

## **Глава VIII. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРОПИТЫВАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ**

### **§ 56. Необходимость дополнительной очистки пропитывающих жидкостей**

Основными пропитывающими жидкостями, используемыми для силовых бумажных конденсаторов, являются конденсаторное и касторовое масла и синтетические электроизоляционные жидкости — хлорированные дифенилы (ТХД и др.). Физико-химические и электрические характеристики этих пропитывающих жидкостей были приведены в табл. 2 (см. § 13).

Хлорированные дифенилы применяют при пропитке конденсаторов, работающих на переменном токе как промышленной частоты, так и повышенных частот. Для конденсаторов постоянного тока основной пропитывающий диэлектрик — касторовое масло. Конденсаторное масло используют для пропитки некоторых типов конденсаторов как переменного, так и постоянного токов.

Перед пропиткой конденсаторов пропитывающие жидкости должны отвечать определенным требованиям, основными из которых являются высокая электрическая прочность и возможно малые диэлектрические потери. Эти требования могут быть обеспечены тогда, когда пропитывающие жидкости не содержат различного рода загрязнений, механических примесей и влаги. Кроме того, пропитывающие жидкости должны быть тщательно обезгажены. Наличие в пропитывающих жидкостях растворенного воздуха, объем которого в обычных условиях может достигнуть 10%, приводит к неизбежному попада-

нию его в процессе пропитки внутрь конденсаторов и ухудшению их качества.

Поступившие на конденсаторные заводы пропитывающие жидкости не всегда отвечают необходимым требованиям. В результате транспортировки и длительного хранения на складах жидкости, постоянно соприкасаясь с атмосферой, увлажняются, что приводит к заметному снижению их первоначальных электрических характеристик, поэтому перед употреблением они нуждаются в сушке, обезгаживании и дополнительной очистке.

В процессе заливки до 30% пропитывающей жидкости не попадает в конденсаторы. Эта часть жидкости, соприкасаясь со стенками шкафа и корпусов конденсаторов, несколько загрязняется, и для повторного ее использования также требуется дополнительная очистка.

Таким образом, конденсаторные заводы вынуждены создавать специальные участки, которые оборудуют не только для сушки и обезгаживания, но и для дополнительной очистки значительных количеств пропитывающих жидкостей.

## § 57. Методы очистки пропитывающих жидкостей

Пропитывающие жидкости, не удовлетворяющие нормам из-за механических примесей, увлажнения, загрязнения или недостаточной степени очистки, всегда могут быть восстановлены и доведены до требуемых норм дополнительной очисткой.

Известно много методов очистки. Применение того или иного метода определяется видом и степенью загрязнения пропитывающей жидкости, поэтому выбору метода всегда должен предшествовать анализ жидкости, который должен дать полное представление о ней как о диэлектрике.

Если пропитывающая жидкость оказалась загрязненной лишь различными механическими примесями, для ее восстановления применяют очистку методом отстаивания или фильтрации через пористую среду. Когда жидкость только увлажнена и все остальные ее свойства удовлетворяют нормам, ее обычно сушат распылением под вакуумом. Если же исходная жидкость имеет недостаточную степень очистки или была подвержена воздействию высоких температур в присутствии кислорода и окислилась,

для ее восстановления перечисленные выше механические способы очистки непригодны. В этом случае применяют методы, основанные на способности некоторых пористых тел, так называемых адсорбентов, избирательно поглощать определенные загрязнения, входящие в состав пропитывающих жидкостей.

Имеется и ряд других методов очистки пропитывающих жидкостей. Так, например, для очистки конденсаторного масла используют центрифугирование в специальных аппаратах (в них под действием центробежной силы происходит отделение примесей), промывку чистой водой, регенерацию кислотами и щелочами, которые связывают химические нестойкие примеси. Последний метод применяют для восстановления масел, претерпевших глубокие органические изменения. Однако данные методы очистки в конденсаторном производстве не используются, поэтому здесь не рассматриваются.

Отстой. Очистка методом отстоя заключается в том, что пропитывающая жидкость длительное время находится в покое. Вода и механические примеси, отличающиеся по плотности от пропитывающих жидкостей, оседают на дно или всплывают и затем отделяются от них. Несмотря на то что отстоем удаляются не все загрязнения и вода, этот метод очистки широко применяется и является первой и обязательной стадией, предшествующей всем другим методам очистки.

Метод отстоя крайне прост и экономичен, однако требует много времени. Скорость отстоя зависит от вязкости жидкости и высоты ее слоя. Чем больше вязкость жидкости и высота ее слоя, тем медленнее происходит отстой, так как требуется больше времени для отделения частиц загрязнений от жидкости.

Поскольку вязкость пропитывающих жидкостей уменьшается с повышением температуры, для ускорения отстоя их обычно подогревают. В то же время нагрев жидкостей ограничивается тем, что при высоких температурах возникают конвекционные потоки и происходит взмучивание жидкости пузырьками испаряющейся воды, что в значительной мере замедляет осаждение, загрязнений. Поэтому для каждого вида пропитывающей жидкости выбирают оптимальную температуру отстоя: для трихлордифенила и конденсаторного масла в пределах 30—40° С, а для касторового масла, имеющего более высокую вязкость, в пределах 70—80° С.

**Фильтрация.** Продавливание пропитывающей жидкости через пористую среду с большим количеством капилляров, в которых задерживаются вода и все механические загрязнения, называется фильтрацией.

В качестве фильтрующей среды используют фильтровальные картон и бумагу, плотные ткани, войлок, волокнистый асбест и т. п. Величина капилляров в этих фильтрующих средах даже при их сильном уплотнении остается значительной, но благодаря тому, что частицы жидкости, проходя через такую среду, несколько раз изменяют направления движения, они оставляют механические загрязнения на волокнах фильтрующего материала. Пропитывающие жидкости фильтруют в специальных фильтрах или фильтр-прессах.

Из приведенных выше материалов для фильтрации пропитывающих жидкостей используют преимущественно фильтровальные картон и бумагу, имеющие различную пористость. Наибольшей пористостью обладают мягкие и рыхлые сорта, которые легко впитывают влагу, однако плохо задерживают уголь и тонкий шлам и выделяют много волокон. Поэтому в фильтр-прессах для хорошей фильтрации пропитывающих жидкостей листы мягкого картона (или бумаги) чередуют с листами плотного мелкопористого.

Количество влаги, впитываемой картоном (или бумагой), зависит от его исходного влагосодержания, в связи с чем непосредственно перед фильтрацией картон следует тщательно просушить.

При сильном увлажнении картон теряет фильтрующую способность и механическую прочность и подлежит замене.

Скорость фильтрации в значительной степени зависит от вязкости пропитывающей жидкости. Однако уменьшение вязкости пропитывающей жидкости за счет повышения ее температуры приводит к снижению гигроскопичности картона. При 100° С картон не впитывает влаги. Кроме того, с повышением температуры увеличивается растворимость шлама и воды в пропитывающей жидкости. Поэтому, как и в случае отстоя, фильтрацию надо производить при оптимальной для каждой пропитывающей жидкости температуре. Для конденсаторного масла и ТХД температура при фильтрации не должна превышать 40—50° С, для касторового масла — 70—80° С.

**Сушка распылением под вакуумом.** Этот метод состоит в том, что увлажненную пропитывающую жидкость подогревают и через распылитель (форсунку) подают в бак, в котором поддерживается вакуум. Распыленная до состояния тумана пропитывающая жидкость почти мгновенно отдает всю содержащуюся в ней влагу, которая в процессе испарения откачивается вакуумным насосом. Сама же пропитывающая жидкость собирается в капельки и стекает на дно бака, где не только высушивается, но и обезгаживается.

Скорость испарения воды из пропитывающей жидкости тем больше, чем ниже давление в баке, мельче распылена пропитывающая жидкость и выше ее температура. Сушка пропитывающих жидкостей производится при давлении не более 100 Па, температуре 60—70° С для конденсаторного масла и трихлордифенила и 80—90° С для касторового масла.

**Регенерация с помощью адсорбентов.** Метод регенерации основан на свойстве некоторых пористых тел поглощать из пропитывающих жидкостей кислоты и полярные примеси и удерживать их на своей поверхности.

К числу адсорбентов относятся: силикагель, ряд сортов глин, называемых отбеливающими землями, аморфные или активированные угли, активированная окись алюминия и некоторые другие вещества.

Регенерацию пропитывающих жидкостей с помощью адсорбентов можно производить двумя способами: непосредственным фильтрацией пропитывающей жидкости через слой адсорбента или смешиванием ее с мелкозернистым адсорбентом и последующим отстаиванием и фильтрацией смеси для отделения частиц адсорбента (контактный метод очистки).

В конденсаторном производстве для очистки пропитывающих жидкостей применяют три вида адсорбентов: силикагель и активную окись алюминия — для непосредственного фильтрации и некоторые сорта глин — для контактного метода очистки.

*Силикагель* — искусственный продукт, представляющий собой не полностью обезвоженную кремниевую кислоту  $H_2SiO_3$  в виде твердых стекловидных зерен пористого строения с равномерным распределением пор. В зависимости от величины пор и формы зерна силикагель делят на мелкопористый и крупнопористый, кусковой и гранулированный.

Для регенерации пропитывающих жидкостей применяют преимущественно крупнопористый силикагель КСК с величиной зерна 2,7—7 мм. Внутренняя поверхность пор силикагеля составляет 300—400 м<sup>2</sup>/г, что обуславливает большую активность его как адсорбента. Силикагель хорошо извлекает из пропитывающих жидкостей смолы и в меньшей степени кислоты.

*Активная окись алюминия* — это пористое вещество с высокоразвитой внутренней поверхностью (до 400 м<sup>2</sup>/г), белого цвета, иногда с кремовым оттенком, которое получают высушиванием студнеобразного гидрата окиси алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O), глинозема, извлекаемого из бокситов (горной породы) химическим и термическим путем.

Активную окись алюминия изготавливают в виде цилиндров высотой от 4 до 25 мм, диаметром от 4 до 6 мм или шариков того же диаметра. В зависимости от насыпной массы ее выпускают двух марок: А-1 с насыпной массой 400—500 г/л и А-2 с насыпной массой 500—750 г/л и поставляют обычно в барабанах из черной кровельной стали. При очистке пропитывающих жидкостей активная окись алюминия хорошо извлекает кислоты и смолы.

*Глины* — это природные тонко размолотые минеральные вещества, основными составными частями которых являются окись кремния SiO<sub>2</sub> (50—70%) и окись алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10—16%). Кроме того, в них имеются в небольших количествах окиси магния, кальция и железа. В естественном состоянии глины содержат значительное количество воды (10—20%).

Глины разных месторождений имеют различную адсорбционную активность.

Глины с высокой адсорбционной активностью можно применять в естественном виде после размола и подсушки. Глины с малой адсорбционной активностью подвергают активированию путем обработки минеральными кислотами и щелочами, в результате чего обнажается их активная поверхность и образуются дополнительные зазоры и капилляры. Внутренняя поверхность пор глин составляет 100—300 м<sup>2</sup>/г. Глины хорошо извлекают из пропитывающих жидкостей смолы, кислоты и другие загрязнения.

Для очистки пропитывающих жидкостей в конденсаторном производстве широко применяют активированную глину, дающую одинаково хорошие результаты при очист-

тке как конденсаторного и касторового масел, так и хлорированных дифенилов.

Активность адсорбентов определяется не только строением поверхности и химическим составом, но и их влажностью и рабочей температурой. Каждому виду адсорбента соответствует определенное оптимальное содержание воды, при котором он обладает наивысшей адсорбционной способностью. В случае полного обезвоживания адсорбционная способность может упасть до нуля. Сушка при недостаточной температуре тоже не дает положительных результатов, так как вода, заполняющая поры, понижает активность адсорбентов. Поэтому каждый адсорбент перед очисткой должен подвергаться сушке (прокаливанию) при вполне определенной для него температуре, которую устанавливают опытным путем. Так, например, температура сушки силикагеля — 450—500° С, а глины — 140—150° С.

Не меньшее значение для достижения необходимого эффекта очистки имеет температура, при которой производят обработку пропитывающих жидкостей адсорбентом. С повышением температуры понижается вязкость жидкости и облегчается диффузия растворенных в ней смол и кислот, а также улучшается адсорбция. Однако с повышением температуры увеличивается кинетическая энергия молекул, вследствие чего ослабляется способность адсорбента удерживать на своей поверхности извлеченные из жидкости вещества. Поэтому для каждого адсорбента существует оптимальная рабочая температура очистки, которая тем выше, чем выше вязкость жидкости.

Оптимальная температура очистки силикагелем и активной окисью алюминия конденсаторного масла 20—30° С, а ТХД — 30—40° С. Наилучшие результаты очистки глиной конденсаторного масла и ТХД могут быть получены при температуре 50—60° С, а касторового масла — при 70—80° С.

Глины применяют для очистки пропитывающих жидкостей только один раз и после извлечения из них остатков пропитывающей жидкости выбрасывают. В восстановлении глины для повторного ее использования нет необходимости, так как стоимость процесса восстановления примерно равна стоимости свежей глины.

Количество глины, необходимое для очистки, определяют предварительной лабораторной пробой. При очист-

ке масел и ТХД глиной масса ее обычно не превышает 5% массы пропитывающей жидкости.

Силикагель и активную окись алюминия можно использовать для очистки много раз подряд (до 20), каждый раз восстанавливая их отжигом при 600—700° С. В процессе отжига вода испаряется, все органические вещества выгорают и активная поверхность зерен адсорбентов восстанавливается.

Каждый из рассматриваемых методов очистки пропитывающих жидкостей часто применяют изолированно. Однако для достижения необходимого эффекта очистки прибегают и к различным комбинациям этих методов.

### **§ 58. Оборудование, применяемое для приготовления пропитывающих жидкостей**

Участки для приготовления пропитывающих жидкостей — это сложное хозяйство, располагающее различными видами технологического оборудования. Основными видами этого оборудования являются:

- баки-хранилища;
- фильтр-прессы для очистки от механических примесей;
- силикагелевые фильтры или мешалки с отстойниками для очистки пропитывающих жидкостей;
- обезгаживатели для вакуумной сушки, обезгаживания и хранения очищенных пропитывающих жидкостей;
- перекачивающие насосы;
- электропечи для приготовления и восстановления адсорбентов и т. д.

Участки для приготовления пропитывающих жидкостей со всем необходимым оборудованием располагают в изолированных каменных зданиях с огнестойкими перекрытиями и перегородками. Помещения участков оборудуют системой автоматического пожаротушения и усиленной приточно-вытяжной вентиляцией, так как выделяющиеся при очистке пары пропитывающих жидкостей взрывоопасны и вредны для здоровья.

Для очистки масел и хлорированных дифенилов применяют однотипное, но раздельное оборудование, которое можно располагать как обособленно, так и в одних и тех же помещениях. Оборудование и трубопроводы для очистки касторового масла, имеющего высокую вязкость, должны выполняться обогреваемыми.

Пропитывающие жидкости поступают на заводы в железнодорожных цистернах или железных бочках. Жидкости, поступающие в цистернах, сливают в специальные баки-хранилища. Жидкости, поставляемые в бочках, обычно хранят на складах до использования. От каждой партии пропитывающей жидкости при получении должна быть взята проба для анализа. Исходные пропитывающие жидкости должны соответствовать ГОСТу или ТУ.

Баки-хранилища представляют собой стальные цилиндрические резервуары в виде железнодорожных цистерн емкостью до 50 т. Их размещают или на открытом воздухе, или чаще всего зарывают в землю. Баки, устанавливаемые на открытом воздухе, обносят каменной стенкой или земляным валом. Подземные баки располагают так, чтобы люки для осмотра и очистки во избежание попадания осадков выступали над уровнем земли. Люки должны иметь надежное уплотнение. Жидкости сливают в баки через выступающие наружу патрубки. Для отбора жидкости в баки вводят трубы, которые приваривают выше дна на 40—50 см, что исключает возможность попадания в них оседающих на дно загрязнений.

Пропитывающие жидкости, поступающие в бочки, необходимо хранить под навесом или в помещении склада для защиты их от действия солнца и дождя. Чтобы уменьшить проникновение наружного воздуха в бочки, их устанавливают пробками вниз. Во избежание загрязнения пропитывающей жидкости вскрывать бочки следует после тщательной очистки пробок и всей поверхности вокруг них. Если холодные бочки подают в теплое помещение, перед вскрытием их необходимо прогреть до окружающей температуры, чтобы предотвратить увлажнение пропитывающей жидкости в результате конденсации паров воды. Вскрывать бочки надо только специальными четырехгранными ключами.

Фильтр-пресс применяют для непосредственной очистки жидкостей от механических примесей и влаги, а также для отделения частиц адсорбента при контактном методе очистки глинами.

Фильтр-пресс (рис. 80) состоит из станины 8, на которой установлен ряд подвижных чугунных пластин и рам 11. Между пластинами и рамами винтом 10 зажимают листы фильтровального картона (или бумаги). Пустые внутри рамы вместе с листами картона образуют ка-

меры, сообщающиеся со сквозным каналом, куда поступает исходная жидкость. Пластины с обеих сторон имеют простроганную сетку каналов, в которых собирается жидкость, прошедшая из камеры через фильтровальный картон. Эти каналы сообщаются с общим сквозным каналом для отвода профильтрованной жидкости. Сквозные каналы для поступления исходной и отвода профильтрованной жидкости образованы отверстиями, совпадающими в нижних углах чередующихся пластин, рам и листов

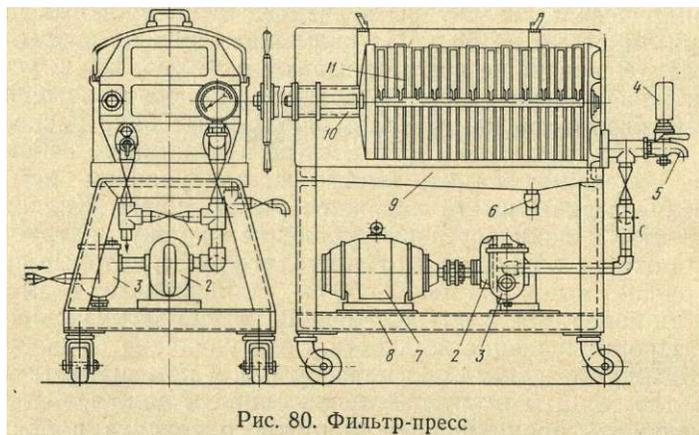


Рис. 80. Фильтр-пресс

фильтровального картона. Все рамы и пластины соединены параллельно, в результате чего получаются большие фильтрующие поверхности и достигается высокая производительность.

Исходная жидкость в камеры рам подается через сетчатый фильтр 3 с помощью шестеренчатого насоса 2. Давление жидкости контролируют манометром 4. Чтобы следить за наполнением камер жидкостью и выпускать воздух из рабочей части фильтр-пресса, отводной канал снабжен патрубком с вентилем 5. Фильтр-пресс имеет также обводную линию с трехходовым вентилем 1. Для сбора просачивающейся из фильтр-пресса жидкости установлена сборная ванна 9 со спускным вентилем 6.

Перед пуском в работу все пластины и рамы фильтр-пресса промывают свежей сухой пропитывающей жидкостью и между ними закладывают нарезанные по размеру и с пробитыми отверстиями листы фильтровального

картона (или бумаги). Листы картона предварительно должны быть просушены при 80—90° С в течение 24 ч. Под вакуумом время сушки может быть значительно сокращено. Просушенный картон до употребления необходимо хранить в герметичной таре.

В каждую секцию фильтр-пресса закладывают одинаковое количество листов картона, которое определяют степень загрязнения жидкости; обычно берут 3—5 листов. Всю систему пластин, рам и картона плотно сжимают, поворачивая штурвал зажимного винта.

При пуске фильтр-пресса открывают впускной и выпускной вентили и включают электродвигатель 7 шестеренчатого насоса. Вначале жидкость на выходе из фильтр-пресса сильно пенится и может содержать волокна картона, поэтому в первые 4—5 мин ее следует направлять на сторону грязной жидкости.

В процессе фильтрования нормальное давление жидкости не должно превышать 5-10<sup>5</sup> Па. Увеличение давления указывает на засорение фильтровального картона и может привести к его разрыву, что обнаруживается по слабому шипению внутри фильтр-пресса. Следовательно, менять картон необходимо до давления 7-10<sup>5</sup> Па.

Для смены фильтровального картона фильтр-пресс останавливают, пластины и рамы раздвигают и со стороны поступления жидкости вынимают по одному листу картона. Чтобы лучше использовать картон, новые листы вкладывают с противоположной стороны пакета.

Фильтровать необходимо сравнительно сухую пропитывающую жидкость. При фильтровании увлажненной жидкости картон быстро увлажняется, поэтому приходится не только часто менять его, но и опасаться разрыва, приводящего к порче очищенной жидкости. Для очистки вязких пропитывающих жидкостей (касторовое масло) используют обогреваемые (обычно горячей водой) фильтр-прессы.

Силикагелевый фильтр применяют для очистки масел и хлорированных дифенилов фильтрованием через слой силикагеля (активной окиси алюминия).

Силикагелевый фильтр (рис. 81) представляет собой цилиндрический бак 1 с крышкой 10, в котором помещен стальной стакан 2, заполненный силикагелем 3. В верхней части стакан отбортовкой опирается на кольцо 4 бака с уплотняющей прокладкой. Для прохождения и рав-

номерного распределения фильтруемой пропитывающей жидкости дно стакана выполнено в виде перфорированного диска 8. На дно стакана укладывают проволочную сетку 7 и фильтровальный материал (картон, бельтинг, сукно). Сетка предотвращает плотное прилегание фильтровального материала к дну стакана.

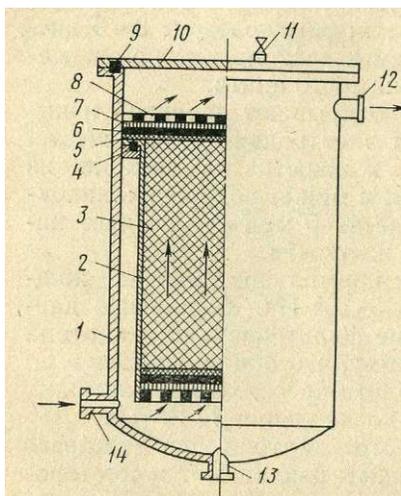


Рис. 81. Силикагелевый фильтр:

1 — цилиндрический бак, 2 — выемной стакан, 3 — силикагель, 4 — кольцо с уплотняющей прокладкой, 5 — фильтровальный картон, 6 — сукно, 7 — сетка, 8 — перфорированный диск, 9 — уплотняющая прокладка, 10 — крышка, 11 — кран для выпуска воздуха, 12 и 13 — патрубки для выхода и подачи пропитывающей жидкости, 14 — патрубок для чистки бака

Стакан полностью заполняют адсорбентом, поверх которого укладывают также фильтровальный материал, проволочную сетку и перфорированный диск, плотно прижимаемый гайками к кольцу бака. На крышке бака установлен кран 11 для выпуска воздуха при заполнении фильтра пропитывающей жидкостью. Верхний диск с фильтровальным материалом служит для задержки уносимых пропитывающей жидкостью частиц адсорбента.

Процесс фильтрации осуществляется снизу вверх, поскольку фильтровальный материал меньше забивается частицами адсорбента и обеспечиваются лучшие условия для наиболее полного

и быстрого вытекания воздуха из бака в начале фильтрации. Исходную пропитывающую жидкость подают в силикагелевый фильтр под давлением до  $10^5$  Па. Очищенная пропитывающая жидкость собирается в отдельном баке.

Фильтры заряжают предварительно просушенным силикагелем, который во избежание увлажнения следует хранить в герметичной таре. Заполняют фильтр силикагелем через крышку бака, укладывая его ровными слоями и не допуская образования пустот, особенно около стенок.

Силикагель в фильтре заменяют при заметном сниже-

нии его адсорбционной способности, что определяют взятием пробы профильтрованной жидкости.

Мешалки предназначены для смешения пропитывающей жидкости с глиной при контактном методе очистки и используются при очистке как масел, так и хлорированных дифенилов.

Мешалка представляет собой стальной цилиндрический бак, в крышке которого закреплен вал с лопастями, находящимися внутри бака. Дно бака имеет конусную форму. В верхнюю цилиндрическую часть бака вварен трубопровод для подачи исходной пропитывающей жидкости, а в дно бака — трубопровод для забора пропитывающей жидкости после смешения ее с глиной. Бак снабжен электродвигателем с редуктором для вращения вала мешалки и имеет люк для засыпки глины. Частота вращения лопастей мешалки 50—70 об/мин.

Для более эффективного перемешивания пропитывающей жидкости с глиной мешалка имеет наружный трубопровод с перекачивающим насосом, с помощью которого осуществляется циркуляция смеси. Смесь забирается со дна бака и подается в бак сверху.

Бак мешалки для нагрева пропитывающей жидкости снабжен водяным подогревом. Наружная поверхность бака имеет теплоизоляцию. При очистке бак заполняют пропитывающей жидкостью. Затем включают электродвигатель мешалки и при перемешивании в пропитывающую жидкость засыпают предварительно просушенную глину. Обработку жидкости продолжают в течение 20—30 мин при непрерывном перемешивании во избежание осаждения глины. Дополнительное перемешивание путем циркуляции производят периодически, включая перекачивающий насос. После обработки смесь пропитывающей жидкости с глиной поступает из мешалки в отстойник.

Глину для засыпки в мешалку обычно подают определенными дозами с помощью закрытого ковшового транспортера, что улучшает условия труда обслуживающего персонала и предотвращает загрязнения и быстрое увлажнение глины.

Отстойники предназначены для отстоя пропитывающих жидкостей после смешения их с глиной, а также для сбора и отстоя загрязненных и увлажненных пропитывающих жидкостей.

Для отстоя глины применяют вертикальные цилиндрические баки с конусным дном, снабженные обогревом

и теплоизоляции. Конусная часть дна оканчивается задвижкой «лудло» для спуска глины после отстоя. Кроме того, в нижней части бака для его очистки предусмотрен люк с крышкой.

Бак заполняют смесью пропитывающей жидкости с глиной по трубопроводу, вваренному в верхней части бака. Пропитывающую жидкость по мере ее отстоя забирают через трубопроводы, вваренные по высоте бака. Пробу берут при помощи краников, установленных по высоте бака на одном уровне с заборными трубопроводами.

Нормальная продолжительность отстоя пропитывающей жидкости 24 ч. Для ускорения обработки пропитывающей жидкости можно сокращать продолжительность отстоя. Однако при последующей фильтрации жидкости требуется более частая замена фильтровального материала. Накапливающуюся глину извлекают из отстойника, отжимают, осушивают от остатков пропитывающей жидкости и выбрасывают.

Обезгаживатели служат для окончательной сушки, обезгаживания и хранения очищенных пропитывающих жидкостей. Обезгаживатель представляет собой герметичный цилиндрический бак, в верхней части которого находятся форсунки для распыления поступающей пропитывающей жидкости. В средней части бака расположены полки, по которым после распыления стекают капельки пропитывающей жидкости, в результате чего происходит ее дополнительная сушка и обезгаживание.

Вакуум в баке создают при помощи вакуумного насоса, который трубопроводом соединен с крышкой бака. На крышке бака расположены также люк для периодической чистки и смотровые окна.

Забор просушенной и обезгаженной пропитывающей жидкости производят по трубопроводу, вваренному в дно бака. К этому трубопроводу приварен бачок с вентилями на входе и выходе для отбора пробы без нарушения вакуума в обезгаживателе. Перед заполнением бачка пропитывающей жидкостью воздух из него откачивают, для чего бачок через клапан сообщается с вакуумной линией.

Нагрев пропитывающей жидкости в баке обезгаживателя производится водяным обогревом. Наружные стенки бака покрыты теплоизоляцией.

Для обезгаживания пропитывающих жидкостей применяют также обезгаживающие колонки. Колонка представляет собой металлический цилиндр, в который вставлены два сетчатых цилиндра разного диаметра. Между стенками сетчатых цилиндров засыпают мелкие алюминиевые кольца. В колонке с помощью вакуумного насоса создают вакуум.

Пропитывающая жидкость поступает сверху колонки; попадая между сетчатыми цилиндрами, она растекается по кольцам тонкой пленкой и легко обезгаживается. Обезгаженная пропитывающая жидкость скапливается в сборнике, установленном под колонкой.

Для обезгаживания можно применять несколько последовательно соединенных колонок (ступенчатое обезгаживание) с индивидуальными вакуумными насосами. При этом степень вакуума повышается в каждой последующей ступени обезгаживания. Окончательное обезгаживание производят при остаточном давлении не более 5 Па.

Обезгаживатели и обезгаживающие колонки для измерения в них температуры и вакуума, а также для определения степени обезгаживания (воздухосодержания) пропитывающей жидкости снабжают измерительной аппаратурой.

Перекачивающие насосы предназначены для перекачивания пропитывающих жидкостей при их приготовлении. Для этой цели используют центробежные герметичные электронасосы ЦНГ.

Центробежный электронасос ЦНГ представляет собой герметически закрытую систему без сальниковых уплотнений. Насос предназначен для перекачивания агрессивных жидкостей, а также жидкостей, находящихся под вакуумом.

Электронасосы сложны по устройству и техническому обслуживанию, поэтому к их обслуживанию допускаются лица, хорошо освоившие материальную часть, знающие правила эксплуатации электронасосов и ухода за ними.

Для сушки адсорбентов применяют тупиковые электропечи с автоматической регулировкой температуры.

Глину сушат в противнях, устанавливаемых в печи в несколько ярусов. В противни глину насыпают ровным слоем толщиной 50—60 мм. В глине не должно быть крупных частиц, иначе ее следует просеять. Продолжительность сушки при 140—150° С не менее 3—4 ч. В про-

цессе сушки глину периодически перемешивают лопаткой. Окончание сушки глины определяют по прекращению появления вулканчиков от испаряющейся влаги.

Силикагель и окись алюминия сушат аналогичным образом при 450—500° С. Хранят просушенный адсорбент в герметичной таре.

### § 59. Технология приготовления пропитывающих жидкостей

Приготовление пропитывающих жидкостей заключается в том, чтобы дополнительной очисткой и обезгаживанием довести их до норм, обеспечивающих получение конденсаторов высокого качества.

Непосредственно перед пропиткой жидкости должны соответствовать следующим основным требованиям:

пробивное напряжение в стандартном разряднике (с расстоянием между электродами 2,5 мм) для конденсаторного масла должно составлять не менее 60 кВ (24 В/мкм), а для хлорированных дифенилов и касторового масла — не менее 50 кВ (20 В/мкм);

тангенс угла диэлектрических потерь не должен превышать 0,15% для конденсаторного масла при 70° С, 1,5% для хлорированных дифенилов и 4% для касторового масла при 90° С;

воздухосодержание по объему не должно превышать 0,2%;

кислотное число как для конденсаторного масла, так и для хлорированных дифенилов допускается не более 0,02 мг, а для касторового масла не более 0,3 мг КОН на 1 г жидкости.

Электрическая прочность и тангенс угла диэлектрических потерь пропитывающих жидкостей очень чувствительны к различного рода загрязнениям. По этим показателям, резко ухудшающимся при малейших загрязнениях, оценивают качество пропитывающих жидкостей в процессе их очистки.

Схема технологического процесса приготовления трихлордифенила показана на рис. 82. Исходная пропитывающая жидкость из бака-хранилища БХ или из бака отработавшей жидкости БО при помощи перекачивающего насоса Н подается в бак предварительного подогрева БП, где нагревается до 50—60° С, а затем через фильтр-пресс ФП1 направляется в бак сушки БС под вакуумом.

Проходя через фильтр-пресс, жидкость очищается от механических загрязнений, а поступая в бак сушки, распыляется под вакуумом и освобождается от влаги.

Для определения дальнейшего технологического процесса обработки из бака сушки отбирают пробу. Если пропитывающая жидкость удовлетворяет нормам по тангенсу угла диэлектрических потерь и незначительно отличается от них по электрической прочности, ее из бака сушки через фильтр-пресс ФП2 (или помимо него) направляют в бак окончательного обезгаживания ОД. После дополнительной фильтрации и окончательного обезгаживания жидкость подсушивается и, как правило, приобретает необходимые характеристики. Если же пропитывающая жидкость не удовлетворяет нормам ни по тангенсу угла диэлектрических потерь, ни по электрической прочности, ее подвергают дополнительной очистке адсорбентами.

К обработке адсорбентами чаще всего приходится прибегать при использовании сильно загрязненных отработавших жидкостей. Жидкость можно очищать или фильтрацией через окись алюминия, или контактным методом с помощью глины.

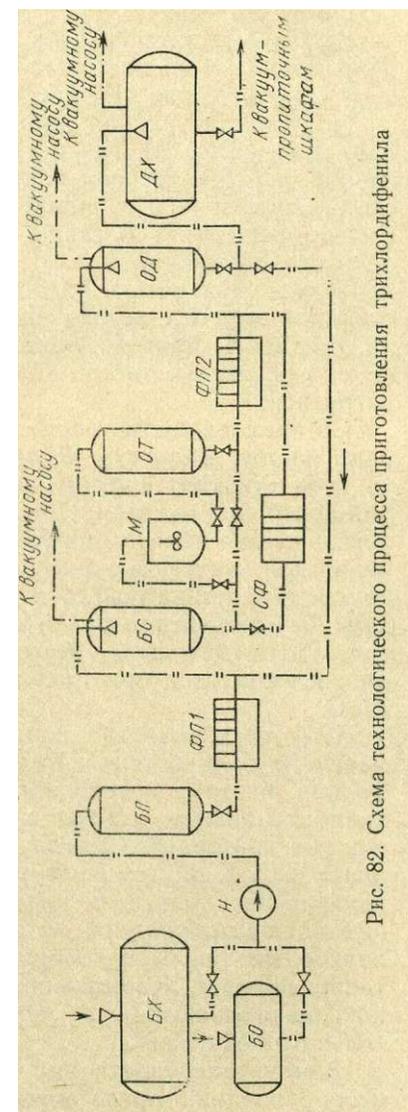


Рис. 82. Схема технологического процесса приготовления трихлордифенила

При очистке окисью алюминия жидкость из бака сушки прогоняют через фильтр *СФ* и подают в бак окончательного обезгаживания. В фильтре жидкость освобождается от загрязнений, влияющих главным образом на величину тангенса угла диэлектрических потерь. С уменьшением тангенса угла диэлектрических потерь одновременно уменьшается кислотное число и увеличивается электрическая прочность пропитывающей жидкости.

При очистке глиной жидкость из бака сушки поступает в мешалку *М*, где перемешивается с просушенной глиной, а затем насосом перекачивается в отстойник *ОТ*. Отстоявшуюся в отстойнике жидкость прогоняют через фильтр-пресс *ФП2* и также направляют в бак окончательного обезгаживания. В мешалке глина, вступая в контакт с жидкостью, адсорбирует загрязнения, а в отстойнике вместе с загрязнениями осаждаются на дно бака. Жидкость, проходя через фильтр-пресс, освобождается от неосевших частиц глины и других механических загрязнений.

Из бака окончательного обезгаживания также отбирают пробу жидкости. Если пропитывающая жидкость не удовлетворяет нормам, ее перекачивают в бак сушки для повторной очистки. Пропитывающая жидкость, удовлетворяющая нормам, из бака окончательного обезгаживания под вакуумом с помощью вакуумно-плотного насоса или вследствие разности уровней баков перекачивается в обезгаживатель для хранения *ДХ*. Там готовая жидкость дополнительно обезгаживается и до момента заливки в конденсаторы находится под вакуумом при 50—70° С.

Технология очистки конденсаторного и касторового масел не отличается от технологии очистки трихлордифенила, поэтому и технологическая схема обработки их аналогична схеме очистки трихлордифенила. Однако при очистке касторового масла из-за его высокой вязкости при нормальной температуре все трубопроводы для перекачки необходимо подогревать. Подогрев обычно осуществляют прокладкой обогреваемых водой труб параллельно масляным трубопроводам с нанесением общей теплоизоляции. Касторовое масло, поступающее в бочках, разогревают, после чего сливают в бак предварительного подогрева.

Ввиду токсичности паров хлорированных дифенилов к оборудованию предъявляют более высокие требования

в отношении его герметичности. Испарение хлорированных дифенилов в окружающую среду не допускается. Очистительные установки необходимо оборудовать усиленной приточно-вытяжной вентиляцией. По тем же причинам при очистке хлорированных дифенилов вместо обычных фильтр-прессов во всех случаях используют герметичные.

Действительные технологические схемы приготовления пропитывающих жидкостей более сложны и громоздки по сравнению с рассмотренной. Эта сложность состоит в том, что для более производительной и безаварийной работы в отдельных узлах схемы обычно предусматривают установку нескольких однотипных элементов оборудования для их параллельной работы. Кроме того, системе трубопроводов, связывающую между собой отдельные виды оборудования, выполняют таким образом, чтобы имелась возможность направлять пропитывающую жидкость из любого бака или аппарата в любой другой бак или аппарат как непосредственно, так и через аппараты для очистки.

Пропитывающую жидкость можно перекачивать с помощью герметичных насосов, путем создания разности давлений в баках и самотеком, когда баки расположены на разных уровнях.

Для удобства управления при очистке все вентили располагают на коллекторе, а трубопроводы и баки окрашивают в условные цвета. Современные участки по приготовлению жидкостей оборудуют распределительными щитами с мнемоническими схемами для наглядного управления оборудованием и с рукоятками управления вентилями. На этих же щитах устанавливают контрольно-измерительную аппаратуру для измерения температуры, давления и т. д.

Участки для очистки конденсаторного масла очень опасны при пожаре, поэтому для быстрого удаления больших количеств масла при возникновении пожара маслоочистительные участки оборудуют аварийным маслоотводом, связывающим все баки участка с баком для приема аварийного масла.

Бак для приема аварийного масла закапывают в землю за пределами участка, и он всегда должен быть свободным.

Конкретные технологические схемы приготовления пропитывающих жидкостей и порядок выполнения опе-

раций описывают в заводских технологических инструкциях.

В обязанности обслуживающего персонала при приготовлении пропитывающих жидкостей входит:

четкое знание технологической схемы и последовательности выполнения отдельных операций;

знание устройства и правил эксплуатации оборудования;

подготовка оборудования, уход за ним и наблюдение за его работой;

подготовка адсорбентов;

поддержание заданных режимов температуры, вакуума, продолжительности обработки пропитывающих жидкостей на каждой технологической операции;

отбор проб;

ведение технологического журнала;

строгое соблюдение правил техники безопасности и пожарной безопасности.

Для качественного приготовления пропитывающих жидкостей, производительного и экономичного использования оборудования от обслуживающего персонала наряду с общей теоретической подготовкой требуется большой практический навык.

### § 60. Испытания пропитывающих жидкостей

Пропитывающие жидкости в соответствии с ГОСТом или ТУ подвергаются различным физико-химическим и электрическим испытаниям.

Испытания сводятся к определению следующих показателей: плотности, вязкости, температуры застывания и вспышки, зольности, содержания механических примесей и водорастворимых кислот и щелочей, натровой пробы и кислотного числа, цвета и прозрачности, удельного объемного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, электрической прочности и тангенса угла диэлектрических потерь. Кроме того, при экспериментальных и исследовательских работах пропитывающие жидкости могут быть подвергнуты глубокому химическому анализу, определению газостойкости и другим испытаниям.

Однако как при поступлении на завод, так и при дополнительной очистке пропитывающие жидкости испытывают лишь по отдельным показателям, достаточно

полно характеризующим их электроизоляционные свойства. К числу таких показателей относятся электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь и кислотное число. Непосредственно перед заливкой в конденсаторы определяют содержание растворенного воздуха. При приемных испытаниях также обязательно определение температуры вспышки.

Приемные испытания пропитывающих жидкостей и испытания в процессе их очистки производят в экспресс-лабораториях, которые оснащают необходимыми приборами, испытательными установками и реактивами. Полные испытания пропитывающих жидкостей и исследовательские работы с ними проводят в специальных лабораториях.

Отбор проб при испытаниях пропитывающих жидкостей занимает особое место. Неправильно взятая проба может привести к ложным выводам, поэтому отбор проб можно поручать только хорошо обученным работникам. Проба должна отражать истинное состояние пропитываемой жидкости и может быть полноценной и достоверной только в том случае, если в нее не попадают загрязнения и влага от соприкосновения с посудой и испытательными электродами или из атмосферы.

Для отбора проб применяют плотно закрывающиеся стеклянные или эмалированные банки с широким горлом емкостью 1,5 л. Банки должны быть тщательно промыты нитрорастворителем, дистиллированной водой и просушены при 100—120° С в течение 2 ч.

Перед взятием пробы банку дважды ополаскивают испытуемой пропитывающей жидкостью, затем заполняют доверху и тщательно закрывают. Когда пробы берут из баков, то через вентиль предварительно спускают 20—30 л пропитывающей жидкости для удаления отстоя и промывки трубопроводов.

Отбор проб из бочек производят с помощью стеклянных, оттянутых с одного конца, трубок. Перед взятием пробы бочку необходимо покачать для смешения пропитываемой жидкости.

Банки с пропитывающей жидкостью или пустые, внесенные в теплое помещение, во избежание конденсации паров нельзя открывать, пока они не нагреются до температуры помещения.

**Определение электрической прочности.** Испытание пропитывающих жидкостей на пробой производят между

дисковыми с закругленными краями электродами диаметром 25 мм. При стандартном испытании расстояние между электродами устанавливают 2,5 мм. Electroды встроены в стенки сосуда емкостью 500 см<sup>3</sup>, в который заливают пропитывающую жидкость. Electroды должны быть погружены в пропитывающую жидкость не менее чем на 15 мм. Расстояние между электродами дисков проверяют специальным калибром.

Необходимо тщательно следить за чистотой сосуда и электродов. Перед каждым испытанием сосуд, электроды, термометр и палочку для помешивания следует промывать растворителями и высушивать в термостате. При испытании конденсаторного и касторового масел для промывки применяют нитрорастворитель РДВ или этиловый спирт, при испытании хлорированных дифенилов — ацетон. Дополнительно сосуд и электроды 2—3 раза промывают испытуемой пропитывающей жидкостью. Касторовое масло при промывке сосуда и электродов предварительно нагревают до 60—70° С.

Для испытания пропитывающую жидкость в сосуд заливают осторожно, небольшой струей, направляя ее на стенку сосуда во избежание образования пузырьков. После этого жидкости дают отстояться 10—15 мин, чтобы удалить пузырьки воздуха.

Испытание конденсаторного масла и трихлордифенила на пробой производят при температуре 20° С, а касторового масла ввиду его повышенной вязкости — при 65° С. Для испытания применяют высоковольтную установку переменного тока АИМ-80 (рис. 83). Описание и правила обслуживания установки приводятся в инструкции по эксплуатации.

Для каждого образца пропитывающей жидкости проводится шесть пробоев. За пробивное напряжение принимают среднеарифметическое значение напряжений пяти последних пробоев. Напряжение первого пробоя не учитывается. Результаты испытания заносят в протокол испытаний.

Электрическая прочность пропитывающей жидкости определяется как отношение величины пробивного напряжения к промежутку 2,5 мм стандартного разрядника.

**Определение тангенса угла диэлектрических потерь.** Тангенс угла диэлектрических потерь измеряют в специальных электродах, одна из конструкций которых по-

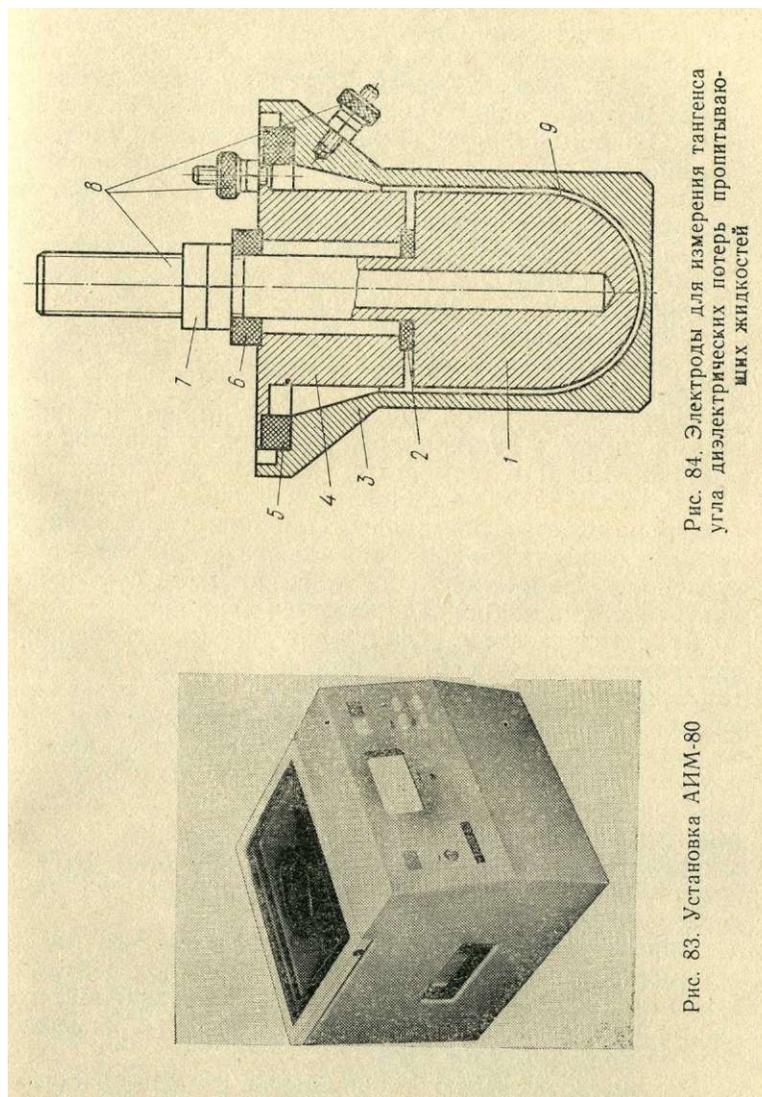


Рис. 84. Electroды для измерения тангенса угла диэлектрических потерь пропитывающих жидкостей

Рис. 83. Установка АИМ-80

казана на рис. 84. Электрод состоит из стакана 3, охранного кольцевого электрода 4 и измерительного электрода 1. Стакан, представляющий внешний электрод, а также кольцевой и измерительный электроды изготовляют из нержавеющей стали с совершенно гладкими поверхностями. Охранный электрод опирается на кольца 2 и 5, вырезанные из органического стекла или другого изоляционного материала. Измерительный электрод опирается на кольцо 6 из органического стекла, которое, в свою очередь, опирается на охранный электрод и зажимается с помощью гайки 7. Дно стакана и поверхность измерительного электрода образуют зазор 9, который заполняется пропитывающей жидкостью. Для подключения в измерительную схему каждый из трех электродов снабжен контактными отводами 8.

Перед измерениями электроды промывают растворителями, затем в дистиллированной воде и просушивают при 100—120° С в термостате. Пробу пропитывающей жидкости для ускорения измерения заливают в предварительно разогретые электроды. При подготовке электродов и заливке пробы следует соблюдать предельную аккуратность. Запрещается касаться руками внутренних поверхностей электродов и испытуемой жидкости.

Величина тангенса угла диэлектрических потерь пропитывающих жидкостей в сильной степени зависит от температуры: чем выше температура, тем отчетливее видна разница между хорошей и плохой пропитывающими жидкостями. Поэтому принято тангенс угла диэлектрических потерь конденсаторного масла измерять при температуре 70° С, а хлорированных дифенилов и касторового масла — при 90° С. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь производят с помощью высоковольтного моста Р-5026 при напряженности электрического поля 1 В/мкм и частоте 50 Гц.

**Определение кислотного числа.** Количество миллиграммов едкого кали, которое необходимо для нейтрализации всех свободных кислот и кислых соединений, входящих в состав 1 г пропитывающей жидкости, называется кислотным числом.

Это число указывает на начальную стадию окисления пропитывающей жидкости, когда другие свойства еще не изменились.

Метод определения кислотного числа заключается в том, что из пропитывающей жидкости извлекают кипя-

щим этиловым спиртом кислоты и затем титруют их едким кали.

**Определение температуры вспышки.** Температура, при которой пары пропитывающей жидкости, нагреваемой в закрытом тигле, образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени без загорания самой пропитывающей жидкости, называется температурой вспышки.

Температура, превышающая температуру вспышки, при которой пропитывающая жидкость загорается и горит не менее 5 с, называется температурой воспламенения. Чем ниже температура вспышки пропитывающей жидкости, тем больше ее испаряемость. Поэтому определение температуры вспышки важно не только с точки зрения образования вредных для здоровья и взрывоопасных газов, но и с точки зрения загрязнения пропитывающих жидкостей примесями легких фракций. В частности, конденсаторное масло в качестве примесей может содержать бензин и керосин.

Конденсаторное масло должно иметь температуру вспышки не ниже 135° С. Для касторового масла температура вспышки не допускается ниже 280° С, а для трихлордифенила — ниже 150° С.

**Определение воздухосодержания.** Пропитывающие жидкости, находясь на воздухе, поглощают его. Количество поглощенного воздуха пропорционально давлению воздуха над пропитывающей жидкостью и в некоторой степени зависит от температуры. В состоянии насыщения (равновесия) при данной температуре и давлении воздуха над пропитывающей жидкостью в ней содержится строго определенное количество воздуха. Например, при давлении 10<sup>5</sup> Па и температуре 20° С конденсаторное масло в состоянии насыщения содержит около 10% растворенного воздуха по объему, а при давлении 10 Па — всего лишь 0,001 %.

Маловязкие пропитывающие жидкости поглощают воздуха больше, чем высоковязкие. С повышением температуры растворимость воздуха в маловязких жидкостях увеличивается, а в высоковязких — уменьшается.

Наличие растворенного воздуха способствует возникновению процессов ионизации, приводящих к разложению пропитывающей жидкости и сокращению срока службы конденсаторов. Поэтому для повышения качества и надежности конденсаторы пропитывают хорошо

обезгаженными пропитывающими жидкостями. Количественную оценку содержания воздуха, растворенного в пропитывающей жидкости, производят приборами для определения газосодержания.

Прибор для определения газосодержания пропитывающей жидкости (рис. 85) состоит из стеклянного цилиндра (сосуда) 7, герметично уплотненного металлическими дисками. На верхнем диске вварены патрубки: с клапаном 1—для подключения к вакуумному насосу, с клапаном 2—для сообщения сосуда с атмосферой, с манометром 3— для измерения давления в сосуде. Нижний диск имеет два патрубка: один с вентиляем 5 и распылителем 4 служит для впуска и распыления пропитывающей жидкости, другой с вентилем 6— для слива пропитывающей жидкости из сосуда. Шкала 8, нанесенная на цилиндре, предназначена для измерения объема пропитывающей жидкости.

Перед измерением прибор проверяют на натекание, которое не должно превышать 4 Па за 10 мин, и промывают пропитывающей жидкостью, подлежащей испытанию.

Сосуд откачивают до заданного давления (10 Па) и клапаном отключают от вакуумного насоса. Затем впускают в него пропитывающую жидкость равномерно в течение 10 мин, благодаря чему пропитывающая жидкость, проходя через распылитель, успевает обезгазиться. По окончании впуска измеряют объем пропитывающей жидкости и давление в сосуде.

Воздухосодержание в процентах рассчитывают как отношение объема освобожденного из пропитывающей жидкости воздуха, приведенного к нормальным условиям (давлению 10<sup>5</sup> Па и температуре 20° С), к объему пропитывающей жидкости

$$X = \frac{(V_{\text{п}} - V_{\text{ж}}) \cdot (p_2 - p_{\text{н}}) - V_{\text{п}} p_1}{10^5 \cdot V_{\text{ж}}} \cdot 100 \%,$$

где  $V_{\text{п}}$  — полный объем сосуда, включая объем патрубков и манометра, см<sup>3</sup>;  $V_{\text{ж}}$  — объем пропитывающей жидкости, см<sup>3</sup>;  $p_1$  — давление в сосуде до впуска пропитывающей жидкости, Па;  $p_2$  — давление в сосуде в конце обезгаживания пропитывающей жидкости, Па;  $p_{\text{н}}$  — разность давлений, полученная при определении натекания сосуда, Па.

### Контрольные вопросы

1. Для чего необходимо производить очистку и обезгаживание пропитывающих жидкостей?
2. Какие методы применяют для очистки пропитывающих жидкостей?
3. Как готовят силикагель, глину и фильтровальную бумагу для очистки пропитывающих жидкостей?
4. Каким требованиям должны удовлетворять пропитывающие жидкости перед заливкой в конденсаторы?