

6
AG5

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ имени М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

Т. Л. М е т у с а л а

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИИ
ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПАРИТЕЛЬНЫМ
ОХЛАЖДЕНИЕМ

05.282 - техника высоких напряжений

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Т а л л и н 1971

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ имени М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

Т. Л. М е т у с а л а

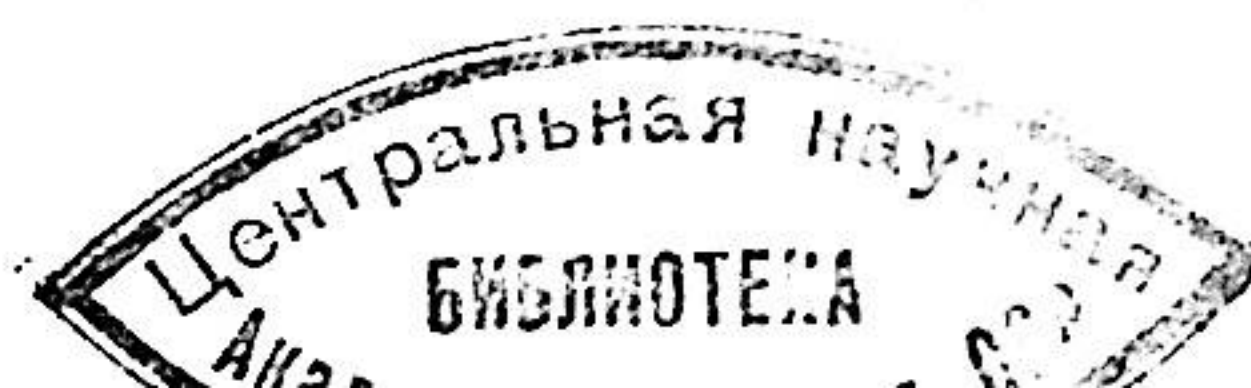
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИИ
ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПАРИТЕЛЬНЫМ
ОХЛАЖДЕНИЕМ

05.282 — техника высоких напряжений

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Т а л л и н 1971



Экспериментальная часть работы выполнена в Таллинском политехническом институте.

Научный руководитель:

профессор, доктор технических наук Г.С. КУЧИНСКИЙ.

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук В.Т. РЕННЕ,
кандидат технических наук А.Г. ЛЕВИТ.

Ведущая организация:

НИПТИ, г. Таллин.

Автореферат разослан "15" *января* . . . 1971 года.

Защита диссертации состоится "19" *февраля* 1971 года на заседании Совета электромеханического факультета Ленинградского ордена Ленина политехнического института имени М.И. Калинина (Ленинград, К-251, Политехническая ул., 29, Главное здание института, аудитория 130).

Просим направлять отзывы по вышеуказанному адресу в 2-х экземплярах.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

Введение

Принцип испарительного охлаждения заключается в том, что передача тепла от охлаждаемой поверхности в окружающую среду производится не путем конвекции, а путем отвода тепла, расходуемого на испарение охлаждающей кипящей фторсодержащей жидкости. Такое охлаждение является весьма эффективным. Коэффициент теплоотдачи (КТО) при испарительном охлаждении превышает примерно в 70 раз КТО при конвекции.

Применение испарительного охлаждения в трансформаторостроении оказалось возможным только в последние годы благодаря тому, что были созданы новые фторсодержащие соединения с высокими электрофизическими характеристиками. Эти соединения химически инертны, имеют высокую термическую устойчивость, нетоксичны, взрыво- и пожаробезопасны, слабо взаимодействуют с изоляционными материалами и металлами, обладают высокой электрической прочностью и имеют довольно низкую температуру кипения.

Трансформаторы с испарительным охлаждением могут быть выполнены с меньшими габаритами и весом по сравнению с трансформаторами с обычным масляным охлаждением, кроме того, они взрыво- и пожаробезопасны.

Эти преимущества обуславливают перспективность их применения на электровозах. Трансформаторы с испарительным охлаждением пригодны также для работы в других установках

с аналогичными требованиями (шахты, суда, предприятия химической промышленности и т.д.).

Первой задачей данного исследования было уточнение принципиальной конструктивной схемы трансформатора с испарительным охлаждением, так как приведенные в литературе конструктивные решения не удовлетворяют полностью требованиям, предъявляемым к электровозным трансформаторам.

Испарительное охлаждение может быть реализовано главным образом по двум схемам:

1. Трансформаторы с опрыскиваемой активной частью трансформатора.

2. Трансформаторы, у которых обмотки полностью утоплены в жидкости.

Выгоднее оказывается тип трансформатора, у которого активная часть полностью утоплена в жидкости (рис. 1).

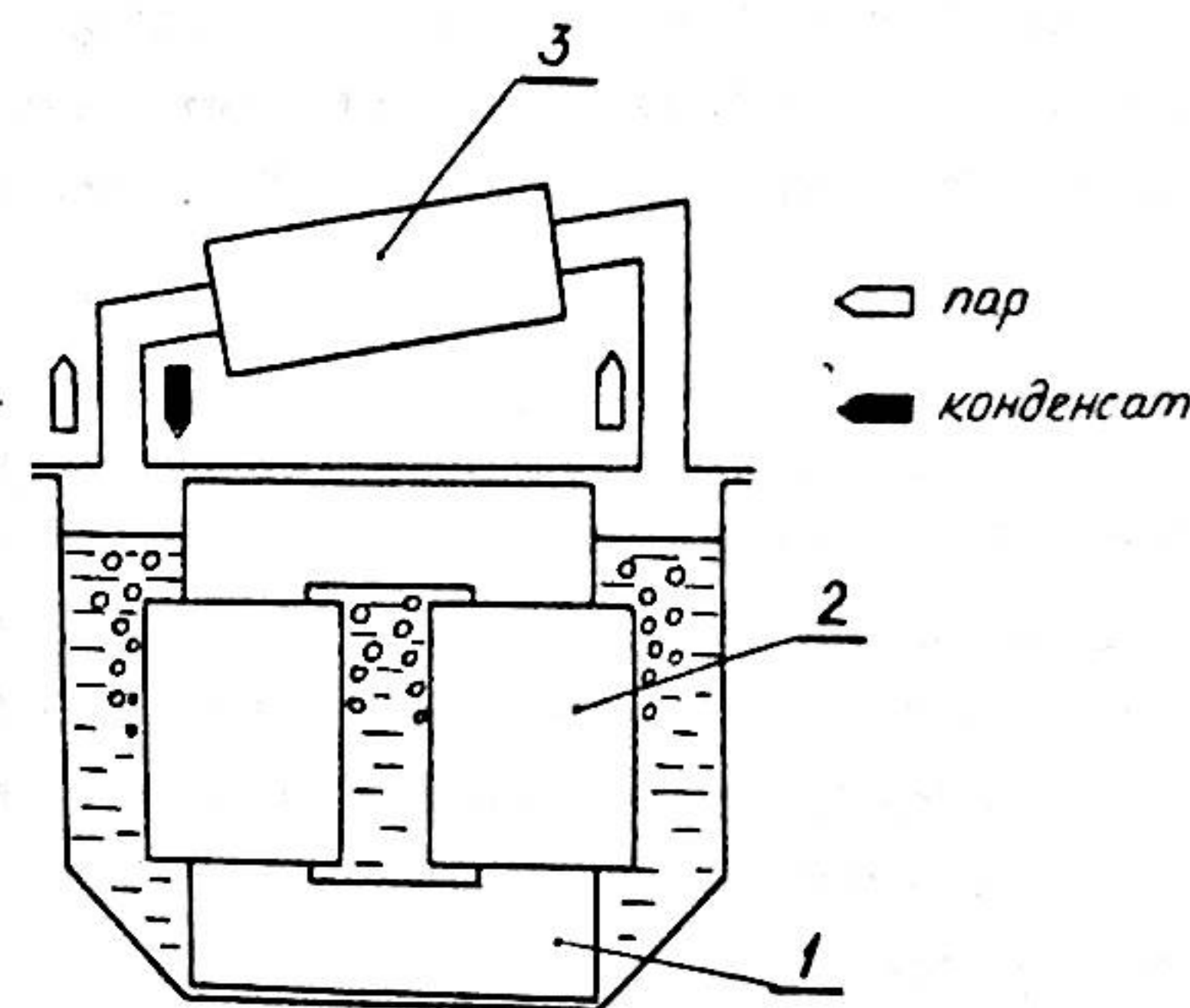


Рис. 1. Эскиз трансформатора с испарительным охлаждением (1 — магнитопровод, 2 — обмотки, 3 — охладитель).

В этом случае магнитопровод и обмотка трансформатора находятся в герметично закрытом металлическом баке, который

снабжается охладителем, где при работе трансформатора пары жидкости конденсируются и конденсат самотеком течет обратно в бак.

Обмотки ВН и НН расположены концентрически, ближе к стержню находится обмотка ВН.

Чтобы уменьшить максимальную температуру в обмотках, что особенно важно при увеличенных тепловых нагрузках, целесообразно использовать такие конструкции обмоток, при которых все провода соприкасаются с жидкостью, т.е. катушечные или однослойные цилиндрические обмотки. Наиболее компактными оказываются катушечные обмотки, намотанные из ленточного провода. Особенно целесообразными являются такие конструкции обмоток, при которых провод соприкасается с жидкостью по голым неизолированным поверхностям. В этом случае максимальная температура обмотки незначительно отличается от температуры жидкости. Несмотря на некоторое снижение электрической прочности изоляции по сравнению с обмоткой из изолированного провода, улучшение тепловых характеристик делает этот вариант технически более целесообразным.

В трансформаторе с испарительным охлаждением изоляционная жидкость работает в необычных, до настоящего времени мало исследованных условиях. Залитая в вакуумированный корпус трансформатора жидкость при увеличении нагрузки вскипает и при нормальном рабочем режиме находится в кипящем состоянии. Следовательно, изоляционной средой в трансформаторе является смесь жидкости и пара. Вместе с изменением температуры изменяется и давление в корпусе трансформатора.

Для правильного понимания разрядных процессов в такой среде нужно исследовать все фазы изолирующей среды: пар, жидкость, парожидкостную смесь — кипящую жидкость. Испытанию подвергались две жидкости:

1) БЛ-П — фторированное трансформаторное масло с плотностью 1930 кг/м^3 , относительной диэлектрической проницаемостью 2,1 и температурой кипения $160 \div 190^\circ \text{C}$ при атмосферном давлении.

2) фреон II3 — бесцветная жидкость с химической формулой $C_2Cl_3F_3$, с плотностью 1580 кг/м^3 , относительной диэлектрической проницаемостью 2,5 и с температурой кипения $47,6^\circ\text{C}$ при атмосферном давлении.

Обе жидкости являются технически чистыми. Электрические характеристики обеих жидкостей исследованы очень мало.

Основной задачей данной работы является исследование электрической прочности пара, жидкости и кипящей жидкости для того, чтобы установить допустимые напряженности электрического поля в главной изоляции трансформатора с испарительным охлаждением. Для этого надо решить ряд вопросов:

1) для определения кратковременной прочности изоляции необходимо исследовать пробивные характеристики фторсодержащих жидкостей и изоляционных конструкций при простейших электродах и на макетах главной изоляции трансформатора с испарительным охлаждением,

2) для определения длительной прочности необходимо исследовать характеристики частичных разрядов фторсодержащих жидкостей и изоляционных конструкций трансформатора с испарительным охлаждением,

3) на основе полученных данных необходимо определить допустимые испытательные и рабочие напряженности.

Пробой фторсодержащих жидкостей и их паров

Рассмотрим роль пузырьков пара, которые образуются при кипении жидкости, в развитии процессов пробоя. Наибольшее влияние на процесс пробоя будут оказывать пузырьки, образовавшиеся на нагретой поверхности электродов (т.е. на обмотке), так как максимальная напряженность электрического поля будет вблизи этой поверхности. После отрыва от поверхности под действием электрического поля пузырьки быстро покидают область с максимальной напряженностью электрического поля.

Для того, чтобы судить о возможности пробоя в образовавшемся на поверхности электрода пузырьке пара, нужно определить размеры пузырька при отрыве от поверхности и давление пара в пузырьке. На пузырек действует во-первых, подъемная сила, обусловленная разностью плотностей жидкости и пара, во-вторых, сила поверхностного натяжения, в-третьих, динамическая сила, обусловленная потоком охлаждающей жидкости и, в-четвертых, сила электрического поля.

Точный расчет радиуса отрыва $r_{кр}$ невозможен, так как точное определение всех сил представляет большие трудности.

Для упрощения пренебрегаем силами электрического поля и динамическими силами. Эти силы способствуют отрыву пузырька от поверхности, но по величине меньше подъемной силы и зависят от степени неоднородности электрического поля и скорости потока охлаждающей жидкости. Следовательно, эти упрощения увеличивают вычисляемый радиус пузырька при отрыве от поверхности и действительный радиус пузырька будет меньше вычисляемого.

Расчетный радиус пузырька $r_{кр}$ равен:

$$r_{кр} = \sqrt{\frac{C_s \sigma}{C_b g (\rho - \rho_v)}},$$

где σ — поверхностное натяжение,
 g — гравитационное ускорение,
 ρ — плотность жидкости,
 ρ_v — плотность пара,
 C_b — коэффициент, характеризующий форму пузырька,
 C_s — коэффициент, который зависит от площади касания пузырька и поверхности.

Величина критического радиуса для фреона II3 составляет $r_{кр} \leq 0,5 \text{ мм}$. Давление внутри пузырька определяется внешним давлением, т.е. давлением над жидкостью, гидростатическим давлением вышележащих слоев жидкости и давле-

нием вследствие поверхностного натяжения. При максимально возможном $\gamma_{кр}$ определяющим является внешнее давление. Чтобы судить о возможности пробоя пара в пузырьках при кипении, нужно знать пробивные напряженности пара и жидкости.

Для насыщенного пара фреона II3 и жидкости БЛ-П были сняты зависимости пробивного напряжения от расстояния между электродами d и от давления p при d от 5 - 20 мм и p от 6 - 125 кн/м². Электрическая прочность при нормальном давлении при кратковременном воздействии напряжения промышленной частоты для пара жидкости БЛ-П в резконеоднородном поле составляет 50-60 кВ/см и в слабонеоднородном поле 90 - 100 кВ/см, для паров фреона на 10-15% ниже. Электрическая прочность паров исследуемых жидкостей при нормальном давлении в 4 раза больше, чем у воздуха и в 1,5 раза больше, чем у самой жидкости.

Электрическая прочность некипящей жидкости БЛ-П (при расстояниях 10 - 35 мм) в резконеоднородном поле составляет 20 - 35 кВ/см и в слабонеоднородном поле 40 - 70 кВ/см.

При низких давлениях (меньше 10 кн/м²) в парах жидкости при определенном напряжении развивается тлеющий разряд и электрическая прочность паров довольно низкая. При тлеющем разряде очень сильно увеличивается и разброс пробивных напряжений (среднеквадратичное отклонение σ увеличивается с 3-4 % до 20-25 %).

Для того, чтобы выяснить изменение пробивного напряжения при кипении изоляционной жидкости, проведен ряд опытов в герметично закрытых сосудах. С повышением температуры (и давления) повышается и пробивное напряжение (рис. 2). Электрическая прочность при кратковременном воздействии напряжения промышленной частоты для кипящей жидкости БЛ-П составляет при резконеоднородном поле 30-45 кВ/см и при слабонеоднородном поле 45-75 кВ/см (σ уменьшается при кипении с 10 % до 8 %). Электрическая прочность фреона II3 на 12 - 15 % ниже.

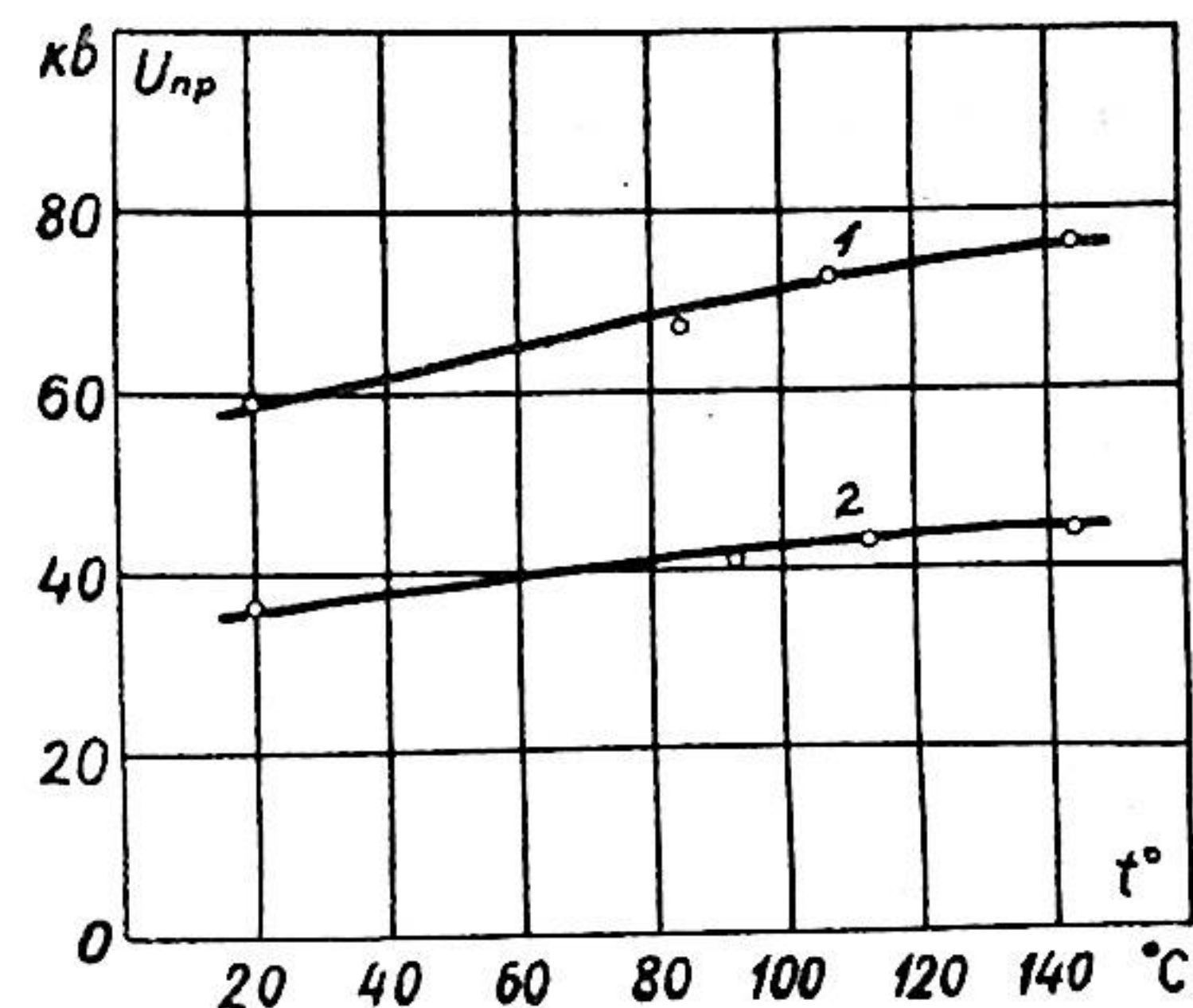


Рис. 2. Зависимость пробивного напряжения жидкости БЛ-П от температуры при расстоянии между электродами 10 мм (1 - слабонеоднородное поле, 2 - резконеоднородное поле).

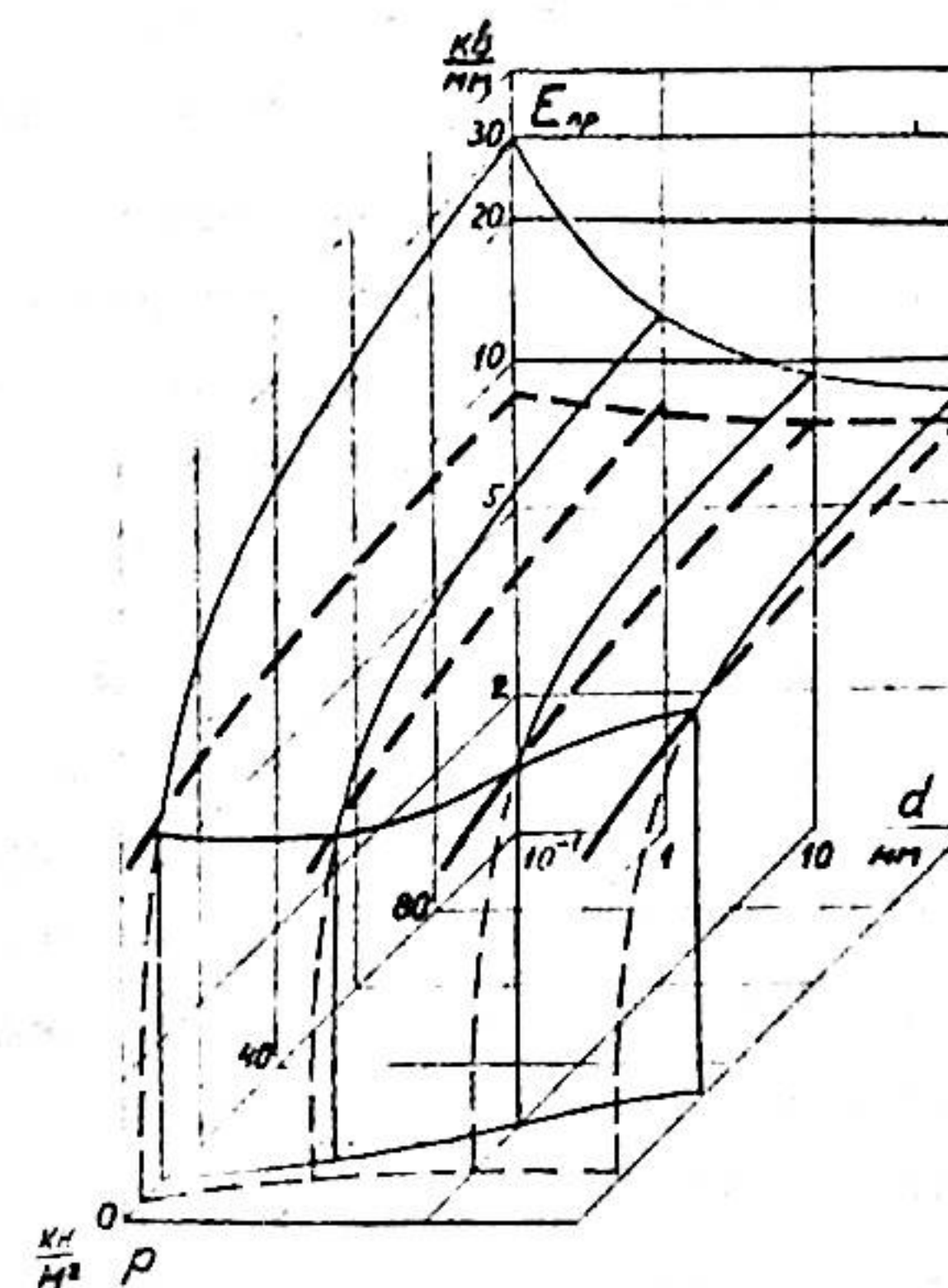


Рис. 3. Определение опасного давления и диаметра пузырька пара в жидкости БЛ-П (— $E_{пр}$ пара, — — — $1,21 E_{пр}$ жидкости).

Следовательно, при кипении в пузырьках пара разряды не происходят, что подтверждает и рис. 3, где приведены

$$E_{\text{пр пар}} = f(p, d) \quad \text{и} \quad \frac{3\epsilon_{\text{ж}}}{\epsilon_{\text{п}} + 2\epsilon_{\text{ж}}} E_{\text{пр ж}} = f(p, d).$$

Условие пробоя в пузырьке:

$$E_{\text{пр пар}}(p, d) < \frac{3\epsilon_{\text{ж}} E_{\text{пр ж}}(p, d)}{\epsilon_{\text{п}} + 2\epsilon_{\text{ж}}}.$$

При данных размерах пузырька ($\phi < 1$ мм) разряды в пузырьках возможны только при давлениях в пузырьке ниже 20 кн/м^2 . Чтобы предотвратить такие разряды при температурах ниже нуля, нужно пространство над жидкостью в трансформаторе заполнить неконденсирующимся газом до давления 20 кн/м^2 .

Повышение пробивных напряжений с повышением температуры объясняется тем, что при пробое технически чистых жидкостей значительную роль играют твердые примеси.

С повышением температуры увеличивается скорость диффузии частиц, что препятствует образованию мостиков из твердых примесей между электродами. При кипении жидкости образованию мостиков препятствует и бурное перемещение слоев жидкости.

В процессе исследований для жидкостей БЛ-П и фреона II3 были определены зависимости пробивных напряжений $U_{\text{пр}}$ от расстояния между электродами d для различных конфигураций электродов (в слабонеоднородном и сильнонеоднородном полях) при напряжении 50 гц и при импульсном напряжении. Наиболее характерные зависимости представлены на рис. 4. Коэффициенты импульса в сильнонеоднородном поле у обеих жидкостей равны $\sim 1,1$, в слабонеоднородном поле коэффициенты импульса лежат в пределах $1,75 \div 2$ в зависимости от расстояния между электродами (большее значение соответствует меньшему расстоянию).

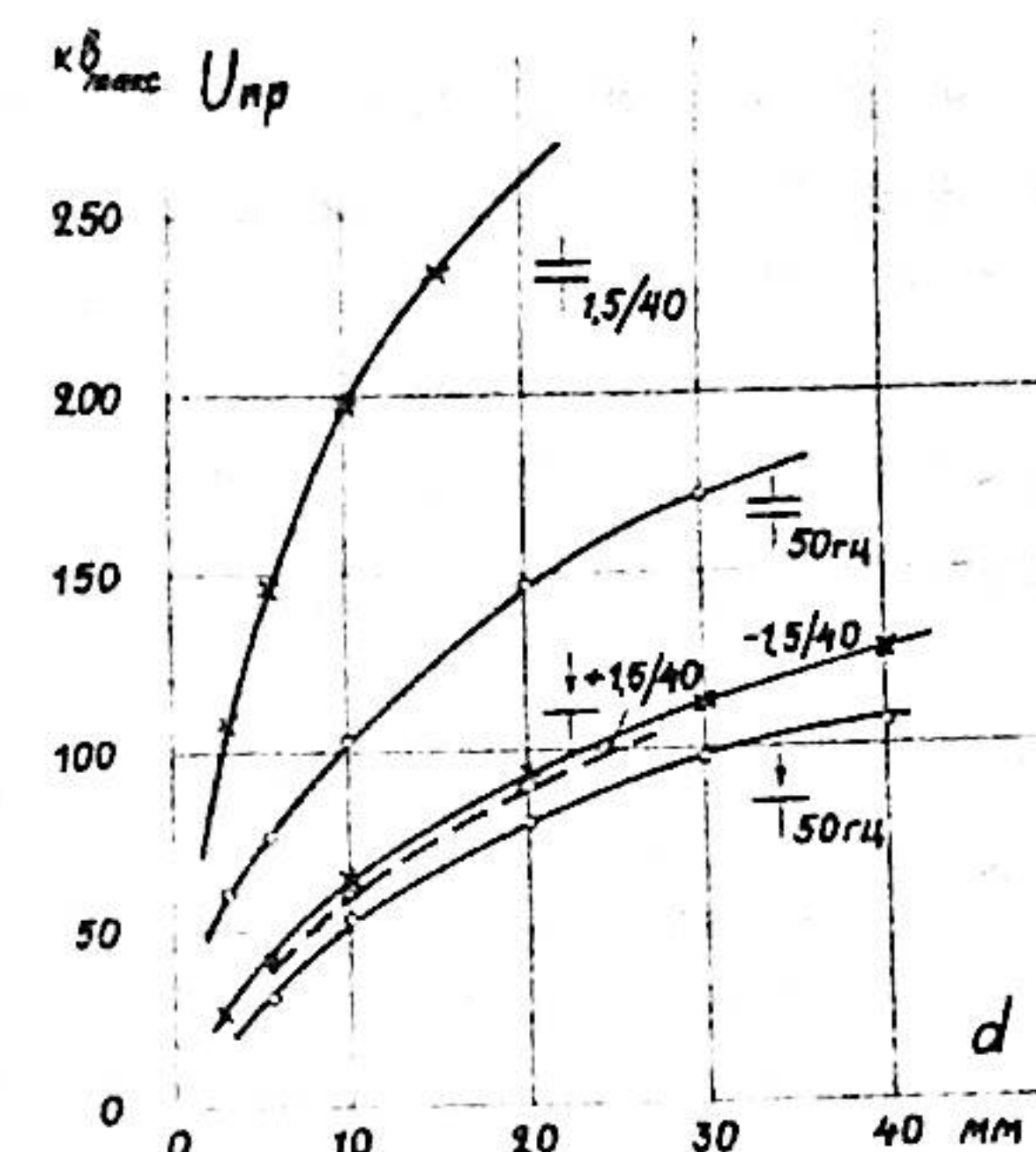


Рис. 4. Зависимость пробивного напряжения жидкости БЛ-П от расстояния между электродами при 50 гц и при импульсах 1,5/40 мксек.

Частичные разряды во фторсодержащих жидкостях

Исследование частичных разрядов имеет большое значение при разработке новых конструкций и при применении новых материалов в трансформаторах. По мнению некоторых авторов в конструкциях со фторсодержащими соединениями рабочее напряжение лимитируется начальным напряжением частичных разрядов.

Исследования начального напряжения частичных разрядов на уровне кажущегося заряда 10^{-13} к показали, что в слабонеоднородном поле вплоть до пробоя устойчивых частичных разрядов не наблюдается. В сильнонеоднородном поле частичные разряды имеют нестабильный характер и возникают при напряжении $0,75 \div 0,80 U_{\text{пр}}$ ($\sigma = 16\%$).

Аналогичные исследования начального напряжения частичных разрядов проводились в кипящих жидкостях. Как и сле-

довало ожидать, начальное напряжение частичных разрядов мало зависит от температуры, при этом отмечается некоторая тенденция повышения начального напряжения частичных разрядов при кипении. Это свидетельствует о том, что в пузырьках пара частичные разряды не происходят.

При наличии твердого диэлектрика в резконеоднородном поле на поверхности твердого диэлектрика частичные разряды на уровне 10^{-13} к возникают устойчиво при напряжениях, определяемых по формуле:

$$U_{\text{нач}} = 7,5 d^{0,48},$$

где $U_{\text{нач}}$ — начальное напряжение частичных разрядов в кв,
 d — расстояние между электродами в мм.

Разброс значений начального напряжения частичных разрядов характеризуется величиной $\delta \approx 10 \%$.

Особенно важным при определении рабочей напряженности является исследование разложения жидкости под действием частичных разрядов.

Для исследования разложения фторсодержащих жидкостей под действием частичных разрядов был использован специальный сосуд, показанный на рис. 5. Конструкция электродов в этом сосуде выбрана из тех соображений, что в трансформаторе с испарительным охлаждением главным типом частичных разрядов является скользящий разряд по поверхности твердой изоляции. Подобные разряды имели место и в данном испытательном сосуде около края внутреннего электрода по поверхности стеклянного сосуда. Сосуд перед испытанием вакуумировался и заполнялся жидкостью до ~ 20 мм выше верхнего края электрода. Объем жидкости в сосуде составлял 150 мл.

Исследования проводились в пределах энергии частичных разрядов до $200 \cdot 10^3$ Дж.

Для установления природы химических реакций, происходящих в жидкости, был применен хроматографический анализ. Хроматограммы жидкости БЛ-П до воздействия частичных разрядов и после воздействия частичных разрядов (суммарная энергия $53,2 \cdot 10^3$ Дж) приведены на рис. 6. На хромато-

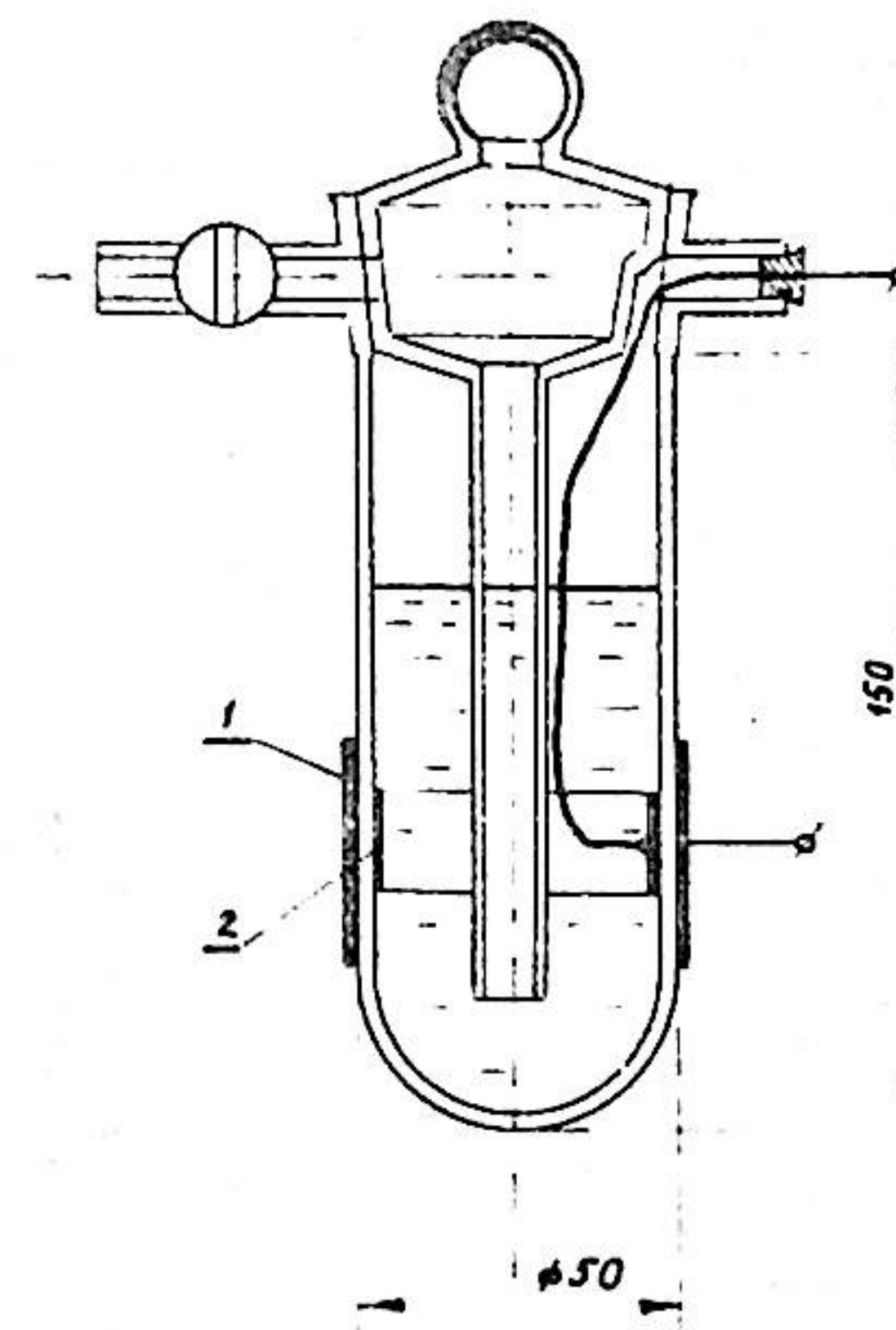
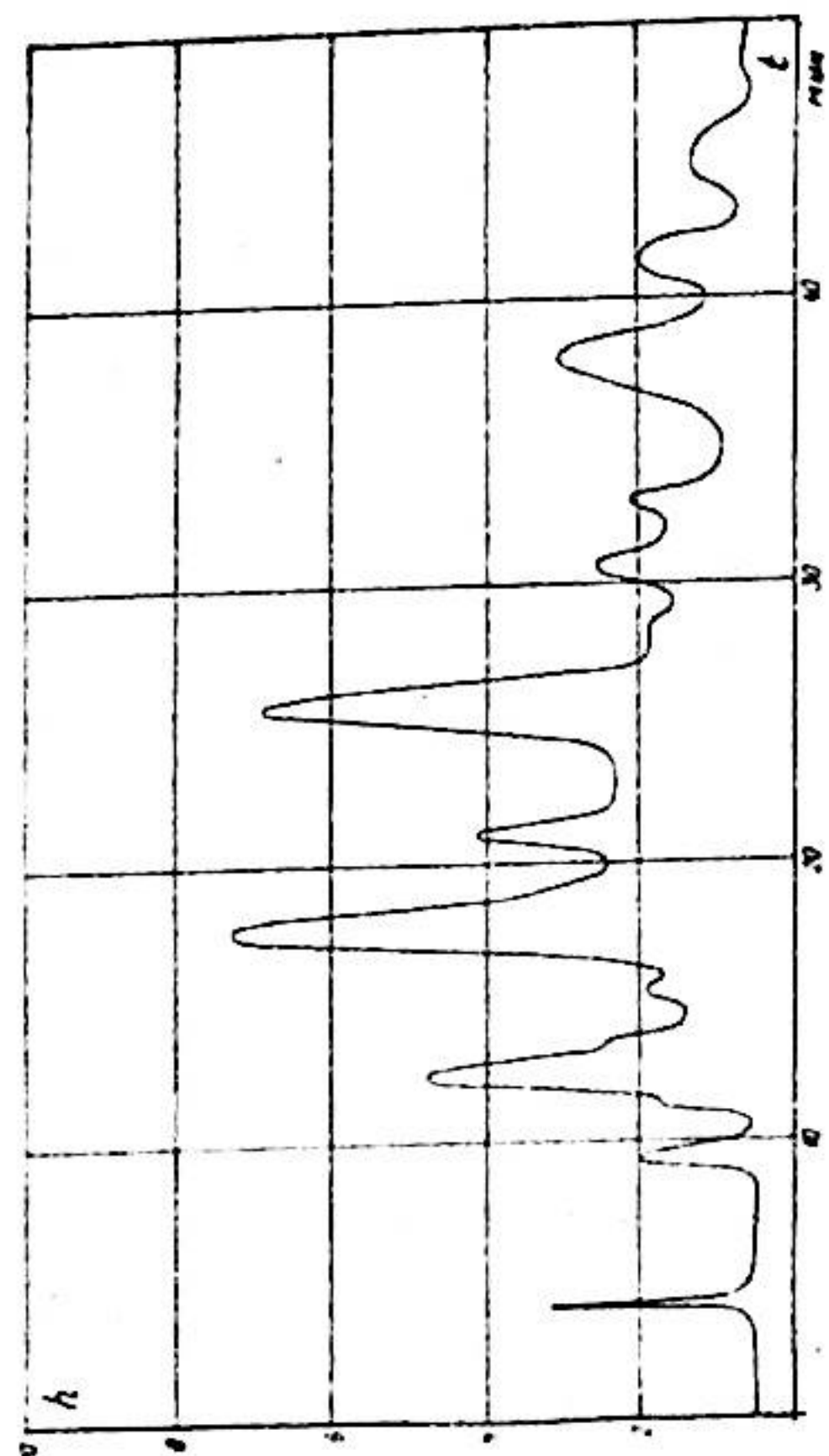


Рис. 5. Сосуд для исследования разложения фторсодержащих жидкостей (1, 2 — электроды).

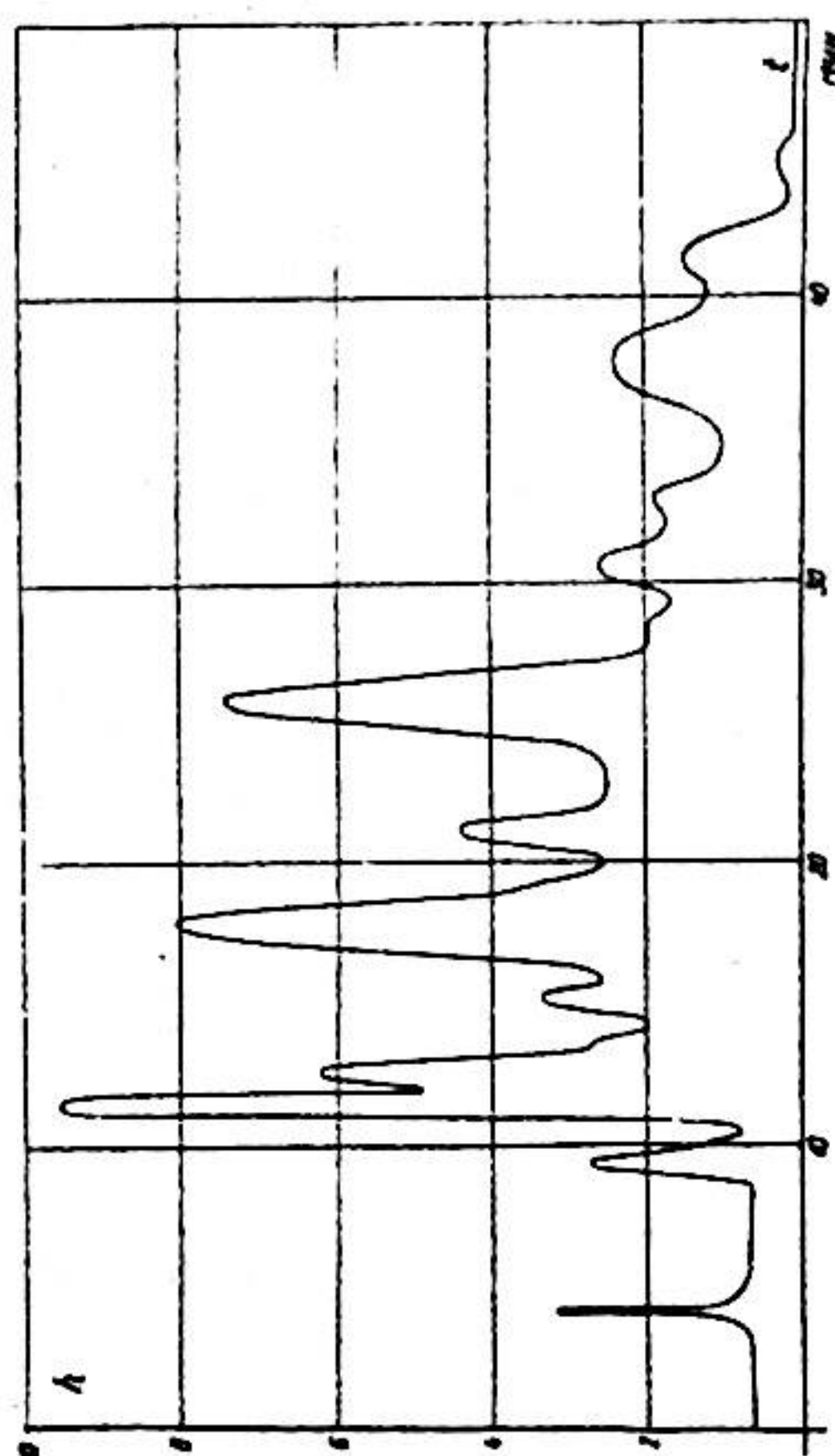
грамме, снятой после воздействия частичных разрядов, отчетливо видно уменьшение пиков в конце хроматограммы и увеличение пиков в начале хроматограммы. Это указывает на то, что под действием частичных разрядов происходит деструкция молекул, имеющих более длинные молекулярные цепи, и образование новых молекул с более короткой углеродной цепью.

Основным химически активным продуктом разложения является реакционно-способный фтор, который, по всей вероятности, существует в виде отрицательного иона фтора F^- . При данных экспериментах фтор не выделялся в виде газа, а оставался, в основном, в жидкости.

Количество фтора в жидкости БЛ-П определялось при помощи кислотного числа, так как кислотность данной жидкости определяется только фтором.



a)



б)

Рис. 6. Хроматограммы жидкости БЛ-П до (а) и после (б) воздействия частичных разрядов с энергией 53,2 кдж (h — высота пика, t — время выхода компонентов жидкости).

Зависимость кислотного числа от энергии частичных разрядов приведена на рис. 7.

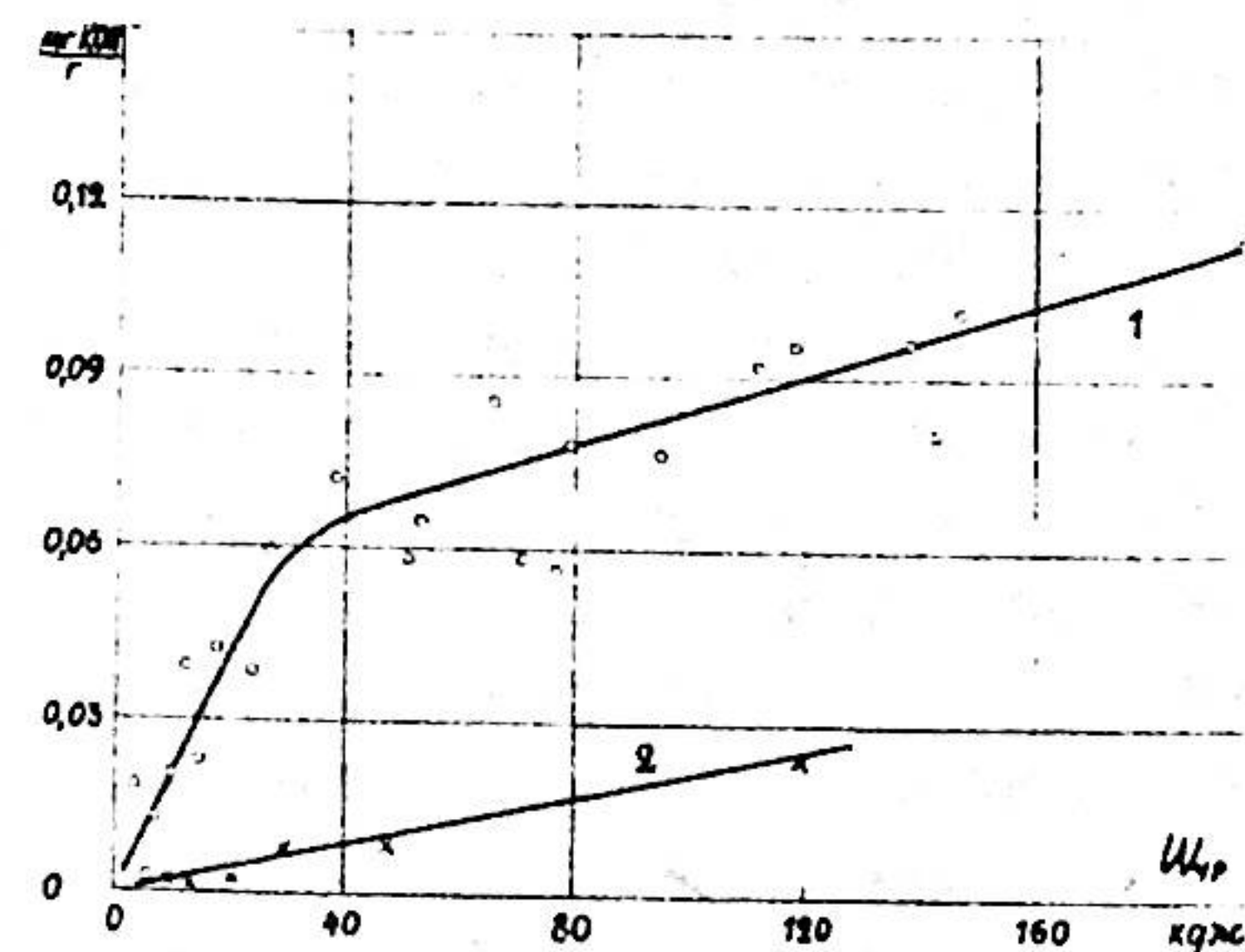


Рис. 7. Зависимость кислотного числа от энергии частичных разрядов для жидкости БЛ-П (кривая 1) и фреона 113 (кривая 2).

Кривая для жидкости БЛ-П имеет при суммарной энергии частичных разрядов $\sim 25 \cdot 10^3$ дж (при концентрации фтора в жидкости $\sim 2 \cdot 10^{-2}$ мг F/г) точку перелома. При более высоких энергиях скорость увеличения кислотности уменьшается. Причина этого явления недостаточно ясна. Можно предполагать, что при определенном содержании фтора наступает динамическое равновесие — часть атомов фтора соединяется снова с молекулами и радикалами фторированных углеводородов.

Коэффициенты увеличения количества фтора K_F в жидкости при энергиях частичных разрядов до 25 кдж и свыше 25 кдж равны соответственно: $K_F = 2,2 \cdot 10^{-4}$ мг F/дж и $K_F = 0,7 \cdot 10^{-4}$ мг F/дж.

Объем выделившегося и растворившегося в жидкости фтора, отнесенный к единице энергии частичных разрядов (удельное газовыделение), будет при энергии частичных разрядов до 25 кдж равен $V_F = 1,3 \cdot 10^{-4}$ см³/дж и при энергии частичных разрядов больше 25 кдж: $V_F = 0,4 \cdot 10^{-4}$ см³/дж.

Фреон II3 разлагается слабее (кривая 2, рис. 7). Продукты разложения и изменение структуры жидкости влияют на электрические характеристики ($U_{пр}$ и $tg\delta$) жидкости. Продукты разложения ухудшают электрические характеристики жидкости БЛ-П — электрическая прочность снижается и $tg\delta$ возрастает. Электрические характеристики фреона II3 в данных пределах энергии частичных разрядов улучшаются — пробивное напряжение увеличивается и $tg\delta$ уменьшается, несмотря на появление в жидкости продуктов разложения. Это, вероятно, связано с уменьшением содержания воды в фреоне II3 под действием частичных разрядов. Например, при опытах с суммарной энергией частичных разрядов 120 кДж содержание воды в фреоне II3 уменьшалось от 18 м.д. до 4 м.д. Содержание воды в жидкости БЛ-П даже до воздействия частичных разрядов предельно низкое (меньше 5 м.д.).

Активные продукты разложения в обеих жидкостях способствуют коррозии металлов и разрушению изоляционных материалов. Определение допустимых концентраций активных продуктов разложения для разных изоляционных и конструктивных материалов требует специального исследования. До тех пор, пока допустимые концентрации продуктов разложения неизвестны, следует выбирать рабочие напряженности ниже начальных напряженностей частичных разрядов.

Исследование характеристик главной изоляции трансформатора с испарительным охлаждением на макетах

Полученные при простейших электродах величины электрической прочности и допустимых напряженностей электрического поля были проверены на макетах изоляции. Исследовались макеты края и середины изоляций. Определялась одномоментная прочность макетов края изоляции и середины изоляции в зависимости от расстояния между высоковольтной обмоткой и сердечником, при этом пробоем макета считался

пробой жидкостного канала. Одновременно определялось и начальное напряжение частичных разрядов на уровне кажущегося заряда 10^{-12} К. Исследования проводились при температуре 20 °С в некипящих жидкостях — фреоне II3 и БЛ-П. Средняя напряженность пробоя жидкостного канала составляет для макетов края изоляции 34,5 кВ/см и для макетов середины изоляции 37,5 кВ/см при жидкости БЛ-П. Соответствующие характеристики для фреона II3 на 10–15 % ниже. Разброс одномоментной электрической прочности характеризуется величиной $\delta \approx 6\%$.

Начальная напряженность частичных разрядов в жидкости БЛ-П для макетов края и середины изоляции составляет соответственно 11,7 и 17,2 кВ/см. Разброс начального напряжения частичных разрядов характеризуется величиной $\delta \approx 12\%$. Довольно низкие начальные напряженности частичных разрядов по сравнению с маслостойкой изоляцией обусловлены использованием ленточной обмотки, у которой края катушки острые (радиус закругления $\sim 0,1 \div 0,2$ мм) и не покрыты твердой изоляцией.

В процессе исследований были испытаны макеты середины изоляции в кипящей жидкости БЛ-П. Как и следовало ожидать, одномоментная электрическая прочность изоляции и начальное напряжение частичных разрядов при кипении жидкости не снижаются.

Макеты края и середины изоляции испытывались также при стандартных импульсах 1,5/40 мксек. Коэффициенты импульса, определенные по напряжению пробоя первого жидкостного канала, для макетов края изоляции равняются 1,2 и для макетов середины изоляции лежат в пределах 1,78 – 1,85. При импульсах 100/1000 мксек коэффициенты импульса снижаются до 1,6 для макетов середины изоляции (расстояние между сердечником и обмоткой 16 мм) и до 1,1 для макетов края изоляции.

Допустимые напряженности электрического поля при рабочем и испытательных воздействиях определяются исходя из средних значений разрядных напряженностей и напряженностей

начала частичных разрядов с учетом разброса по формуле $E_{\text{гор}} = E_{\text{ср}} - 3\sigma$. Рекомендуемые величины допустимых напряженностей при рабочем и испытательных воздействиях для жидкости БЛ-П приведены в таблице.

Допустимые напряженности (в кв/см) в изоляции трансформаторов с жидкостью БЛ-П

Вид воздействия	Импульс I,5/40 мксек (амплитудные значения)	Одноминутное напряжение пром. частоты (дейст. знач.)	Рабочее напряжение (дейст. знач.)
Слабонеоднородное поле (середина изоляции)	75	30	II
Резконеоднородное поле (край изоляции)	47	28	8

Соответствующие характеристики для фреона II3 на 15 % ниже.

Сравнение воздействующих и допустимых напряженностей показывает, что определяющим для размеров края и середины изоляции является рабочее напряжение. Поэтому в дальнейших исследованиях основное внимание должно быть обращено на исследование характеристик изоляции при длительном воздействии рабочих напряженностей.

Заключение

В работе получены данные об электрической прочности используемых в трансформаторе с испарительным охлаждением фторсодержащих жидкостей и паров как при напряжении промышленной частоты, так и при импульсах. Исследованы также характеристики частичных разрядов фторсодержащих жидкостей, рассмотрен процесс разложения этих жидкостей под

действием частичных разрядов и влияние продуктов разложения на электрические характеристики фторсодержащих жидкостей.

Подвергнуты теоретическому рассмотрению условия возникновения частичных разрядов в пузырьках кипящей жидкости. Показано, что основные закономерности электрической прочности фторсодержащих жидкостей аналогичны закономерностям, известным для минеральных масел.

В работе доказано, что при кипении фторсодержащих жидкостей в герметичном баке трансформатора электрические характеристики фторсодержащих жидкостей при давлениях выше 20 кн/м^2 не снижаются, так как при этих давлениях электрическая прочность пара жидкости превышает электрическую прочность самой жидкости, даже с учетом повышения напряженности электрического поля в пузырька. Чтобы предотвратить разряды в пузырьках пара при давлениях ниже 20 кн/м^2 , которые могут быть в трансформаторе при низких температурах, нужно заполнить пространство над жидкостью в трансформаторе неконденсирующимся газом до давления 20 кн/м^2 .

В работе исследован также процесс разложения фторсодержащих жидкостей под действием частичных разрядов. Основным химически активным продуктом разложения является фтор. Коэффициенты увеличения количества фтора в жидкости БЛ-П при энергиях частичных разрядов до 25 кдж (до концентрации фтора $\sim 2 \cdot 10^{-2} \text{ мг F/г}$) и выше 25 кдж равны соответственно: $K_{\text{ф}} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ мг F/дж}$ и $K_{\text{ф}} = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ мг F/дж}$. Объем выделившегося и растворившегося в жидкости фтора отнесенный к единице энергии частичных разрядов, равен, соответственно: $V_{\text{ф}} = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{дж}$ и $V_{\text{ф}} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{дж}$.

На основе полученных данных об электрической прочности и характеристик частичных разрядов установлены допустимые напряженности электрического поля, определяющие габаритные размеры главной изоляции и необходимые при проектировании трансформатора с испарительным охлаждением.

Полученные в работе данные об электрических характеристиках изоляции используются в НИПТИ (гор. Таллин) при проектировании трансформаторов с испарительным охлаждением.

Основные результаты работы опубликованы в следующих статьях:

1. Т.Л. М е т у с а л а. Зависимость пробивного напряжения фреона II3 от температуры. Труды ТПИ, серия А, № 275, "Энергетические системы", Таллин, 1969.

2. О.И. Г р о с с м а н н, Т. Л. М е т у с а л а, О.О. Т а п у п е р е. Начальное напряжение частичных разрядов в фреоне II3. Труды ТПИ, серия А, № 275, "Энергетические системы", Таллин, 1969.

Подписано к печати 06/1 1971.

Бумага 60x84/16. Печ. л. 1,25. Усл.печ. л. 1,16.

Тираж 200. МВ-00804. Зак. № 33

Ротапринт ТПИ, Таллин, Коскла, 2/8.

Б е с п л а т н о .