рода "навес", образуемый удлиненной заземленной наружной трубкой у образцов с $L < 0$, повышает однородность электрического поля у торца изоляционного остова.

5. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВВОД В ЖИДКИЙ ГЕЛИЙ

Выявленные особенности перекрытия по поверхности диэлектрика в жидком гелии учтены нами при разработке конструкции высоковольтного ввода в гелиевый криостат установки "Искриз" /4,11,12/ /рис.3/. Ввод /см. рис.4/ содержит токоведущую трубу /1/ $\varnothing 40 \times 2$ мм из нержавеющей стали, изоляционный остов /2 и 3/ с наружной проводящей заземленной оболочкой, оканчивающейся металлическими торцами /4/ и /5/, высоковольтные электрод /7/ /сфера $\varnothing 80$ мм/ и экран /8/. Токоведущая труба /1/ может охлаждаться гелием, выходящим в линию обратного потока у высоковольтного зажима /6/. Особенностью данной конструкции является то, что расположенная внутри криостата часть ввода снабжена проводящей оболочкой, покрывающей изоляционный остов. Причем длина оболочки со стороны "холодного" конца ввода превышает длину изоляционного остова, а торец остова расположен ниже уровня жидкого гелия. Для предотвращения скопления газообразного гелия у "холодного" торца остова оболочка

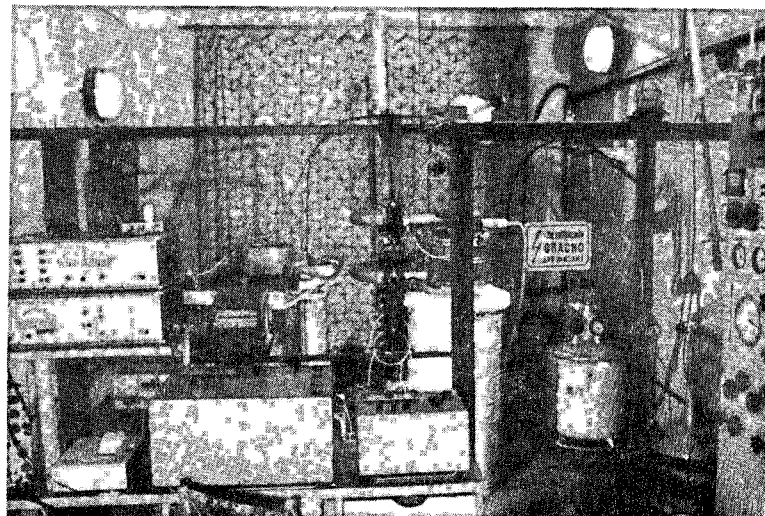


Рис.3. Общий вид высоковольтной испытательной установки "Искриз" / $U_{ном}=100$ кВ/ с гелиевым криостатом $\varnothing 300$ мм.

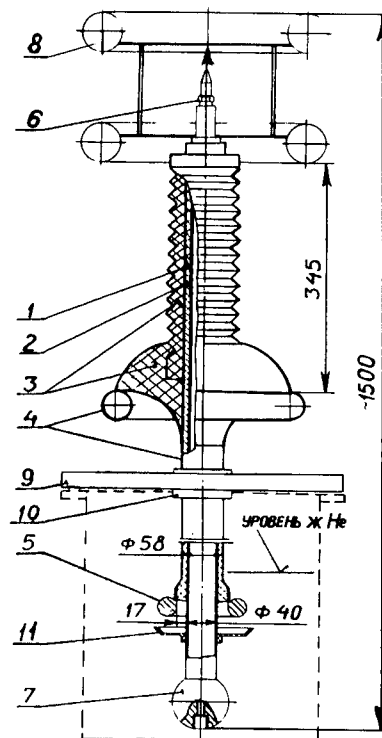


Рис.4. Высоковольтный ввод в гелиевый криостат /обозначения - в тексте/.

в этом месте перфорирована, а на токоведущую трубу надет газотойный козырек /11/. Ввод проходит через уплотнение /10/ в крышке /9/ гелиевого криостата.

Изоляционный остов выполнен составным. Сначала на токоведущую трубу плотно намотано несколько слоев /общей толщиной 9 мм/ липкой электроизоляционной ленты из стеклоткани на основе полиимидного связующего /14/. Липкий слой представляет собой адгезионное полимерное покрытие в стадии полимеризации. Толщина ленты ~120 мкм, электрическая прочность при 20 °С в среднем составляет 60 кВ/мм. По нашим измерениям в жидком гелии электрическая прочность одного слоя ленты ~15 кВ /разброс значений в 10 измерениях от 13 до 18 кВ/, двух слоев ~22 кВ /разброс 19-25 кВ/. На полученный после полимеризации цилиндрический изоляционный остов надевается вторая составная его часть, выполненная из органического стекла. Отсутствие зазоров, заполненных воздухом, между обеими частями остова достигается с помощью силиконового вазелина. Нижняя сферическая часть остова /3/, прилегающая к верхней части /4/ заземленной проводящей оболочки, покрыта токопроводящим лаком.

Такая конструкция, обеспечивая разборность и сменяемость токоввода, позволяет эффективно использовать объем криостата в непосредственной близости от ввода, в том числе в области над уровнем жидкого гелия. Благодаря экранирующему эффекту заземленной оболочки, продленной под уровень жидкого гелия, под крышкой криостата в непосредственной близости от ввода теперь могут располагаться любые конструктивные части - подвески, измерительные трубки, кронштейны и т.п. Конфигурация наружной поверхности изоляционного остова, форма и размеры высоковольтного экрана и заземляющей оболочки рассчитаны на ЭВМ. При расчетах использован метод суперпозиции.

Ввод испытан на криостате с жидким гелием при постоянном напряжении 100 кВ /обоих знаков поочередно/ в течение 3 часов. Ток утечки не превышал 0,8 мА. При снижении уровня жидкого гелия в криостате ниже тора /5/ /рис.4/ при ~86 кВ происходило перекрытие со стороны холодного торца изоляционного остова.

6. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ МНОГОАМПЕРНЫЙ ТОКОВВОД В ЖИДКИЙ ГЕЛИЙ

Рассмотрим требования, предъявляемые к высоковольтному многоамперному токовводу с ЭИК, подобной описанной в разделе 5. Во-первых, токоведущая шина должна иметь минимальные размеры сечения, иначе возрастает диаметр всего токоввода. Во-вторых, необходимо обеспечить отвод большого количества пузырьков, образующихся от теплопритока в жидкий гелий по токоведущей шине, таким образом, чтобы они не скапливались у торца изоля-

ционного остова. Несмотря на наличие перфорации в заземленной оболочке, на торце может образоваться газовая пленка. В-третьих, должны быть приняты меры, обеспечивающие отсутствие больших температурных напряжений в толстостенном изоляционном остова. Такие напряжения могут возникнуть, если жестко связать по всей длине остов и шину, поскольку последняя сильно нагревается, а остов снаружи охлаждается конвективными потоками гелия.

Нами разработан и испытан токоввод /рис.5/, в достаточной мере отвечающий перечисленным требованиям. Токоведущая шина /6/ выполнена из сваренных между собой медных полос и сплюснутых оплеток. Удельный теплоприток в жидкий гелий по такой шине составляет ~1,1 Вт/кА. Номинальная плотность тока, усредненная по всему поперечному сечению токоввода, равна ~10 А/мм², гидравлическое сопротивление в рабочем состоянии ~0,001 МПа. Расчетный номинальный ток показанного на рис.5 токоввода равен ~5 кА.

Тепло от шины /6/ передается в жидкий гелий с помощью теплообменника /3/, состоящего из медной цилиндрической втулки и латунного полированного шара. Втулка связана с шиной с помощью припаянных к ней медных оплеток. Через отверстие в шаре проходит идущая к магниту сверхпроводящая шина /1/, уплотненная в отверстии с помощью эпоксидной смолы. Для предотвращения попадания образующихся пузырьков гелия на поверхность торца изоляционного остова /9/ установлен текстолитовый козырек /4/. Чтобы тепло от теплообменника /3/ не проникало к торцу остова, они разделены тепловым мостом, образуемым нижней частью вакуумного кожуха /5/. Последний образован из двух

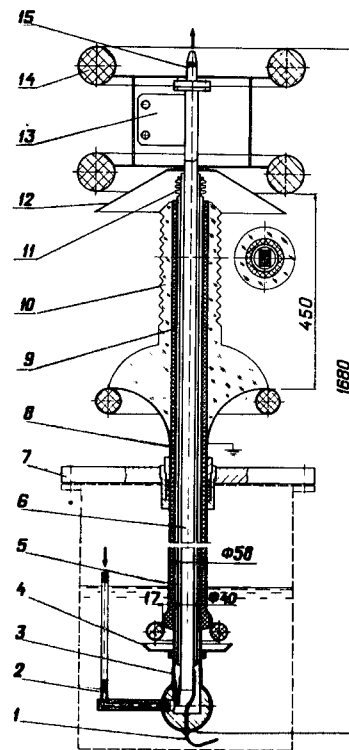


Рис.5. Высоковольтный многоамперный токоввод в криостат с жидким гелием: 7 - крышка криостата; 8 - заземленная металлическая оболочка /остальные обозначения - в тексте/.

концентрически расположенных и герметически скрепленных по концам трубок, изготовленных из стали Х18Н10Т. Образующийся в кожухе после заливки в криостат жидкого гелия высокий вакуум отделяет токоведущую шину от изоляционного остова, снижая в нем тем самым внутренние температурные напряжения. В верхней части между трубками установлен термокомпенсатор /11/.

Токоведущая шина /6/ охлаждается газообразным гелием, идущим от поверхности жидкого гелия через текстолитовую трубку /2/. Ввод такой конструкции может работать и без трубки /2/, если открыть с нижнего конца доступ жидкого гелия в пространство между вакуумным кожухом /5/ и шиной /6/. Тогда здесь установится тот же уровень жидкого гелия, что и в криостате. Газ для охлаждения шины необходимо будет вводить в нее через специальные отверстия, сделанные в ней выше уровня гелия. Но при изменениях давления в криостате или обратном потоке уровень в токовводе будет резко колебаться, что вызовет дополнительное испарение гелия. Увеличение давления в линии обратного потока может вызвать полное вытеснение жидкого гелия из полости токоввода с выходом вниз большого пузыря теплого газа, причем не исключен заброс части этого газа в область у нижнего торца остова. Это может вызвать электрический пробой.

Прошедший через токоввод гелий выходит в обратный поток через штуцер /15/. Наружние токонесущие кабели подсоединяются к контактной пластине /13/. Поскольку верхняя часть токоввода при изменении режима то обмерзает, то оттаивает, она снабжена козырьком /12/, защищающим поверхность изоляционного остова /10/ от попадания влаги. Конструкция изоляционного остова /рис.5/ аналогична показанной на рис.4.

Многоамперный токоввод /см. рис.5/ испытывался в криостате установки "Искриз" при постоянном напряжении 80 кВ положительной полярности в течение 30 минут. Ток утечки изоляционной системы не превышал 0,6 мА. По токоведущей шине при этих испытаниях ток не протекал, и она работала как тепловой мост из области с комнатной температурой в жидкий гелий. При этом расход охлаждающего токоведущую шину газообразного гелия регулировался в широких пределах, вплоть до полного его прекращения. При увеличении напряжения до значений свыше 80 кВ наблюдались редкие перекрытия внутри составного изоляционного остова со стороны "теплого" конца ввода по поверхности, смазанной вазелином /в данной конструкции - обычным медицинским вместо силиконового/. Нагрузочная способность токоведущей шины ввода испытывалась в другом криостате: до 5,5 кА постоянного тока отмечалась стабильная по температуре "теплого" конца работа ввода.

7. ВЫВОДЫ

1. В результате исследований поверхностной электрической прочности диэлектриков в жидком гелии получены данные, позволившие предложить и создать две новые конструкции высоковольтного токоввода для сверхпроводящих устройств.

2. Увеличение электрической прочности холодных концов обоих вводов достигнуто за счет того, что их изоляционные остовы не содержат открытых боковых поверхностей, омываемых газообразным гелием; эти поверхности экранированы проводящими заземленными оболочками, имеющими длину, большую, чем изоляционные остовы, и оканчивающимися ниже уровня жидкого гелия. При этом в выполненных конструкциях отсутствуют составляющие напряженности электрического поля, нормальные к открытым поверхностям диэлектрика изоляционных остова.

3. Выполненные по предложенным конструкциям высоковольтные токовводы в криостаты с жидким гелием успешно испытаны при постоянном напряжении 80 и 100 кВ и токе до 5,5 кА.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить В.Д.Бартенева и В.П.Мокринова за участие в изготовлении и испытаниях вводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глебов И.А. Научные проблемы электротехники. Электротехника, 1980, №1, с. 10.
2. Geballe T.H., Hulm J.K. Superconductors in Electric Power Technology. Sci. American, 1980, vol.243, No.5, p. 112-136.
3. Bogner G. Cryopower transmission studies in Europe. Cryogenics, vol.15, No.2, 1975, p. 79.
4. Анищенко Н.Г. ОИЯИ, 9-80-287, Дубна, 1980.
5. Gerhold J. Dielectric breakdown of cryogenic gases and liquids. Cryogenics, 1979, vol.19, No.10, p. 571-584.
6. Hsieh S.Y. et al. Safety and reliability in superconducting fusion magnet systems. Cryogenics, 1980, vol. 20, No.10, p. 575-586.
7. Furuto Y. et al. Electrical tests on S.C. model cable. Proc. ICEC-5, Kyoto, 1974, p. 180.
8. Maddock B.J. Superconducting power cables. Phys. in Techn., Nov. 1975, p. 266.
9. Ulbricht A. Kernforschungszentrum Karlsruhe, Kfk-2672, August, 1978, Thesis ETH-Nr. 6194.
10. Виноградов А.А. и др. ПТЭ, 1974, №5, с. 229.
11. Анищенко Н.Г., Минеин В.Ф. Авторское свидетельство СССР №521610, кл. Н01В17/26 от 6.1Х.74: Бюл. ОИПОТЗ, 1976, №26, с. 153.

12. Минеин В.Ф., Анищенко Н.Г. ОИЯИ, Р8-8592, Дубна, 1975; ЖТФ, 1976, №11, с. 2432-2435.
13. Грейсух А.А. и др. Бумажно-масляная изоляция в высоковольтных конструкциях, М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.
14. Степанов А.Н., Белехин Л.В. Новые нагревостойкие и радиационностойкие электроизоляционные материалы для намоточных конструкций изоляции. Рига, ЛатНИИНТИ, 1978.

Анищенко Н.Г. и др. Высоковольтные многоамперные токовводы в криостаты с жидким гелием 8-82-172

Рассмотрены некоторые особенности электроизоляционных конструкций высоковольтного криоэлектрооборудования. Обсуждаются результаты исследований в криогенных условиях поверхностной электрической прочности моделей проходных изоляторов из фторопласта. На основании полученных результатов предложены и выполнены новые конструкции многоамперных токовводов в криостаты с жидким гелием. Приведены результаты испытаний таких токовводов на 80 и 100 кВ и ток до 5,5 кА.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Anishchenko N.G. et al. High-Voltage Heavy-Current Leads into Liquid Helium Cryostats 8-82-172

Some properties of electroinsulating constructions of high-voltage cryoelectric equipment are considered. The results are discussed of investigating surface dielectric strength under cryogenic conditions of bushing models made of monolithic teflon. New designs of heavy-current leads into liquid helium cryostats based on the obtained results are suggested and built. The results of testing these current leads at 80 and 100 kV voltage and a 5,5 kA current are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 марта 1982 года.