

§ 39. Газы и пар. Понятие о вакууме

Согласно молекулярно-кинетической теории все окружающие нас вещества состоят из молекул и атомов, связанных между собой силами сцепления. В зависимости от величины этих сил вещество находится в твердом, жидком или газообразном состоянии.

Газообразные вещества вследствие теплового движения и очень слабой связи между молекулами неспособны самостоятельно сохранять ни форму, ни объем, а всегда занимают все предоставленное им пространство.

Состояние газа определяют тремя его параметрами — давлением p , объемом V и температурой T , связь между которыми выражается уравнением Менделеева — Клапейрона $pV=RT$, где R — постоянный коэффициент.

Понятия о температуре и объеме не требуют разъяснения. Давление может быть определено как сила, действующая на единицу поверхности, соприкасающейся с газом, и объясняется тем, что движущиеся молекулы ударяются об эту поверхность. Давление, производимое газом на стенки сосуда, зависит от числа молекул в единице объема, их массы и скорости движения.

За единицу давления принят паскаль (Па), что означает давление, вызываемое силой в один ньютон (Н), которая равномерно распределена по поверхности площадью 1 м^2 . Кратными единицами давления служат килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа).

Газообразное вещество называется газом, если его температура выше критической, и паром, если его температура ниже критической.

Критическая температура данного вещества — это такая температура, выше которой вещество может находиться только в газообразном состоянии; никаким сжатием превратить его в жидкость (сконденсировать) невозможно.

Если пар не находится в состоянии насыщения, к нему применимы газовые законы. Для насыщенных паров справедливость газовых законов, связанных с изменением параметров пара (давления, объема, температуры), нарушается.

В природе и технике постоянно наблюдаются взаимные превращения жидкости в пар (испарение) и пара в жидкость (конденсация).

Если испарение какого-либо вещества происходит в замкнутом сосуде, через некоторое время наступает состояние насыщения, т. е. устанавливается постоянное равновесное давление пара, несмотря на продолжающееся испарение. Насыщение наступает в тот момент, когда количество испаряющихся из жидкости молекул в единицу времени сравнивается с количеством молекул пара, конденсирующихся в жидкость за то же время. При этом устанавливаются постоянные плотность и давление насыщенного пара при неизменной температуре.

Жидкости и твердые вещества имеют определенные давления насыщенных паров, которые необходимо учитывать в вакуумной технике.

В отличие от газа давление насыщенного пара можно изменить только регулируя его температуру. При сжатии или расширении насыщенного пара (без изменения температуры) давление его остается неизменным, так как происходит соответственно или конденсация части пара, или дополнительное испарение.

Когда при повышении температуры источник пара полностью испарится, пар перестает быть насыщенным и при дальнейшем нагревании ведет себя как газ. Наоборот, охлаждение ненасыщенного пара приводит к образованию насыщенного пара, а затем к конденсации в жидкость и уменьшению плотности и давления насыщенного пара.

Если в замкнутом объеме содержится источник пара, а в различных участках объема температура различна, давление насыщенного пара будет определяться наиболее низкой температурой. В пространстве, отделенном от источника пара наиболее холодной стенкой, давление насыщенного пара источника устанавливается в полном соответствии с температурой этой холодной стенки. В пространстве же между наиболее холодной стенкой и источником пара, пока он не испарился полностью, происходит перегонка источника пара из наиболее нагретого в наиболее охлажденный участок системы.

Вакуум в переводе с латинского означает «пустота». В практике под вакуумом понимают состояние разреженного газа, которое характеризуется давлением ниже атмосферного (область давлений ниже 10^5 Па).

В зависимости от степени разрежения газа различают низкий, средний и высокий вакуум. Эти понятия являются относительными и определяются соотношением между средней длиной свободного пути молекул и линейными размерами сосуда, в котором заключен газ.

Под средней длиной свободного пути молекул понимают среднее расстояние, которое проходит молекула между двумя соударениями при своем непрерывном хаотическом движении. Если средняя длина свободного пути молекул значительно меньше линейных размеров сосуда, такое состояние газа называется низким вакуумом, если средняя длина свободного пути молекул значительно превышает линейные размеры сосуда, — высоким вакуумом.

Разреженность газа в сосуде, при которой средняя длина свободного пути молекул сравнима с линейными размерами сосуда, называется средним вакуумом.

Очевидно, что чем больше молекул в единице объема, тем чаще происходят их взаимные соударения и тем меньший путь проходит молекула между двумя соударениями. Следовательно, средняя длина свободного пути молекул обратно пропорциональна давлению газа.

В зависимости от соотношения между средней длиной свободного пути и размерами сосуда изменяются многие свойства газа и явления, происходящие в газовой среде. Например, с повышением вакуума увеличивается скорость испарения веществ. Наибольшая скорость испарения вещества будет в высоком вакууме, когда испарившиеся молекулы не возвращаются на поверхность, с которой происходит испарение.

Удаление газа из замкнутого объема, связанное с уменьшением в нем молекулярной концентрации и давления газа, называется процессом откачки. Газ из сосудов удаляют специальными вакуумными насосами.

§ 40. Влажность материалов. Способы сушки

Окружающий нас атмосферный воздух всегда содержит некоторое количество водяного пара.

Если сравнительно сухой материал поместить во влажный воздух, материал будет увлажняться, поглощая влагу из воздуха. Содержание влаги на единицу

массы материала со временем будет повышаться, пока не установится некоторое равновесное состояние влажности.

Наоборот, если в воздух той же относительной влажности поместить материал с высокой начальной влажностью, влажность материала будет уменьшаться, приближаясь также к равновесному состоянию влажности.



Для разных материалов значения равновесной влажности при одном и том же значении относительной влажности воздуха могут быть различными (рис. 51). Большое влияние на влажность материала оказывает температура. С повышением температуры равновесная влажность понижается. Например, для конденсаторной бумаги плотностью $0,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ при относительной влажности воздуха 60% с повышением температуры от 20 до 40°С равновесная влажность понижается от 9,5 до 7,3%.

Равновесная влажность материала при нормальной температуре воздуха, относительная влажность которого равна примерно 98%, называется влагопоглощаемостью материала, определяется отношением массы влаги в материале M_v к массе абсолютно сухого материала M_c и выражается в процентах:

$$w = \frac{M_v - M_c}{M_c} \cdot 100\%.$$

Малой влагопоглощаемостью обладают неполярные материалы (стирофлекс, полипропилен, парафин и др.). Весьма заметной влагопоглощаемостью отличаются сильно полярные материалы, особенно содержащие в составе молекул гидроксильные группы ОН (целлюлоза).

На влагопоглощаемость помимо химической природы материала большое влияние оказывает его строение, т. е. наличие и размер капиллярных промежутков внутри материала, в которых накапливается влага.

Сильно пористые материалы (в частности, волокнистые) поглощают больше влаги, чем материалы плотного монолитного строения. К сильно пористым волокнистым материалам, широко применяемым в конденсаторостроении, относят конденсаторную и кабельную бумагу, электрокартон и др., исходным сырьем для которых является древесная целлюлоза (клетчатка). Волокнистое строение этих материалов объясняет большое количество микрокапилляров в них радиусом $r < 10^{-5} \text{ см}$ и макрокапилляров радиусом $r > 10^{-5} \text{ см}$.

Микрокапилляры образуются зазорами между отдельными молекулами клетчатки и между пучками таких молекул, называемых мицеллами. Макрокапилляры образуются зазорами между скоплениями мицелл, представляющих собой элементарные волокна, называемые фибриллами, и зазорами между волокнами, построенными из фибрилл.

Увлажнение волокнистых материалов на первой стадии происходит вследствие того, что молекулы воды адсорбируются (поглощаются) внутренними и внешними поверхностями мицелл. Эта влага удерживается молекулярным силовым полем и прочнее всего связана с материалом. Поглощение адсорбционной влаги связано с изменением физико-механических свойств материала (сокращением объема волокон, выделением большого количества тепла и уменьшением прочности материала) и происходит при относительной влажности воздуха до 80—90%.

Количество адсорбционно связанной влаги в материалах волокнистого строения по массе составляет 11—15%. Например, для сульфатной целлюлозы при температуре 25°С оно равно 11—12%.

В результате прочной связи адсорбционной влаги с материалом изменяются и физические свойства этой влаги. Адсорбционная влага имеет более низкую температу-

ру замерзания, большую плотность и значительно меньшую диэлектрическую проницаемость. Так, например, адсорбционно связанная влага торфа имеет плотность 1,3—2,4, замерзает при температуре -70°C , диэлектрическая проницаемость ее 2,2 вместо 81 у обычной свободной воды. Электропроводность адсорбционной влаги практически равна нулю в отличие от электропроводности свободной воды.

Необходимо отметить, что не вся адсорбционно связанная влага имеет одинаковые свойства. Наиболее прочно связан с материалом мономолекулярный слой влаги (для конденсаторной бумаги он соответствует влажности 2—3%). Поэтому и свойства данного слоя влаги наиболее резко отличаются от свойств обычной воды. Последующие слои адсорбционной влаги удерживаются менее прочно, и свойства их постепенно приближаются к свойствам свободной воды. Поглощение адсорбционной влаги связано с выделением большого количества тепла.

На второй стадии увлажнения материал увлажняется в результате капиллярной конденсации паров при относительной влажности воздуха от 80 до 100%. Пар конденсируется благодаря тому, что давление насыщенных паров в капиллярах меньше давления насыщенных паров в окружающей среде. Давление насыщенных паров в капиллярах тем меньше, чем меньше их радиус. Так, например, при температуре 25°C в капилляре с радиусом $1,51 \times 10^{-7}$ см давление насыщенных паров воды на 50% ниже давления паров над плоской поверхностью, а в капилляре с радиусом 1×10^{-5} см — не отличается от давления насыщенных паров над плоской поверхностью. Поэтому пары воды конденсируются сначала в более узких капиллярах. При возрастании давления пара в окружающей среде влага конденсируется и в капиллярах увеличенного радиуса, что и объясняет рост количества воды, поглощаемой при повышении относительной влажности воздуха. Дальнейшее увлажнение материала возможно лишь в случае его непосредственного соприкосновения с водой.

Процесс удаления влаги сопровождается нарушением связи ее с материалом, на что затрачивается определенная энергия.

При производстве силовых конденсаторов обычно имеют дело с сушкой бумаги, влагосодержание которой

8—10%, т. е. с удалением лишь адсорбционно связанной влаги.

Сушка материалов является теплофизическим процессом удаления поглощенной влаги, сопровождающимся изменением технологических свойств материала.

Сушку материалов используют для различных целей: улучшения структурно-механических и термических свойств (кирпича, древесины, изоляционных материалов), увеличения теплотворной способности топлива, консервирования и хранения пищевых продуктов, улучшения электрических свойств изоляционных материалов и т. д.

На практике применяют следующие способы удаления влаги из материалов: физико-химический, механический и тепловой.

Физико-химический способ основан на поглощении влаги такими веществами, как хлористый кальций, известь, серная кислота, силикагель и др., обладающие большой способностью поглощать влагу из окружающей среды.

В некоторых случаях этот способ применяют для удаления влаги из газов и жидкостей.

Механический способ основан на удалении влаги из очень влажных материалов путем прессовки, отжима, центрифугирования и применяется в текстильной, бумажной и других отраслях промышленности.

Тепловым способом основан на удалении влаги из материала конденсацией, выпариванием и испарением.

Сушку конденсацией используют преимущественно для сушки влажных газов, сопровождающейся их охлаждением. Газ пропускают через холодильник с температурой более низкой, чем точка росы влажного газа. Пары, охлаждаясь, конденсируются, в результате чего уменьшается влагосодержание газа.

Сушка выпариванием состоит в том, что влага в материале доводится до температуры кипения, соответствующей давлению окружающего воздуха. Помимо давления температура кипения зависит от характера соединения влаги с материалом. В капиллярно-пористых материалах жидкость начинает кипеть при более низкой температуре, чем жидкость в сосуде, при одинаковом барометрическом давлении. И чем меньше радиус капилляров, тем ниже температура кипения. В случае интенсивного нагрева жидкость в капиллярах приходит в состояние

интенсивного парообразования (кипения) при температуре значительно меньше 100°C даже в условиях нормального барометрического давления.

Процесс сушки может быть значительно ускорен созданием вакуума в сосуде с высушиваемым материалом. При этом снижается точка кипения влаги в материале и обеспечивается интенсивный отвод выделяющихся паров. Сушка в вакууме в сочетании с высокими температурами обеспечивает высокую степень высушиваемости материала. Так, например, силовые конденсаторы сушат при $120\text{—}130^{\circ}\text{C}$ и давлении 1 Па и ниже.

Сушка выпариванием связана с потреблением тепла, необходимого для превращения влаги материала в пар. Для подвода тепла служит нагретый воздух или газы, нагретые разными способами металлические поверхности, соприкасающиеся с материалом или излучающие на него тепло на расстоянии, диэлектрический нагрев и др. Образующиеся пары отводятся воздухом, газами или путем откачки.

При нагреве от внешних тепловых источников полученное поверхностью материала тепло благодаря теплопроводности материала передается его внутренним слоям, т. е. происходит теплообмен. В этом случае температура поверхностных слоев материала выше температуры внутренних слоев.

Вместе с теплообменом в материале и между материалом и окружающей средой происходит влагообмен. Влага из внутренних слоев материала постепенно передвигается к наружным слоям, где она испаряется и в виде пара удаляется в атмосферу. Испарение влаги начинается с наружных слоев материала, в результате чего в течение всей сушки влажность внутренних слоев материала остается выше влажности наружных слоев. Таким перепадом влажности, действующим от центра к наружным слоям, и объясняется в основном перемещение влаги внутри материала. Влагообмен между материалом и окружающей средой вызывается разностью парциальных давлений пара у поверхности материала и в окружающей среде. Чтобы происходило испарение, парциальное давление пара в окружающей среде должно быть ниже парциального давления пара у поверхности материала. Теплообмен и влагообмен тесно связаны между собой и определяют скорость сушки, ее качество и экономичность.

§ 41. Назначение вакуумной сушки и пропитки конденсаторов

Применяемая для изготовления конденсаторов конденсаторная бумага в нормальных условиях содержит примерно 10% влаги по массе и 15—45% воздуха по объему. Бумага с таким содержанием воздуха и в особенности влаги характеризуется очень низкими электроизоляционными свойствами и поэтому не может быть применена в качестве диэлектрика в конденсаторах. По мере удаления влаги электроизоляционные свойства бумаги улучшаются.

Для сухой бумаги электрическая прочность при переменном токе достигает 30—60 В/мм, тангенс угла диэлектрических потерь уменьшается до 0,10—0,12%, а удельное сопротивление возрастает до значений порядка 10^{15} Ом·м. Следовательно, для получения конденсаторов с высокими электрическими характеристиками из бумажного диэлектрика прежде всего должна быть полностью удалена влага. Однако удаление из диэлектрика только влаги не может обеспечить высокое качество конденсаторов, так как содержащийся в порах бумаги воздух отличается низкой по сравнению с клетчаткой электрической прочностью. Поэтому воздух, как и влага, также должен быть полностью удален из пор бумаги. Синтетические пленки не содержат влаги. Однако для повышения диэлектрических свойств необходимо удалять адсорбированную на поверхности пленки влагу и воздух, содержащиеся между слоями диэлектрика. Наиболее эффективным способом удаления влаги и воздуха является вакуумная сушка конденсаторов.

После удаления влаги и воздуха конденсаторы пропитывают жидкими диэлектриками, которые, заполняя свободные от влаги и воздуха поры бумаги и зазоры между слоями диэлектрика, в значительной степени повышают их электрическую прочность. Это происходит потому, что электрическая прочность пропитывающих жидкостей выше электрической прочности воздуха.

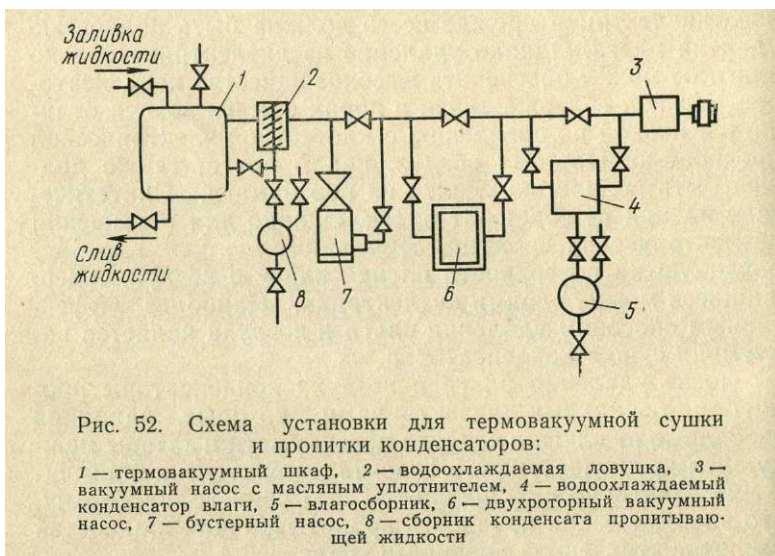
Кроме того, пропитывающие жидкости, обладающие более высокой по сравнению с воздухом диэлектрической проницаемостью, увеличивают диэлектрическую проницаемость бумаги. Благодаря этому емкость конденсатора после пропитки также увеличивается. При пропитке минеральным маслом с диэлектрической проницаемостью

2,2 емкость конденсатора увеличивается в 1,5—1,7 раза, а при пропитке ТХД с диэлектрической проницаемостью 5—5,9 емкость конденсатора возрастает в 2—2,5 раза.

Процесс вакуумной сушки и пропитки занимает до 80% всего технологического времени изготовления силовых конденсаторов и связан с большой затратой энергии при удалении влаги из бумаги. Этот процесс является наиболее ответственным этапом технологии производства конденсаторов, так как он главным образом определяет качество и надежность конденсаторов в эксплуатации.

§ 42. Установки для термовакuumной сушки и пропитки конденсаторов

Для сушки и пропитки конденсаторов применяют термовакuumные установки периодического действия, в которых сушка и пропитка происходят в одном и том же шка-



ров, используют более простые установки (рис. 53). При этом в установках окончательной сушки и пропитки отпадает необходимость в конденсаторе влаги и влагосорбнике.

Основным видом оборудования, входящего в состав каждой установки, являются термовакuumный шкаф для сушки и пропитки конденсаторов, вакуумные насосы, конденсаторы влаги и паров пропитывающей жидкости. Кроме того, установку оснащают различной измерительной и регулирующей аппаратурой.

Термовакuumные установки размещают в специальных зданиях и снабжают подъемно-транспортными сред-



ствами для загрузки и выгрузки конденсаторов. Цех термовакuumной сушки и пропитки конденсаторов показан на рис. 54.

В настоящее время процесс сушки и пропитки максимально автоматизируют. Каждую такую установку снабжают пультом управления, где размещают приборы для измерения температуры и вакуума. Все приборы на пульте связывают общей схемой автоматики, которая обеспечивает непрерывный контроль за вакуумом и температурой и поддерживает их на уровне, установленном технологическим процессом. Автоматизированные установки позволяют без вмешательства обслуживающего персонала осуществлять наивыгоднейший режим сушки, а также производить заливку, пропитку, осушку и охлаждение конденсаторов перед выгрузкой.

На пультах размещают также защитную аппаратуру, позволяющую при перерыве подачи электроэнергии, теплоносителя или охлаждающей воды отключать насосы и автоматически закрывать соответствующие затворы установки. Защитная аппаратура не только предотвращает

выход из строя насосов, но и позволяет сравнительно длительное время поддерживать в шкафу установленный вакуум и температуру без нарушения режима обработки конденсаторов.

При вакуумной сушке и пропитке конденсаторов стремятся к снижению давлений до 10^{-1} — 10^{-2} Па. Применение вакуума при таких остаточных давлениях позволяет

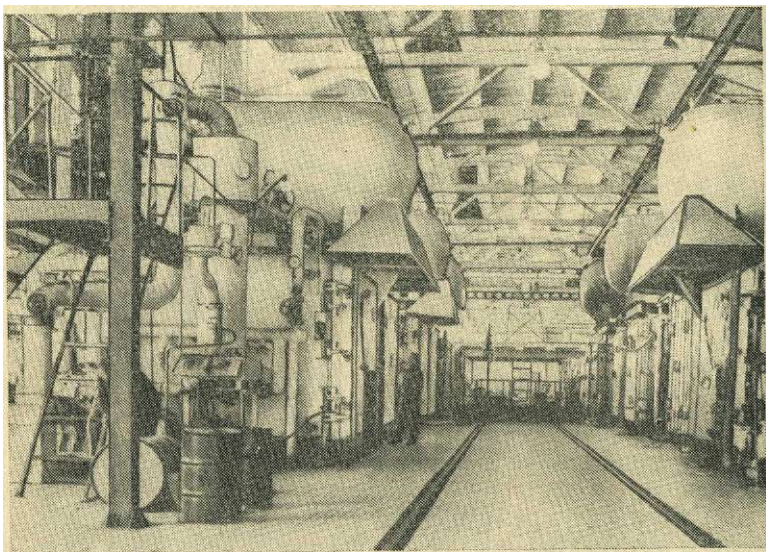


Рис. 54. Цех термовакuumной сушки и пропитки конденсаторов

получать конденсаторы с высокими и стабильными характеристиками. Необходимость получения столь высокого вакуума в установках для сушки и пропитки конденсаторов потребовала применения насосов трех видов: механических с масляным уплотнением, двухроторных и бустерных.

В настоящее время освоено производство специальных высокопроизводительных вакуумных насосов, запорной арматуры и регулирующей аппаратуры, которые должны полностью удовлетворить потребности конденсаторного производства.

§ 43. Термовакuumный шкаф

Для термовакuumной сушки и пропитки конденсаторов применяют шкафы прямоугольной формы.

На рис. 55 показан типовой прямоугольный термовакuumный шкаф с полезным объемом 12 м^3 , представляющий собой сварную конструкцию из листовой стали.

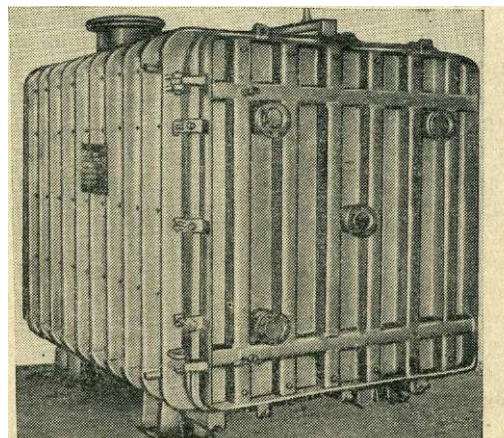


Рис. 55. Термовакuumный шкаф для сушки и пропитки конденсаторов

С одной торцевой стороны он снабжен герметически закрывающейся крышкой. В верхнюю стенку шкафа вварены ввод для подключения вакуумных насосов и патрубки для впуска пропитывающей жидкости, подключения измерительной аппаратуры (чтобы измерять температуру и вакуум) и впуска воздуха из атмосферы. В нижнюю часть шкафа вварен патрубок, через который сливают пропитывающую жидкость после пропитки конденсаторов. Для наблюдения за процессом сушки и пропитки конденсаторов шкаф имеет шесть смотровых окон, расположенных на крышке и задней стенке.

Все стенки шкафа по наружной поверхности опоясаны П-образными ребрами жесткости. Ребра жесткости герметично приварены к стенкам и вместе с ними образуют каналы, по которым пропускают теплоноситель для обо-

грева шкафа. В качестве теплоносителя применяют водяной пар или специальную жидкость.

Крышка шкафа имеет самостоятельный обогреватель. Теплоноситель для обогрева крышки подают при помощи гибких шлангов. Каналы шкафа и крышки рассчитаны на рабочее давление теплоносителя 5×10^5 Па и рабочую температуру 150°C .

В соответствии с требованиями Котлонадзора каналы шкафа при испытаниях должны выдерживать гидравлическое давление 9×10^5 Па. Их часто используют для охлаждения конденсаторов после окончания сушки перед заливкой, а также после пропитки, что позволяет сократить время процесса. Снаружи весь шкаф и крышка обмурованы теплоизоляцией.

Для загрузки конденсаторов на сушку и пропитку внутри шкафа помещают прямоугольную платформу, которая может свободно передвигаться по рельсам, укрепленным на нижней стенке шкафа. Конденсаторы можно загружать как непосредственно на платформу, так и в ванну, устанавливаемую на этой платформе. Для слива жидкости после пропитки в дне ванны предусмотрен сливной патрубок, соединяемый со сливным патрубком шкафа, что позволяет удалять пропитывающую жидкость, не открывая крышки.

Поскольку шкаф предназначен для работы при высоком вакууме (до 10^{-2} Па) и температуре до 150°C , к нему предъявляют высокие требования в отношении герметичности. Разъемные и неразъемные места уплотнений в виде фланцевых соединений и сварных швов выполняют с особой тщательностью. Большую трудность представляет обеспечение надежного уплотнения шкафа с крышкой, так как длина уплотнения по периметру составляет около 9 м.

Разъемные соединения шкафов, используемых для пропитки конденсаторов маслами, уплотняют при помощи масло- и температуростойкой резины. В шкафах, применяемых для пропитки конденсаторов хлорированными дифенилами, разъемные соединения уплотняют силиконовой резиной, так как обычная резина при соприкосновении с хлорированными дифенилами или их парами быстро разрушается и загрязняет пропитывающую жидкость. Чтобы обеспечить надежное уплотнение, резину закладывают в специально проточенные и шлифованные пазы мест соединения. Для обеспечения сжатия

резины в пределах упругой деформации предусмотрены ограничители.

Внутренняя поверхность шкафа, а также поверхности всех деталей, находящихся внутри него (ванны, платформы), должны быть хорошо обработаны. Наличие на этих поверхностях шероховатостей и раковин затрудняет получение высокого вакуума вследствие их газовыделения.

Применяют также шкафы с электрическим обогревом. В этом случае шкафы выполняют одностенными. Нагревательные элементы в виде стальных труб расположены на внутренних поверхностях шкафа, между ними и стенками шкафа находятся листы из алюминия или белой жести для отражения лучистой энергии к конденсаторам. Шкафы с электрическим обогревом позволяют автоматически регулировать температуру. В то же время повышается электроопасность обслуживания и не обеспечивается равномерное распределение температуры в процессе сушки конденсаторов, что ограничивает использование этих шкафов.

§ 44. Газобалластный вакуумный насос ВН-6Г

В установках для термовакуумной сушки и пропитки конденсаторов из механических насосов применяют преимущественно золотниковые насосы ВН-6Г с газобалластным устройством. Их используют и самостоятельно для непосредственной откачки паровоздушной смеси из шкафа, и для создания форвакуума при работе насосов более высокого вакуума. Устройство и принцип действия золотниковых насосов показаны на рис. 56. На вал эксцентрично насажен ротор 2, заключенный в обойму 1, от которой отходит открытый сверху полый параллелепипед 5 с отверстиями 7 в одной из его широких боковых сторон. Во время вращения ротора обойма катится, частично проскальзывая по стенке камеры статора 8, а параллелепипед совершает колебательные движения, скользя вверх и вниз в золотнике 6. При таком движении обойма одновременно выполняет двойную работу — всасывает откачиваемый газ через верхнее отверстие параллелепипеда и отверстие 7 и выбрасывает его через патрубок 4 с клапаном 3.

Насосы обычной конструкции непригодны для откачки паров воды, так как в период сжатия откачиваемые

пары полностью или частично конденсируются в камере сжатия. Конденсация паров происходит потому, что при температуре работающего насоса ($\sim 60^\circ\text{C}$) не могут быть достигнуты давления паровоздушной смеси, необходимые для открытия выпускного клапана до образования насыщенных паров.

Образующаяся вода остается в насосе и, увлажняя масло, снижает его вязкость. Увлажненное (в виде эмульсии) масло проникает на сторону впускного патрубка и, испаряясь, снова попадает в сосуд, из которого производится откачка. Между упругостью паров воды в насосе и в сосуде устанавливается равновесие, которое приводит к прекращению откачки. Кроме того, вода растворяет и активирует кислоты, содержащиеся в масле, в результате происходит окисление и осмоление масла и металлических деталей насоса, что вызывает снижение предельного вакуума насоса и выход из строя самого насоса. Поэтому механические насосы, предназначенные для откачки газов с парами воды, снабжаются газобалластными устройствами и называются газобалластными, конденсация откачиваемого пара в которых предотвращается тем, что через специальное отверстие в камеру сжатия вводится воздух из атмосферы (балластный газ), создающий давление, необходимое для открытия выпускного клапана до наступления конденсации паров.

Атмосферный воздух вводится в камеру в момент начала периода сжатия. При сжатии давление в камере будет складываться из парциальных давлений откачиваемых паров и газов и давления балластного газа. Количество впускаемого воздуха регулируется специальным дозирующим устройством таким образом, чтобы давле-

ние, достаточное для открытия выпускного клапана, достигалось прежде, чем парциальное давление паров станет равным давлению насыщения.

Насос ВН-6Г представляет собой вращательный двухроторный (двухплунжерный) параллельного действия насос с масляным уплотнением, водяным охлаждением и принудительной смазкой, который состоит из трех основных частей, смонтированных на общей чугунной фундаментной плите: самого насоса, электродвигателя и бака для масла с отстойником.

Во избежание конденсации паров воды при их сжатии насос снабжен газобалластным устройством для впуска атмосферного воздуха (балластного газа) в роторные камеры.

Стенки корпуса насоса выполнены полыми для подачи охлаждающей воды. Вода подается в нижнюю часть корпуса, а сливается из верхней части. Трубопровод, подводящий охлаждающую воду, снабжен вентилем для регулирования подачи воды.

Бак для масла предназначен для принудительной подачи масла в насос и отделения откачиваемого насосом газа от масла. Устройство насосов ВН-6Г подробно приводится в техническом описании и инструкции по эксплуатации.

Основные характеристики насоса ВН-6Г приведены в табл. 10. Газобалластное устройство позволяет насосу перекачивать пары воды с давлением на входе в насос до 670 Па. Насос способен перекачивать в 1 ч такое количество паров, которое соответствует 2,5 л воды.

Для герметизации уплотнения и смазки механизмов насоса используют масло ВМ-4. Расход охлаждающей воды с температурой на входе в насос от 8 до 18°C составляет 700—1000 л/ч.

Приводом насоса служит асинхронный электродвигатель трехфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором на напряжение сети 220/380 В. Потребляемая насосом мощность (1) и средняя быстрота откачки (2) в зависимости от создаваемого им вакуума показаны на рис. 57.

При непрерывной откачке газа и паровоздушной смеси от давления 10^5 Па (атмосферного) объем откачиваемого сосуда может быть до 20 м^3 , если натекание атмосферного воздуха в сосуд отсутствует. В случае откачки из сосуда емкостью более 20 м^3 давление во входном от-

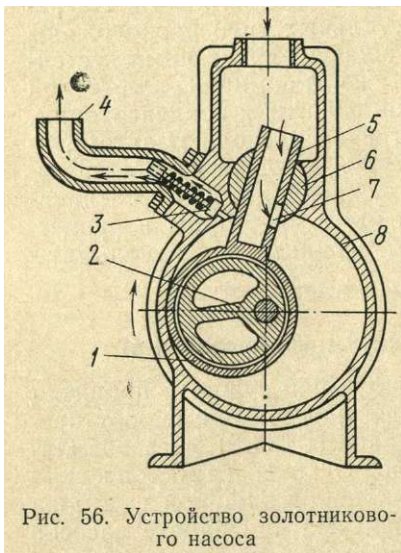


Рис. 56. Устройство золотникового насоса

Таблица 10. Основные технические характеристики газобалластных вакуумных насосов

Характеристика	Марка насоса					
	ВН-4Г	ВН-6Г	НВЗ-75	НВЗ-50Д	НВЗ-150	НВЗ-100Д
Быстрота откачки в интервале давлений 10^5 — 10^2 Па, л/с . . .	59—40	155—117	75	50	150	100
Предельное остаточное давление, Па: полное	—	—	6,7	$6,7 \times 10^{-1}$	6,7	$6,7 \cdot 10^{-1}$
парциальное по воздуху	$6,7 \times 10^{-1}$	1,3	$2,7 \times 10^{-1}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$
с наибольшим напуском газобалласта	133	133	6,7	6,7	400	6,7
паров воды на входе	670	670	2350	2350	2350	2350
Количество масла, заливаемого в насос, л	17	55	12	10	24	20
Расход охлаждающей воды, л/ч . . .	300	1000	600	600	1300	1300
Мощность двигателя, кВт	7	20	8,5	6	12,0	9,5
Размеры, мм:						
длина	1315	1520	1430	1430	1720	1720
ширина	770	980	650	650	940	940
высота	1320	1790	1165	1165	1075	1075
Масса, кг	617	1490	700	700	970	1000

верстии насоса может превышать 13 кПа в течение не более 5 мин. Длительная непрерывная откачка при давлении во всасывающем отверстии выше 13 кПа не допускается.

Если откачивают сосуды больших объемов, давление во входном отверстии в допустимых пределах обычно регулируют постепенным открыванием вакуумных клапанов, устанавливаемых между насосом и сосудом.

Пуск насоса необходимо производить в следующем порядке:

проверить и убедиться, что вентили масломерного стекла и верхний вентиль отстойника открыты (масла в баке достаточно, если его уровень в масломерном стекле виден в пределах прорези кожуха);

открыть вентиль трубопровода, подводящего к насосу охлаждающую воду;

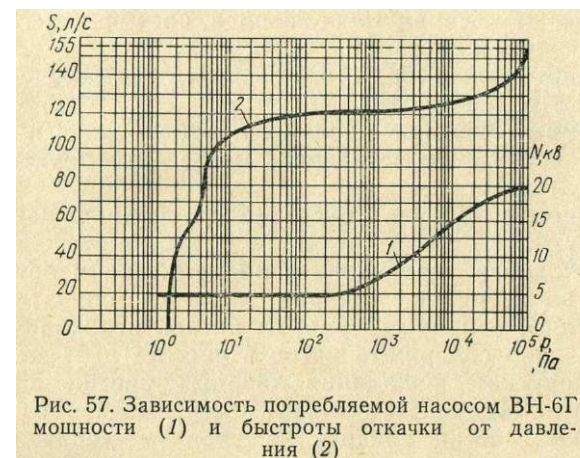


Рис. 57. Зависимость потребляемой насосом ВН-6Г мощности (1) и быстроты откачки от давления (2)

включить электродвигатель насоса, после чего не позже чем через минуту открыть вентиль масляного трубопровода; если вентиль масляного трубопровода был открыт и масло из бака натекло в насос, он не может быть пущен без предварительного удаления этого масла (для удаления избытка масла необходимо открыть вентиль масляного трубопровода и повернуть шкив насоса на 10—15 полных оборотов вручную усилием двух человек с помощью рычага длиной 1200 мм; масло из насоса будет поступать в бак, что можно проверить по повышению уровня масла в масломерном стекле); только после перекачки избытка масла из насоса в бак включают электродвигатель;

открыть дозатор, повернув его маховичок против часовой стрелки (количество делений, на которое должен быть повернут маховичок, определяется давлением откачиваемых паров воды; при давлении паров воды на входе в насос 100—670 Па маховичок поворачивают на все 10 делений, т. е. на один полный оборот);

открыть клапан трубопровода, соединяющего насос с откачиваемой системой (клапан открывают через 1 ч после пуска насоса, чтобы обеспечить его прогрев и исключить возможность конденсации паров воды в начале работы).

Остановку насоса необходимо производить в такой последовательности:

перекрыть клапан трубопровода, соединяющего насос с откачиваемой системой;

перекрыть дозатор, т. е. повернуть его маховичок по часовой стрелке до отказа;

перекрыть ventиль масляного трубопровода и не позже чем через 30 с остановить насос (выключить электродвигатель);

перекрыть ventиль трубопровода, подводящего воду к насосу.

Соблюдение указанного порядка пуска и остановки насоса во избежание аварии является обязательным. Кроме того, в процессе работы насоса необходимо:

постоянно содержать насос в чистоте;

не допускать попадания твердых частиц в насос, в противном случае он может быть выведен из строя;

систематически следить за уровнем масла в баке и периодически заменять его, так как с течением времени масло загрязняется и увлажняется;

периодически промывать бак; для удобства снимают крышку бака и разбирают маслоотбойник;

систематически следить за тем, чтобы ventили масломерного стекла всегда были открыты (иначе уровень масла в масломерном стекле не будет соответствовать уровню масла в баке, что может привести к аварии);

систематически следить за охлаждением, не допуская перегрева насоса (подача воды в насос должна быть отрегулирована так, чтобы температура масла в баке не превышала 80°C);

проверять состояние ремней и в случае необходимости заменять их новыми;

своевременно открывать и устанавливать на необходимое деление дозатор (при откачке паров воды во избежание увлажнения масла в насосе) и не реже одного раза в день промывать сетку на его впускном отверстии; в случае увлажнения масла в насосе, что обнаруживают по ухудшению вакуума и по изменению внешнего вида масла, надо открыть дозатор полностью (уско-

рить удаление воды из масла можно перекрытием клапана на трубопроводе, соединяющем насос с откачиваемой системой, при работе насоса на себя с полностью открытым дозатором); об удалении воды из масла можно судить по восстановлению остаточного давления, которое при работе насоса на себя при полностью открытом дозаторе не должно превышать 130 Па;

периодически сливать воду из отстойника; ventиль для слива воды из отстойника надо открывать, перекрыв предварительно его верхний ventиль (в противном случае в открытый нижний ventиль будет поступать наружный воздух и, перемешивая масло с водой, увлекать воду из отстойника в бак, что может привести к ухудшению вакуума в системе);

периодически с помощью металлического стержня прослушивать работу насоса; при обнаружении биений во избежание аварии необходимо остановить насос для осмотра.

В последнее время разработана новая серия одно- и двухступенчатых газобалластных насосов НВЗ (насос вакуумный золотниковый), изготовленных взамен насосов ВН-4Г и ВН-6Г. Технические характеристики этих насосов приведены также в табл. 10. В отличие от ВН-4Г и ВН-6Г насосы новой серии допускают парциальное давление паров воды на входе в насос 2,35 кПа вместо 0,67 кПа. Эти насосы унифицированы, в них улучшены уплотнения между камерами и система смазки, а также уменьшены масса и габариты. Насосы в двухступенчатом варианте позволяют получить предельное остаточное давление по воздуху на два порядка ниже.

§ 45. Двухроторные вакуумные насосы

В процессе вакуумной сушки конденсаторов, когда работа газобалластных вакуумных насосов становится неэффективной, используют двухроторные вакуумные насосы, устройство которых показано на рис. 58. Рабочая камера 4 насосов образуется корпусом 3 и профильными роторами 1, синхронно вращающимися в противоположных направлениях.

Форма и синхронное вращение роторов подобраны таким образом, чтобы между самими роторами, а также между роторами и стенками корпуса постоянно сохранялся небольшой зазор (0,1—0,15 мм), не уплотняемый

маслом. При вращении роторы поочередно захватывают порцию газа со стороны впускного отверстия 5 и выталкивают его в выпускное отверстие 2.

Чтобы через зазоры в откачиваемый объем не проходило большое количество газа, на стороне выпускного отверстия создают форвакуум. Работа насосов становится эффективной, если на стороне выпускного отверстия достигается остаточное давление не выше 100 Па, поскольку длина свободного пути молекул газа становится сравнима с шириной зазоров или выше ее. В качестве форвакуумных насосов применяют механические вакуумные насосы. Двухроторные насосы допускают боль-

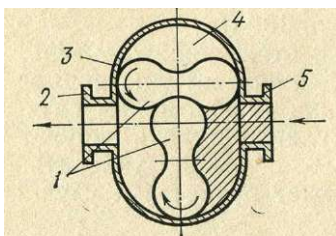


Рис. 58. Устройство двухроторного объемно-молекулярного насоса



Рис. 59. Двухроторный вакуумный насос 6ДВН-500

шую частоту вращения (до 3000 об/мин), имеют быстроту действия до 5000 л/с и при достаточно низком выпускном давлении позволяют достигать предельного остаточного давления 1—0,1 Па.

При вакуумной сушке конденсаторов используют насосы 6ДВН-500 (рис. 59) и 6ДВН-1500 для откачки паровоздушной смеси в шкафах при давлении от 400 до 10 Па, техническая характеристика которых приведена ниже. Для создания форвакуума применяют насос ВН-6Г.

Техническая характеристика насосов

	6ДВН-1500	6ДВН-500
Быстрота откачки при входном давлении 100 Па не менее, л/с	1500	500
Предельное остаточное давление, Па	0,5	0,5
Мощность электродвигателя, кВт	7,1	3,6
Расход охлаждающей воды не более, л/ч	720	360
Марка смазочного масла	ВМ-4	ВМ-4
Масса, кг	900	620

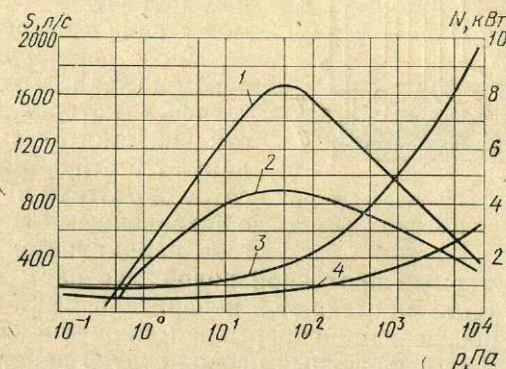


Рис. 60. Зависимость быстроты откачки (кривые 1 и 2) и потребляемой мощности (кривые 3 и 4) от давления:
1 и 3 — для насоса 6ДВН-1500, 2 и 4 — для насоса 6ДВН-500

Зависимость потребляемой мощности и быстроты откачки насосов от давления приведена на рис. 60. Обслуживание насоса во время работы сводится к наблюдению за давлением на входе в него, уровнями масла, подачей охлаждающей воды и характером его шума. Резкое изменение шума в насосе свидетельствует о неисправностях.

§ 46. Бустерные насосы

Бустерный — это средневакуумный пароструйный насос, работающий на использовании откачивающего действия струи пара рабочей жидкости как за счет диффузии газа в струю, так и благодаря турбулентно-вязкостному увлечению газа.

На рис. 61 показано устройство двухступенчатого пароструйного насоса. Рабочая жидкость 7 в испарителе

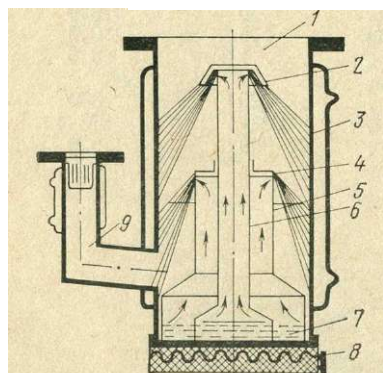


Рис. 61. Устройство диффузионного пароструйного насоса

нагревается подогревателем 8. Образующийся пар поднимается по паропроводам 5 и 6 и со скоростью, превышающей скорость звука, через зонтичные сопла первой 2 и второй 4 ступеней выходит в виде струй, направленных под углом к охлаждаемой стенке 3 насоса.

Насос соединяется с сосудом впускным отверстием 1, через которое молекулы откачиваемого газа диффундируют в струю пара и уносятся ею. Струя пара вместе с захваченными молекулами газа направляется на стен-

ки, охлаждаемые проточной водой, где пары конденсируются и каплями стекают в испаритель. Таким образом в насосе обеспечена непрерывная циркуляция рабочей жидкости. Газ, увлеченный первой струей пара, проникает во вторую струю, действие которой аналогично первой. Из второй струи газ выбрасывается через выпускной патрубок 9 и удаляется обычно механическим насосом предварительного разрежения. Чтобы пары рабочей жидкости не проходили вместе с откачиваемым газом через выпускной патрубок, он также охлаждается проточной водой.

Предельное остаточное давление, быстрота действия, и другие параметры насосов зависят от их конструкции и свойств рабочих жидкостей, в качестве которых применяют ртуть или органические масла. Современные пароструйные насосы обеспечивают скорость откачки от 100 до 10 000 л/с и выше.

Из бустерных насосов в термовakuумных установках применяют многоступенчатые насосы БН-2000 и БН-4500, предназначенные для удаления остатков влаги и газов при вакуумной сушке и пропитке конденсаторов. В последнее время разработаны новые бустерные насосы НВБМ (насос вакуумный бустерный паромасляный) взамен существующих. Техническая характеристика этих насосов приведена ниже.

Техническая характеристика насосов

	БН-4500	БН-2000	НВБМ-5	НВБМ-2,5
Предельное остаточное давление, Па	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Быстрота откачки воздуха при давлении $1 \cdot 10^{-4}$ Па, л/с	4500	2000	5000	2500
Наибольшее выпускное давление, Па	133	270	200	200
Количество рабочей жидкости, заливаемой в насос, л	20	16	50	30
Рекомендуемая рабочая жидкость	Масло Д1-Г	ВМ-3	ВМ-3	ВМ-3
Расход охлаждающей воды при температуре на входе 15—20°С, л/ч	1100	450	600	360
Рекомендуемый механический насос предварительного разрежения	ВН-6Г	ВН-6Г	ВН-6Г	ВН-6Г
Мощность электронагревателя при напряжении 380 В, кВт	25	7,5	12	6
Схема соединения электронагревателя	звезда	однофазная	—	—
Габаритные размеры: высота, мм	2112	1877	—	—
площадь в плане, мм ²	940×800	929×666	—	—
Масса, кг	400	266	390	235
Внешние диаметры, мм, присоединительных фланцев:				
входного	600	340	—	—
выходного	245	170	—	—

Насосы БН-2000 и БН-4500 включают в работу после того, как из конденсаторов механическими насосами предварительно удаляют основную массу влаги и остаточное давление в шкафу доведут до 10—30 Па.

При использовании бустерных насосов возможно получить в шкафах остаточное давление в конце сушки 1—0,1 Па и, следовательно, ускорить и значительно улучшить сушку конденсаторов. Зависимость быстроты откачки от создаваемого насосом остаточного давления показана на рис. 62.

Для работы насос устанавливают вертикально. Перед установкой его необходимо полностью разобрать, тщательно промыть все детали паропровода, маслоотра-

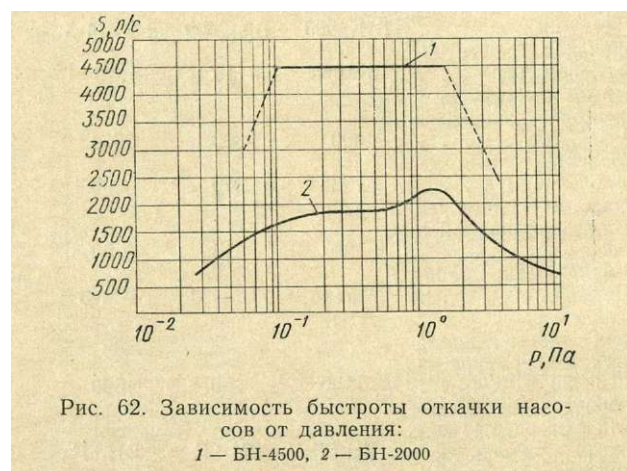


Рис. 62. Зависимость быстроты откачки насосов от давления:
1 — БН-4500, 2 — БН-2000

жателя, ловушки и внутренней части корпуса четыреххлористым углеродом или бензином высшего качества и просушить. На внутренних стенках корпуса и деталях насоса не должно оставаться ворсинок от обтирочного материала. Порядок разборки и сборки насоса указывается в инструкции завода-изготовителя.

После сборки насос присоединяют к вакуумной системе и заливают рабочей жидкостью. В случае применения насоса для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов в качестве рабочей используют пропитывающую жидкость.

Проточную воду для охлаждения насоса подводят так, чтобы обеспечить полное омывание охлаждаемых стенок. Для этого трубки, подводящие воду, присоединяют к нижним штуцерам корпуса и штуцеру масляной ловушки насоса.

Для контроля мощности, потребляемой нагревателем насоса, в цепи нагревателя устанавливают электроизмерительные приборы (амперметры и вольтметры).

Перед пуском насос прежде всего должен быть проверен на натекание. С помощью механического насоса создают в нем при закрытом входном клапане разрежение от 10 до 1 Па. Затем, перекрыв клапан со стороны выпускного патрубка, проверяют насос на натекание, которое не должно превышать $0,25 \text{ л} \times \text{Па/с}$. При обнаружении течи необходимо устранить.

Насос включают в работу при остаточном давлении в откачиваемой системе не более 100 Па. Сначала открывают клапаны со стороны входного и выходного фланцев насоса. Затем включают водяное охлаждение и лишь после этого подсоединяют электронагреватель к сети. В первые несколько минут после включения электронагревателя вакуум в системе может ухудшиться вследствие выделения газов, растворенных в рабочей жидкости. Выделение газов из рабочей жидкости происходит особенно сильно, если насос длительное время сообщался с атмосферой, так как рабочая жидкость в холодном состоянии способна растворять достаточно большое количество воздуха.

Если к электронагревателю подводится требуемая мощность и в вакуумной системе создан необходимый форвакуум, насос начинает работать через 30—40 мин после включения электронагревателя. Момент начала работы насоса может быть определен по снижению давления в откачиваемой системе.

В процессе работы насоса необходимо:

следить за величиной остаточного давления в откачиваемой системе, не допускать резкого повышения давления или попадания атмосферного воздуха в горячий насос; попадание воздуха в работающий насос приводит к быстрому окислению рабочей жидкости, что вызывает нарушение режима работы и ухудшение предельного остаточного давления;

следить за температурой охлаждающей воды на выходе из системы охлаждения насоса, которая не должна превышать 30°C ;

следить по показаниям амперметров за потреблением тока электронагревателем.

При нарушениях режима работы насос необходимо немедленно отключить.

Насос останавливают в следующем порядке: перекрывают клапан со стороны откачиваемого сосуда; выключают электронагреватель; корпус насоса охлаждают так, чтобы температура рабочей жидкости в испарителе снизилась до 50—60° С; перекрывают клапан со стороны выпускного патрубка и в случае необходимости выключают механический насос; прекращают подачу охлаждающей воды. Во избежание аварии порядок пуска и остановки насоса необходимо строго соблюдать.

При продолжительной непрерывной работе насоса предельное остаточное давление может ухудшиться вследствие разложения или загрязнения рабочей жидкости. В этом случае, а также в случае попадания атмосферного воздуха в горячий насос при авариях или из-за недосмотра насос следует отключить от откачиваемого сосуда и разобрать. Все полости и детали насоса необходимо промыть и залить его новой рабочей жидкостью.

§ 47. Конденсаторы влаги и паров пропитывающей жидкости

Вакуумные насосы, очень хорошо удаляя газы из вакуумной системы, не обладают достаточной эффективностью для удаления паров воды и других жидкостей. Рассмотренный ранее насос ВН-6Г с газобалластным устройством может перекачивать пары воды в пересчете на воду только в количестве 2,5 л/ч. Однако выделение влаги при сушке конденсаторов во много раз превышает скорость откачки ее насосом.

Масса бумаги конденсаторов, загружаемых в шкаф объемом 12 м³, составляет 1,5—2 т. Из этого количества бумаги при ее исходной влажности 8—10% за сравнительно короткое время удаляется до 100—150 л воды. В отдельные моменты сушки интенсивность выделения влаги составляет до 30 л/ч, что в переводе на пары воды при давлении 130 Па соответствует 30 000 м³/ч. Для откачки такого количества паров воды понадобилось бы установить 7—8 насосов ВН-6Г.

Чтобы обеспечить необходимую скорость откачки паров воды и ограничить в допустимых пределах количество паров, поступающих в вакуумный насос, между сушильным шкафом и насосом устанавливают конденсатор влаги. В нем конденсируется основная масса паров воды, которые выделяются из конденсаторной бу-

маги в процессе сушки. Когда основная масса воды выделится из бумаги, конденсатор обычно с помощью клапанов отключают от вакуумной системы и дальнейшую откачку производят насосом.

Для конденсации паров воды при вакуумной сушке конденсаторов используют кожухотрубные конденсаторы влаги с водяным охлаждением. На рис. 63 показан вертикальный одноходовой кожухотрубный конденсатор влаги, представляющий собой цилиндрический кожух 6, в котором размещена трубчатка 10, состоящая из двух трубных решеток 2 и пучка трубок 1, развальцованных в решетках. С торцов кожух конденсатора ограничен днищами 4 и 11 с патрубками 3 и 9 для подключения к вакуумной системе и патрубком 12 для подключения к сборнику конденсата. Чтобы подводить и отводить охлаждающую воду, в кожух вварены патрубки 5. Отдельные элементы конденсатора соединяются фланцами 8 на болтах. Для установки конденсатора служат лапы 7, приваренные к кожуху.

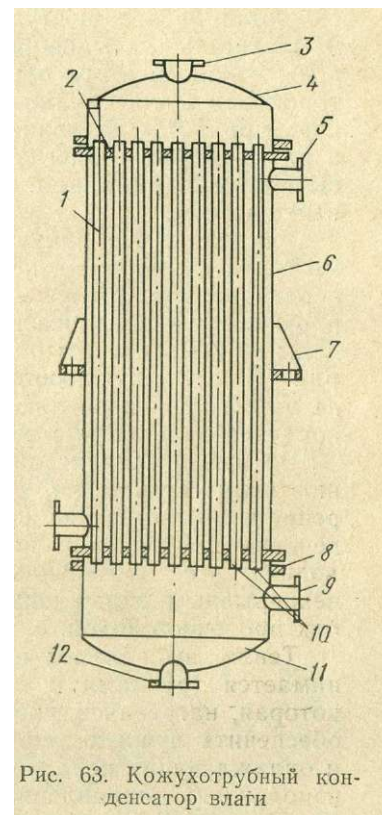


Рис. 63. Кожухотрубный конденсатор влаги

Конденсация паров воды в конденсаторе происходит следующим образом. При откачке насосом пары воды, выделяющиеся во время сушки конденсаторов, из шкафа поступают в конденсатор влаги. Проходя через омываемые холодной водой трубки, пары охлаждаются.

Первоначальное охлаждение ненасыщенных паров приводит к образованию насыщенных, а дальнейшее охлаждение—к конденсации насыщенных паров в жидкость и уменьшению их плотности и давления. Конденсирую-

щиеся пары осаждаются на поверхности трубок в виде пленки, и конденсат стекает на дно конденсатора влаги, а затем в сборник.

При прохождении через конденсатор влаги конденсируются не все поступающие пары воды. Давление и плотность насыщенных неконденсирующихся паров воды в конденсаторе определяется температурой, до которой они были охлаждены водой. Например, при температуре 10° С давление насыщенных паров 1,21 кПа, а их плотность — 9,39 г/м³. Несконденсировавшиеся насыщенные пары вместе с газами откачиваются вакуумным насосом.

Учитывая, что вакуумный насос ВН-6Г, применяемый для сушки конденсаторов, может, не увлажняясь, перекачивать пары воды при давлении не выше 670 Па, пары воды в конденсаторе влаги должны быть охлаждены до температуры 0°С. Вакуумные насосы новой серии (ВИЗ), допускающие давление паров воды на входе до 2,3 кПа, позволяют использовать для охлаждения конденсаторов воду с температурой до 20°С.

Во время конденсации паров воды выделяется большое количество тепла, которое было затрачено на испарение воды при сушке конденсаторов. Поэтому для обеспечения конденсации паров необходимо постоянно отводить все выделяющееся тепло, что достигается непрерывным охлаждением наружной поверхности трубок проточной водой.

Тепло, выделяемое при конденсации паров, воспринимается трубками и передается охлаждающей среде, которая, нагреваясь, уносит его из конденсатора. Чтобы обеспечить лучшую теплопередачу, откачиваемые пары и охлаждающая вода в конденсаторе движутся в противоположных направлениях (охлаждающая вода — снизу вверх, а пары — сверху вниз).

Помимо обычной воды для охлаждения конденсаторов используют предварительно охлажденные жидкости (рассолы), получаемые либо в ледосоляных, либо в пароконпресссионных установках (чаще всего аммиачных). Рассолы применяют в тех случаях, когда обычная водопроводная вода не обеспечивает необходимого охлаждения конденсатора влаги, например, в летний период.

Для сбора конденсата конденсаторы влаги снабжены влагосборниками. Влагосборник представляет собой обычный цилиндрический стальной бачок, с торцовых

сторон которого вварены патрубки с вентилями для слива конденсата. Для наблюдения за наполнением сборника влагой в стенке цилиндрической части бачка, с противоположных сторон, встроены два смотровых окна. Верхним своим патрубком сборник герметично присоединяется к нижнему патрубку конденсатора.

Во время работы конденсатора нижний клапан сборника постоянно закрыт, а верхний открыт для стока конденсата в сборник. Перед сливом воды из сборника во избежание нарушения вакуума в системе верхний клапан закрывают и слив производят через нижний. После слива воды закрывают нижний клапан и только потом открывают верхний.

При откачке паров воды из шкафа во избежание увлажнения насоса необходимо следить за тем, чтобы температура охлаждаемой воды (жидкости) на выходе из конденсатора влаги не превышала допустимой. Это достигается регулировкой количества подаваемой в конденсатор воды. Однако в период наибольшего выделения паров при сушке конденсаторов даже максимальная подача охлаждающей воды не обеспечивает отвода тепла без значительного превышения допустимой температуры воды на выходе из конденсатора влаги. Поэтому во избежание попадания паров воды в насос в недопустимом количестве необходимо перекрывать клапан на входе насоса так, чтобы давление паровоздушной смеси не превышало допустимого давления паров воды на входе (для насосов ВН-6Г — 670 Па, для насосов ВИЗ — 2,3 кПа).

Кроме конденсаторов влаги в установках для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов часто применяют водоохлаждаемые ловушки для осаждения паров пропитывающих жидкостей, устанавливаемые в расщелку вакуумной линии при выходе ее из шкафа.

Ловушки служат для того, чтобы предотвратить попадание паров пропитывающей жидкости в насос при заливке и пропитке конденсаторов, а также при их осушке после слива пропитывающей жидкости из шкафа. Ловушки выполняют в виде цилиндрического бачка, ^в который помещают змеевик для пропускания охлаждающей воды. Для стока конденсата ловушки, так же как и конденсаторы влаги, снабжают сборниками.

При обслуживании конденсаторов влаги и водоохлаждаемых ловушек наблюдают за плотностью фланцевых

соединений и клапанов, а также периодически очищают поверхности теплопередач (трубок) от пропитывающей жидкости и отложений солей воды, ухудшающих теплопередачу.

В процессе вакуумной сушки и пропитки конденсаторов неизбежны частичная конденсация паров воды и пропитывающей жидкости в вакуумных трубопроводах и попадание конденсата в механические вакуумные насосы. Чтобы предотвратить это, на входе и выходе насосов устанавливают неохлаждаемые ловушки, которые одновременно защищают насосы и от попадания в них различных твердых частиц (окалины и т. д.).

Неохлаждаемая ловушка представляет собой цилиндрический бачок, в дно которого варен патрубок с клапаном для периодического слива конденсата. Вход вакуумного трубопровода варивают в верхнюю торцовую часть бачка, а выход — в цилиндрическую.

§ 48. Регулирующая аппаратура

Вакуумный клапан представляет собой устройства для регулирования или полного прекращения потока газа в вакуумной системе. Вакуумный клапан, позволяющий соединять и разобщать элементы вакуумной системы, называют вакуумным затвором.

По конструкции вакуумные клапаны во многом напоминают вентили, применяемые в водопроводных и газовых системах, однако отличаются от последних лучшей герметичностью и наличием проходного отверстия большого размера, не оказывающего заметного влияния на пропускную способность трубопровода.

В установках вакуумной сушки и пропитки конденсаторов преимущественно применяют сильфонные клапаны, устройство которого приведено на рис. 64. К вакуумному трубопроводу клапан присоединяется фланцем 9 и уплотняется с помощью резиновых прокладок 8. Газ протекает из одного участка трубопровода в другой через проходное отверстие 10, диаметр которого примерно равен диаметру отверстий во фланцах. Внутри вентиля имеется подвижный шток 5, упирающийся в клапан 2 с уплотняющей прокладкой 1. Шток передвигается в крышке 6 по резьбе при повороте маховика 4. Место соединения крышки с корпусом уплотнено прокладкой 3. Проникновение воздуха внутрь по резьбе штока и крыш-

ки также исключается благодаря металлическому сильфону 7, припаянному к крышке и клапану 2.

В вакуумных затворах проходное отверстие уплотняется с помощью заслонки. Перемещение заслонки при закрытии, последующем запираании и уплотнении ее к уплотняющей прокладке, расположенной вокруг проходного отверстия, осуществляется рычажно-эксцентриковым механизмом. Управление затвором производят поворотом эксцентрикового вала, связанного с заслонкой. Вал в корпусе затвора уплотняется двумя резиновыми прокладками, между которыми заливается вакуумное масло.

В настоящее время применяются вакуумные клапаны и затворы с дистанционным приводом, позволяющие автоматизировать процессы термовакуумной обработки конденсаторов.

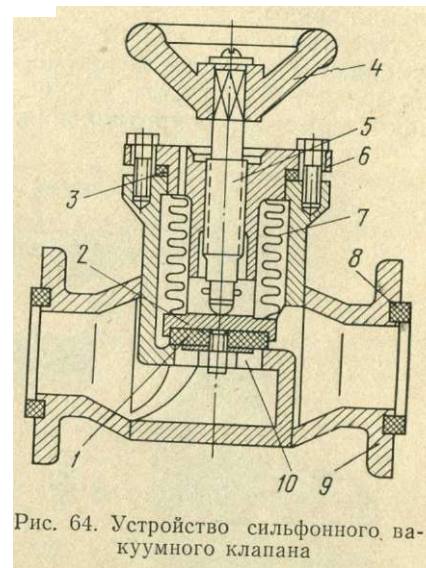


Рис. 64. Устройство сильфонного вакуумного клапана

§ 49. Контрольно-измерительные приборы

Основными параметрами, которые необходимо контролировать в процессе вакуумной сушки и пропитки конденсаторов, являются температура и вакуум.

Для контроля температуры применяют термометры сопротивления. Измерение температуры этими термометрами основано на изменении электрического сопротивления проводника при его нагревании или охлаждении. Термометр сопротивления состоит из тонкой металлической проволоки, обычно из платины, намотанной на специальный каркас. Эта проволока является чувствительным элементом термометра и для предохранения от внешних воздействий заключена в защитную

арматуру. Чтобы определить температуру той или иной среды, термометр сопротивления погружают в эту среду. Зная зависимость сопротивления от температуры, можно по изменению сопротивления судить о температуре измеряемой среды.

Электрическое сопротивление термометров обычно измеряют с помощью потенциометров и уравновешенных четырехплечих мостов, в одно из плеч которых включают термометр сопротивления.



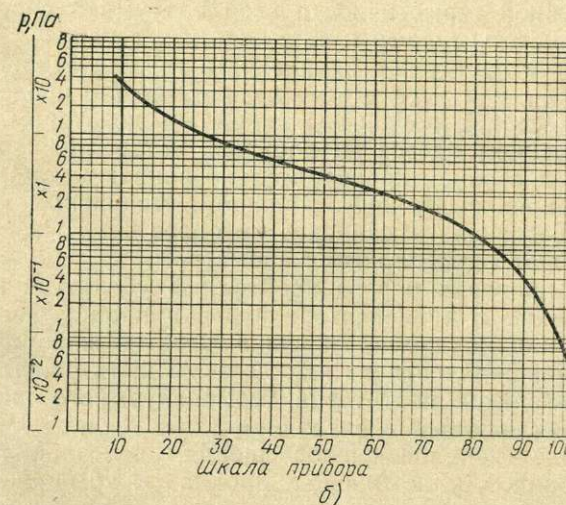
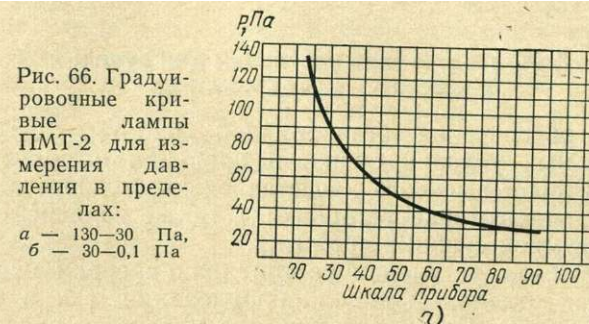
Рис. 65. Термопарный манометр ВТ-2

Для измерения и записи температуры в процессе вакуумной сушки и пропитки широко используют электронные автоматические уравновешенные мосты постоянного и переменного тока ЭМП-109М1 и ЭМП-209М1, измеряющие и записывающие одновременно от одной до 24 величин.

Если приборы предназначены не только для измерения и записи температуры, но и для ее регулирования, в них встраивают специальные электрические и пневматические регулирующие устройства. Принцип действия устройства и правила обслуживания приборов подробно приводятся в специальных инструкциях.

Для контроля давления в пределах от атмосферного до 150 Па служат механические стрелочные манометры.

При измерениях более низких давлений (от 150 до 10^{-1} Па) используют главным образом термопарные манометры ВТ-2 (рис. 65) и ВТ-3. Термопарный манометр ВТ-2 выполняют на два предела



измерения и снабжают манометрической лампой (термопарой) ПМТ-2 для измерения давлений от 130 до 30 Па (первый предел) и от 30 до 0,1 Па (второй предел). При использовании лампы ПМТ-2 необходимо применять специальные градуировочные кривые (рис. 66, а, б), для чего на шкалу манометра наносят равномерные давления от 0 до 100. Правила пользования термо-

парным манометром ВТ-2 подробно изложены в инструкциях по эксплуатации приборов.

Для измерения вакуума применяют также манометры ВСБ, позволяющие измерять давления от 4 кПа до 0,1 Па.

§ 50. Подготовка установки для сушки и пропитки конденсаторов

Для обеспечения безаварийной работы, создания оптимальных условий сушки и пропитки и получения конденсаторов высокого качества очень большое значение имеет подготовка установки, а также конденсаторов для вакуумной сушки и пропитки.

Подготовка установки состоит из проверки исправности как отдельных видов оборудования, так и установки в целом. Основное внимание уделяется обеспечению надежной герметичности всей вакуумной системы, а также чистоты шкафа и загружаемых деталей.

В начале проверяют исправность механического насоса ВН-6Г, для чего его включают, чтобы проверить работу на себя с полностью закрытым дозатором. Перед включением насоса из ловушек, установленных на его входе и выходе, предварительно сливают конденсат влаги и пропитывающей жидкости. Исправный насос должен обеспечивать давление не более 6—7 Па, которое измеряют термодатным манометром.

После проверки насоса необходимо убедиться в отсутствии воды в конденсаторе влаги и пропитывающей жидкости в охлаждаемой ловушке. Остатки влаги и пропитывающей жидкости из них должны быть слиты. Затем производится подготовка термовакуумного шкафа, которая заключается в следующем:

проверке исправности освещения, вентилей пароводов, уплотняющих прокладок крышки шкафа и смотровых окон, клапанов для заливки пропитывающей жидкости и слива ее из шкафа;

удалении остатков пропитывающей жидкости из ванны и тщательной протирке как внутренней поверхности шкафа, так и всех деталей и приспособлений, находящихся в нем;

проверке шкафа на герметичность.

Освещение шкафа проверяют включением и отключением выключателей. Перегоревшие электрические лам-

почки заменяют новыми, а при необходимости исправляют электропроводку. Напряжение сети для освещения шкафа не должно превышать 36 В.

Вентили пароводов, водоводов и масловодов (пропитывающей жидкости) должны обеспечивать плавную регулировку подачи пара, воды и пропитывающей жидкости и не иметь подтеков. Резиновая прокладка, уплотняющая место соединения крышки со шкафом, должна быть эластичной, не иметь трещин и вздутий. Дефектную резиновую прокладку заменяют новой.

Внутреннюю поверхность шкафа, загрузочной ванны, тележки, устройства индивидуальной заливки, смотровых окон и других деталей протирают чистой ветошью или бязью. Перед протиркой из шкафа и загрузочной ванны предварительно удаляют остатки пропитывающей жидкости. Из шкафов, предназначенных для пропитки конденсаторов хлорированными дифенилами, остатки жидкости ввиду их токсичности удаляют выпариванием под вакуумом.

Герметичность шкафа проверяют методом натекания. Для этого включают насос ВН-6Г, который при помощи клапана сообщается с вакуумным шкафом. При достижении в шкафу давления 10—20 Па его отсоединяют клапаном от насоса и последний останавливают. Отключенный шкаф выдерживают под вакуумом в течение 30 мин, затем в нем вновь измеряют давление. Вакуумный термодатный шкаф удовлетворяет требованиям герметичности в том случае, если натекание не превышает заданного значения. Величина натекания (количество газа, поступающее в единицу времени), л Па/с

$$B=V(P_1 - P_0)/\tau,$$

где V —объем шкафа, $P_1 - P_0$ — изменения давления в шкафу за время τ .

При контроле герметичности шкафа одновременно проверяют на герметичность бустерный насос и ловушку с бачком для слива конденсата пропитывающей жидкости, которые при помощи вакуумных клапанов соединяют со шкафом.

Когда вакуумная система не удовлетворяет указанным требованиям герметичности, находят негерметичные места и устраняют натекание. Вначале методом натекания проверяют на герметичность отдельные элементы вакуумной системы (вакуумный трубопровод, шкаф,

ловушку и т. д.). Выявив негерметичный элемент, осматривают наиболее ненадежные его узлы и соединения, дополнительно подтягивают резиновые уплотнения или заменяют их новыми. Если при повторной проверке элемент остается негерметичным, для обнаружения места протекания применяют метод опрессовки или обнаруживают течь с помощью галогенного или массо-спектрометрического течеискателя (ПТИ-6).

Наиболее часто течи встречаются в местах уплотнения крышки и стекол смотровых окон шкафа, фланцевых соединений вакуумных трубопроводов и клапанов.

Подготовка собранных конденсаторов перед загрузкой в шкафы состоит в тщательной очистке их наружной поверхности от различных загрязнений, чтобы исключить попадание загрязнений внутрь конденсаторов при их заливке и пропитке. Для очистки от загрязнений конденсаторы моют в специальных моечных агрегатах.

Моечный агрегат состоит из трех ванн и сушильной камеры, установленных по ходу цепного конвейера. Первая ванна наполнена нагретым до 80—90°С моющим составом, в который входят тринатрийфосфат (8 г/л), моющая жидкость ОП-Ю или ОП-7 (0,1 г/л) и двухромовокислый калий (1 г/л). Во второй ванне находится чистая вода, нагретая до 80—90°С. Третья ванна наполнена раствором нитрита натрия (100 г/л), нагретого до 60—70°С. Каждая ванна снабжена самостоятельным насосом, который позволяет моющий состав из ванны под большим давлением ($3\text{—}4 \times 10^5 \text{ Па}$) направлять через распылители в расположенную над ванной камеру.

Для мойки конденсаторы с помощью пневмоподъемника подвешивают к цепи конвейера. Проходя через камеры над ваннами, конденсаторы под действием струй моющего состава очищаются и поступают в сушильную камеру. Затем их пневмоподъемником снимают с конвейера и подают на загрузку в шкафы или на места для хранения.

В первой камере конденсаторы освобождаются от загрязнений, во второй — дополнительно очищаются от загрязнений и моющего состава, в третьей — оmyваются раствором нитрита натрия, являющегося ингибитором, который резко замедляет коррозию металлических поверхностей конденсаторов. Во избежание попадания моющего состава во время мойки внутрь конденсаторов их

заливочные отверстия перед установкой на конвейер закрывают пробками.

В процессе работы концентрация растворов в ваннах постепенно уменьшается, поэтому в ванны периодически добавляют химикаты. При загрязнении ванны очищают и заменяют моющие составы.

Конденсаторы с пропиткой хлорированными дифенилами особо чувствительны к различного рода загрязнениям, поэтому перед загрузкой в шкафы они требуют более тщательной очистки, которую производят обычно в парах трихлорэтилена.

§ 51. Загрузка конденсаторов в шкафы

Загрузка осуществляется в соответствии с загрузочно-технологическими картами. Конденсаторы устанавливают в специальные загрузочные клетки, которые размещают непосредственно на платформе или в ванне, установленной на платформе, в два-три яруса. Крупногабаритные конденсаторы размещают на платформе в один ярус без клеток.

Если применяют индивидуальную заливку, конденсаторы устанавливают на платформе с устройством для индивидуальной заливки и их заливочные отверстия соединяют с технологическими трубками (стаканами). Схема индивидуальной заливки конденсаторов показана на рис. 67.

При загрузке конденсаторы следует размещать свободно на расстоянии до 10 мм друг от друга, что обеспечивает более интенсивный разогрев их при атмосферном давлении и предотвращает понижение уровня пропитывающей жидкости в конденсаторах вследствие гидростатического давления жидкости при их выгрузке после пропитки.

Когда конденсаторы заливают, наполняя ванну (шкаф) пропитывающей жидкостью, на заливочные отверстия каждого конденсатора надо устанавливать технологические трубки. В этом случае понижение уровня жидкости в конденсаторах, происходящее в результате вспучивания стенок корпусов под действием гидростатического давления, которое возникает в конденсаторах при сливе пропитывающей жидкости из шкафа, компенсируется жидкостью, находящейся в технологической трубке.

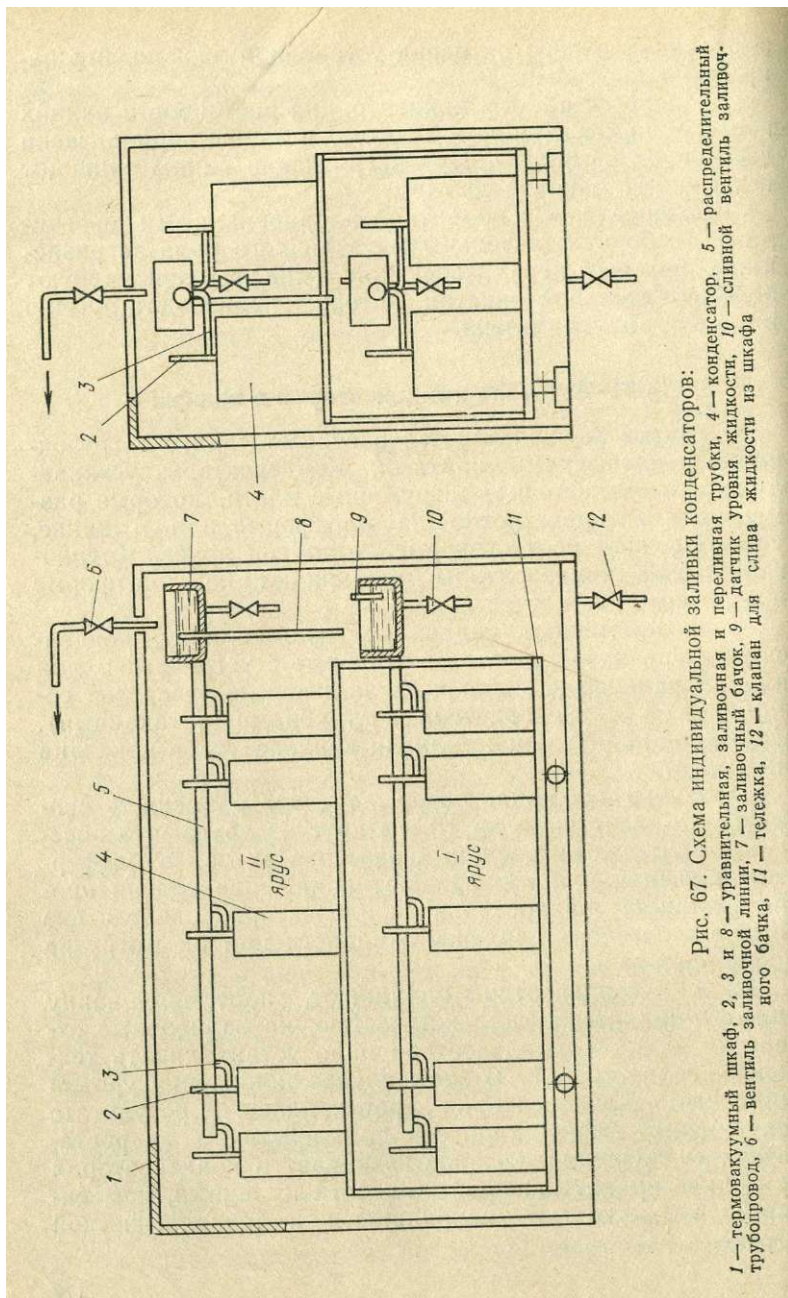


Рис. 67. Схема индивидуальной заливки конденсаторов:

1 — термовакуумный шкаф, 2, 3 — уравнительная, заливающая и сливная трубки, 4 — конденсатор, 5 — распределительный трубопровод, 6 — вентиль заливающей жидкости, 7 — заливочный бачок, 8 — датчик уровня заливающей жидкости, 9 — сливной вентиль из шкафа, 10 — датчик уровня заливающей жидкости, 11 — тележка, 12 — слив жидкости из шкафа

Загружать шкаф необходимо конденсаторами одного и того же типа, благодаря чему достигается равномерность их сушки и пропитки. Выемные части конденсаторов, которые проходят сушку и пропитку без корпусов, загружают на платформы или в ванны шкафов в специальных ваннах (контейнерах), которые позволяют после пропитки и слива пропитывающей жидкости из шкафа содержать выемные части в пропитывающей жидкости до сборки конденсаторов.

При загрузке конденсаторов платформы устанавливают на специальные трансбордеры, при помощи которых их перемещают к месту укладки конденсаторов после мойки. Загрузку конденсаторов в ванны или на платформы производят с помощью подъемно-транспортных средств (тельферов, кран-балок, тележек и др.). Управление тельферами и кран-балками осуществляют с пола цеха с помощью сниженных щитков управления.

После загрузки конденсаторы закрепляют специальными приспособлениями, которые предотвращают их всплытие при заливке пропитывающей жидкости. При индивидуальной заливке закрепления конденсаторов не требуется.

Перед тем как задвинуть загруженную платформу в шкаф, между конденсаторами устанавливают датчики термометров сопротивления для контроля температуры в процессе сушки. Датчики термометров размещают в соответствии с загрузочно-технологической картой в точках с наибольшей и наименьшей температурами. Если для измерения температуры используют ртутные термометры, их устанавливают таким образом, чтобы ясно были видны показания через смотровые окна шкафа.

Установив термометры, платформу с конденсаторами закатывают в шкаф. Затем перекрывают вентиль на сливном патрубке ванны или сливной патрубке ванны соединяют со сливным патрубком шкафа. На выполнение этой операции должно быть обращено особое внимание во избежание вытекания пропитывающей жидкости из ванны в шкаф при заливке конденсаторов. Кроме того, перекрывают клапан на сливном трубопроводе снаружи шкафа. После этого крышку шкафа закрывают и равномерно по всему периметру затягивают болтами.

Одновременно с загрузкой конденсаторов в шкаф заполняют журнал по ведению вакуумной сушки и пропитки конденсаторов, где указывают номер шкафа, в который загружают конденсаторы, номера и количество загружаемых конденсаторов по типам, фамилии грузчиков, фамилии слесарей и пропитчиков, производивших подготовку оборудования и проверку вакуумной системы на герметичность, а также фамилии контролера ОТК и сменного мастера. Помимо этого, в журнале указывают дату и время начала процесса, режим вакуумной сушки и пропитки конденсаторов в соответствии с технологической инструкцией.

§ 52. Вакуумная сушка конденсаторов

Основная задача вакуумной сушки — максимальное удаление влаги из конденсаторов и обезгаживание диэлектрика перед пропиткой.

Степень высушиваемости бумажного диэлектрика определяют два фактора: температура и вакуум в вакуумном шкафу. Чем выше температура и ниже давление, тем большее количество влаги может быть удалено из конденсаторов в процессе сушки (рис. 68).

При заданных значениях температуры и вакуума остаточное влагосодержание в конденсаторах зависит также от продолжительности сушки. С увеличением времени сушки содержание влаги уменьшается. Однако, когда влагосодержание становится равновесным, дальнейшее увеличение времени сушки уже не обеспечивает снижения остаточной влажности. Увеличение степени

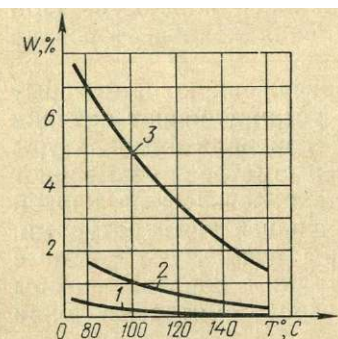


Рис. 68. Зависимость остаточной влажности W конденсаторной бумаги от температуры сушки T при различных давлениях в вакуумном шкафу:
1 — 130 Па, 2 — 650 Па,
3 — 100 000 Па

высушиваемости может быть достигнуто лишь при дополнительном повышении температуры или снижении давления. Поэтому для достижения минимального влагосодержания в бумажном диэлектрике и ускорения про-

цесса сушки желательнее выбирать температуру сушки как можно выше и давление как можно ниже.

Максимальная температура при сушке конденсаторов ограничена термостойкостью диэлектрика и для бумажного диэлектрика не превышает 140°C , а для бумажно-полипропиленового — 110°C .

Минимальное давление обычно ограничивается техническими возможностями, а также экономическими соображениями и при окончательной сушке конденсаторов составляет 1—0,1 Па.

Для заданных температуры и давления продолжительность вакуумной сушки определяют опытным путем. Выбирают оптимальный режим сушки, обеспечивающий необходимое качество готовых конденсаторов с наименьшей затратой времени и средств.

Продолжительность сушки при прочих равных условиях обычно зависит от объема шкафа и количества загружаемых в него конденсаторов (массы бумаги), а также от плотности бумаги и степени запрессовки секций в пакетах.

Процесс сушки конденсаторов обычно делят на три периода: разогрев, предварительную сушку и окончательную сушку. В общем виде характер процесса сушки конденсаторов с бумажным диэлектриком в типовом шкафу показан на рис. 69.

Разогрев. Период разогрева конденсаторов непродолжителен и составляет не более 10% общего времени сушки. Чтобы ускорить удаление влаги, необходимо быстрее прогреть конденсаторы на всю глубину до наибольшей допустимой температуры. Поэтому разогрев желательнее вести при атмосферном давлении, чтобы тепло от нагретых стенок шкафа передавалось конденсаторам не только лучеиспусканием и теплопроводностью, но и естественной конвекцией. Тепло, передаваемое конвекцией, составляет до 30% общего количества тепла и играет особенно важную роль в прогреве конденсаторов, расположенных в середине шкафа, так как их нагрев прямым излучением затруднен. Конденсаторы с бумажно-полипропиленовым диэлектриком во избежание окисления пленки разогревают под вакуумом.

Разогрев при атмосферном давлении может продолжаться лишь в течение 10—15 ч. Дальнейший разогрев приводит к насыщению шкафа парами воды и конденсации их на менее нагретых поверхностях, т. е. на стен-

ках корпусов конденсаторов, расположенных в середине шкафа. Образовавшийся конденсат в сочетании с повышенной температурой вызывает интенсивную коррозию металлических корпусов, что является недопустимым.

Температура внутри диэлектрика конденсаторов в конце разогрева обычно доводится до 80—90° С. Из-за

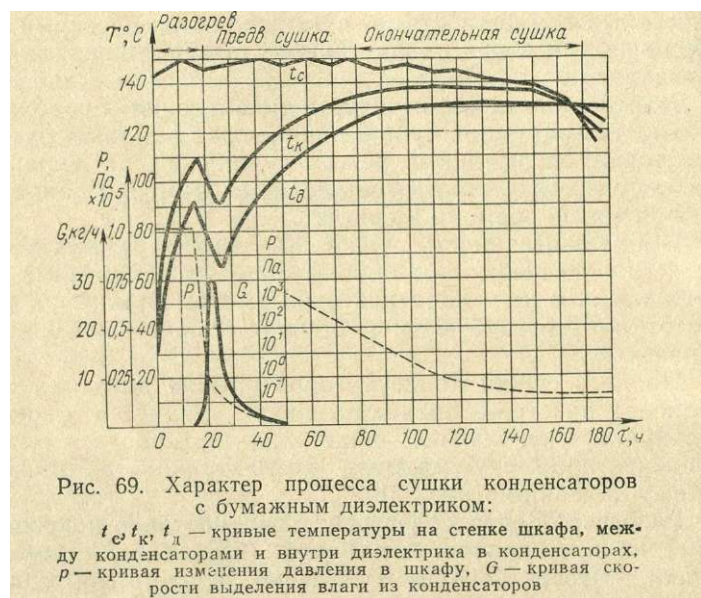


Рис. 69. Характер процесса сушки конденсаторов с бумажным диэлектриком:

t_c, t_k, t_d — кривые температуры на стенке шкафа, между конденсаторами и внутри диэлектрика в конденсаторах, p — кривая изменения давления в шкафу, G — кривая скорости выделения влаги из конденсаторов

неодинаковых условий нагрева не все конденсаторы разогреваются до одной и той же температуры. Однако для обеспечения равномерной сушки разброс температур не должен превышать 10—12° С.

Поскольку температуру внутри диэлектрика в процессе сушки не контролируют, окончание разогрева конденсаторов определяют по термометрам, устанавливаемым между конденсаторами. В конце разогрева температура между конденсаторами обычно равна 110±10°С. В период разогрева температура на стенках шкафа должна быть максимальной (до 150°С).

Для интенсификации процесса разогрева часто прибегают к принудительной циркуляции горячего воздуха в шкафу. Воздух, нагретый до 150° С в калорифере, про-

гоняется вентилятором через шкаф по замкнутой системе и по мере увлажнения выбрасывается в атмосферу. После разогрева конденсаторов система принудительной циркуляции воздуха отключается от шкафа.

Разогрев конденсаторов в шкафу начинается с впуска теплоносителя в систему обогрева шкафа. Чтобы обеспечить максимальную подачу теплоносителя, вентиль на входе шкафа открывают полностью, но во избежание гидравлических ударов (если в качестве теплоносителя водяной пар) его следует открывать постепенно. Вентиль на выходе шкафа открывают на 2—3 оборота. Одновременно во избежание появления в шкафу избыточного давления шкаф через конденсатор влаги сообщают с атмосферой. Ввиду незначительного поступления паров воды из шкафа в период разогрева подача охлаждающей воды в конденсатор влаги ограничена.

Во время разогрева давление пара в обогреваемой системе шкафа должно составлять не менее 4×10^5 Па (избыточных), так как только при этом давлении температура стенок шкафа достигает 150°С и обеспечивается нормальный разогрев конденсаторов.

В период разогрева и всего дальнейшего процесса вакуумной сушки через каждые 2 ч проверяют температуру и вакуум в шкафу, записывая показания в журнал по ведению вакуумной сушки и пропитки конденсаторов.

Предварительная сушка. Этот период занимает до 40% времени процесса сушки и связан с удалением основного количества влаги из бумажного диэлектрика конденсаторов.

После разогрева конденсаторов до заданной температуры шкаф через конденсатор влаги подключают к насосу ВН-6 Гирезко снижают давление в шкафу. Перед пуском насоса перекрывают клапан на сливном патрубке конденсатора влаги, с помощью которого шкаф сообщался с атмосферой, а для охлаждения конденсатора влаги подают охлаждающую воду. Дозатор насоса открывают полностью.

С уменьшением давления, как известно, понижается точка кипения воды. Поэтому в данный период происходит обильное выделение влаги из конденсаторов и съём ее в конденсаторе влаги может достигать в отдельные моменты нескольких десятков литров в час (кривая G на рис. 69).

Поскольку испарение влаги связано с поглощением большого количества тепла (2,24 МДж/кг при 100°С), то при наиболее интенсивном выделении влаги наблюдается также резкое снижение температуры внутри диэлектрика конденсаторов — на 25—30°С. В результате понижается и температура между конденсаторами. В период предварительной сушки, так же как и в период разогрева, температуру на стенках шкафа следует поддерживать максимальной.

По мере удаления влаги интенсивность испарения падает и в связи с уменьшением затрат тепла на испарение начинается непрерывный рост температуры конденсаторов. Осаждение паров воды в конденсаторе влаги продолжается в течение 40—45 ч. К моменту прекращения конденсации паров воды в конденсаторе влаги давление в шкафу снижается до 1,3 кПа (при температуре охлаждающей воды в конденсаторе влаги 10°С).

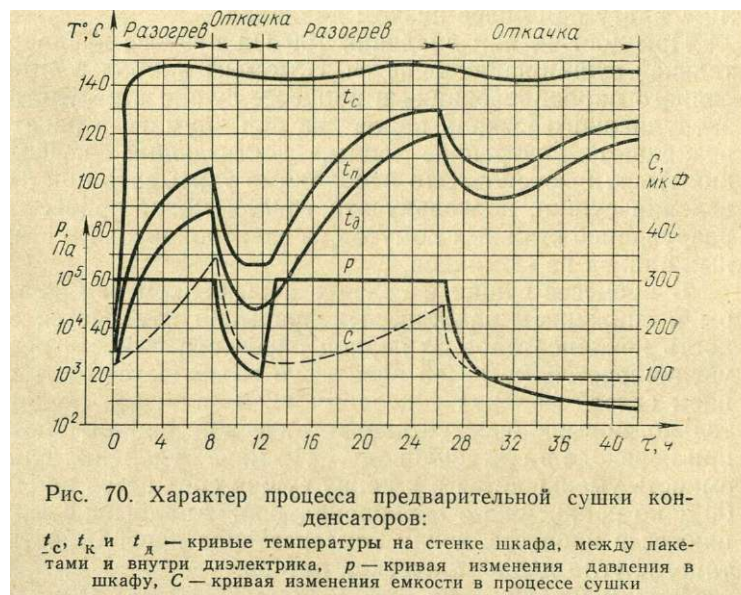
В течение всего периода осаждения паров в конденсатор влаги необходимо подавать максимальное количество охлаждающей воды, а давление на входе в насос во избежание его увлажнения поддерживать не выше 670 Па.

Когда осаждение влаги в конденсаторе прекратится и остаточное давление в шкафу достигнет 1,3 кПа, конденсатор влаги отключают и шкаф соединяют непосредственно с насосом. Затем пары воды из шкафа удаляют насосом при полностью открытом дозаторе. К концу периода предварительной сушки давление в шкафу снижается до 100 Па. Температура в конденсаторах выравнивается и до конца процесса сушки поддерживается в пределах 120—130°С.

С удалением основной массы влаги из конденсаторов подача теплоносителя для обогрева шкафа в значительной мере уменьшается. Тепло от стенок шкафа к конденсаторам передается главным образом излучением, так как при низких давлениях передача тепла естественной конвекцией практически отсутствует.

Наибольшее ускорение процесс сушки получает в результате осуществления нескольких циклов, состоящих из интенсивного разогрева конденсаторов при атмосферном давлении и интенсивного удаления паров воды под вакуумом. Характер протекания такого процесса сушки показан на рис. 70. В первые 8 ч производится разогрев при атмосферном давлении и температура меж-

ду конденсаторами достигает 100—110°С, а внутри конденсаторов — 80—90°С. К концу разогрева рост температуры внутри конденсаторов замедляется. Это замедление обусловлено не только уменьшением разности температур между греющей поверхностью шкафа и конденсаторами, но и главным образом переходом абсорбционной влаги в капиллярную и бурным ее испарением, на что расходуется значительное количество тепла. С



уменьшением разности температур между стенками шкафа и конденсаторами снижается подвод тепла к конденсаторам, в то же время насыщение объема шкафа парами воды замедляет испарение влаги из конденсаторов. Поэтому процесс сушки замедляется.

Резкое снижение давления от атмосферного до 1—2 кПа приводит к быстрому удалению паров воды из шкафа и обильному выделению влаги из пор бумаги, так как с уменьшением давления точка кипения воды понижается. За непродолжительное время откачки удаляется более 50% влаги, содержащейся в бумаге, и происходит резкое снижение температуры конденсаторов (на 30—40°С), поскольку запасенное при разогреве тепло

расходуется на испарение влаги, а подвод тепла извне недостаточен.

Низкие давление и температура конденсаторов в конце испарения влаги препятствуют дальнейшему интенсивному процессу сушки, поэтому в шкафу вновь создают атмосферное давление и производят разогрев конденсаторов. В связи с удалением большого количества влаги при повторном разогреве появляется возможность за короткое время нагреть конденсаторы до 110—120° С и удалить влагу при более низком давлении.

При достижении давления 100 Па процесс предварительной сушки заканчивается. В момент наиболее интенсивного парообразования в процессе сушки в результате затрудненного выхода паров из пор бумаги в пакетах возникают внутренние силы, достигающие нескольких тысяч ньютонов. Это необходимо учитывать при проведении сушки, поскольку эти усилия могут привести к разрушению стяжных хомутов из электрокартона и стяжных планок из гетинакса.

В процессе сушки в связи с повышением температуры и снижением влажности непрерывно изменяется емкость конденсаторов. В период разогрева емкость резко увеличивается (в 2—2,5 раза), что объясняется ослаблением связей молекул адсорбционной влаги и, следовательно, повышением ее диэлектрической проницаемости при переходе в обычную воду. По мере удаления влаги емкость уменьшается и к концу сушки снижается на 50—60% по сравнению с первоначальной. Аналогично изменяются в процессе сушки конденсаторов проводимость и тангенс угла диэлектрических потерь.

Режимы вакуумной сушки конденсаторов в шкафу объемом до 12 м³ приведены в табл. 11.

Окончательная сушка. После предварительной сушки остаточное влагосодержание в бумажном диэлектрике конденсаторов составляет десятые доли процента, что оказывает существенное влияние на величину тангенса угла потерь конденсаторов. Поэтому сушка продолжается при более высоком вакууме и предназначена для дальнейшего снижения остаточного влагосодержания в бумаге до тысячных долей процента в целях обеспечения необходимых характеристик конденсаторов. Указанное значение остаточного влагосодержания может быть получено только в процессе дальнейшей сушки при давлении 1—0,1 Па. Одновременно с удалением остатков влаги при

Таблица 11. Режимы вакуумной сушки

Период сушки	Конденсаторы без предварительной сушки			Конденсаторы с предварительной сушкой		
	Давление, Па	Температура между конденсаторами, °С	Продолжительность процесса, ч	Давление, Па	Температура между конденсаторами, °С	Продолжительность процесса, ч
Разогрев	10 ⁵	100—140	10	10 ⁵	115—140	20
Предварительная сушка:						
1-е осаждение влаги	10 ⁵ —10 ³	50—70	6	—	—	—
нагрев	10 ⁵	110—140	10	—	—	—
2-е осаждение влаги	10 ⁵ —6×10 ²	60—80	8	—	—	—
нагрев	10 ⁵	110—140	10	—	—	—
3-е осаждение влаги	10 ⁵ —10 ²	110—140	20	10 ⁵ —10 ²	110—140	16
Окончательная сушка	10 ² —1	115—130	50	10 ² —1	115—130	50
Охлаждение	Не выше 1	130—90	12	Не выше 1	130—90	12

Примечание. Для конденсаторов с бумажно-плёночным диэлектриком температура при сушке не должна превышать 115° С.

этом давлении достигается и достаточная степень обезгаживания конденсаторов, обеспечивающая высокие напряжения возникновения частичных разрядов.

Сушка при высоком вакууме производится двухроторными и бустерными насосами. Поэтому переход от периода предварительной к периоду окончательной сушки связан с подключением к шкафу указанных насосов и переводом работы насоса ВН-6Г со шкафа на линию форвакуума этих насосов.

При работе двухроторного, а затем бустерного насосов давление в шкафу резко снижается и в течение не-

продолжительного времени достигает заданного. Однако низкое давление в шкафу еще не свидетельствует об окончании процесса сушки. Поскольку удаление остатков влаги и газов из пор туго спрессованного бумажного диэлектрика в значительной мере затруднено и происходит с некоторой конечной скоростью, для установления равновесного влаго- и газосодержания в бумаге необходимо определенное время. Продолжительность периода окончательной сушки 80 ч, и в течение всего периода температура конденсаторов поддерживается в пределах 115—130° С.

В конце предварительной и в период окончательной сушки давление в шкафу контролируется через каждые 2 ч термопарным манометром, указывающим суммарное давление воздуха и паров воды.

После окончания процесса сушки, непосредственно перед заливкой пропитывающей жидкостью, температуру конденсаторов снижают до 80—100° С. Конденсаторы охлаждают пропуская в систему обогрева шкафа охлажденного теплоносителя или заблаговременным отключением обогрева шкафа.

При сушке конденсаторов возможны нарушения заданного режима температуры и вакуума в результате временных отключений электроэнергии, прекращения подачи теплоносителя, увлажнения насоса, нарушения герметичности вакуумной системы, а также по другим причинам.

Нарушения режима, связанные со снижением температуры или с потерей вакуума, вызывают замедление или прекращение сушки. В таких случаях для обеспечения необходимой степени высушиваемости конденсаторов следует продлить процесс сушки. Время продления, как правило, устанавливают равным времени, в течение которого был нарушен режим сушки (с учетом времени восстановления режима).

Нарушение вакуума в течение последних 30 ч периода окончательной сушки недопустимо. В случае такого нарушения процесс должен быть проведен заново. Это объясняется тем, что при резком ухудшении вакуума возникает большой перепад давлений газов в порах диэлектрика и окружающем его пространстве (в шкафу), в результате чего газосодержание диэлектрика резко возрастает. Удаление же газов из пор диэлектрика происходит медленно и требует длительного времени.

Рассмотренный режим вакуумной сушки относится к конденсаторам с начальной влажностью бумажного диэлектрика 8—10%.

Наряду с указанным полным процессом сушки в последнее время широко применяют отдельную предварительную и окончательную сушку конденсаторов.

Раздельная предварительная сушка пакетов и конденсаторов. При такой сушке из пакетов и конденсаторов удаляют основную массу влаги, в результате чего влажностное содержание бумажного диэлектрика доводят до 0,1—0,5%.

При использовании раздельной предварительной и окончательной сушки можно проводить не только электрические испытания сухих пакетов и более эффективную отбраковку дефектных секций, но и более рационально применять в ряде случаев термовакуумное оборудование.

На предварительную сушку пакеты поступают непосредственно после их запрессовки. В шкаф помещают максимальное количество пакетов, которое в 1,5—2 раза превышает количество конденсаторов, загружаемых на окончательную сушку в шкаф такого же объема. Пакеты загружают обычно в специальных клетях, устанавливаемых на платформе шкафа в несколько ярусов. Загрузку и выгрузку пакетов после сушки осуществляют с помощью подъемно-транспортных средств. При сушке пакетов конденсаторов без корпусов условия теплопередачи от стенок шкафа к пакетам более благоприятны, поэтому удельное время сушки (приходящееся на один пакет) по сравнению с удельным временем сушки конденсаторов в корпусах сокращается в 2—3 раза.

Необходимо учитывать, что после сушки при хранении происходит постепенное увлажнение пакетов главным образом с торцовых сторон секций. Проникновение влаги внутрь секций с боковых сторон ограничивается алюминиевыми обкладками. Находясь на воздухе при температуре 20—25° С и относительной влажности 50—70%, пакеты в течение первых пяти суток поглощают до 3—4%, а в течение месяца — до 25% выпаренной присушки влаги. Таким образом во избежание увлажнения пакеты, прошедшие предварительную сушку, следует в короткий срок собирать в корпуса и направлять на окончательную сушку и пропитку. В случае вынужденного длительного хранения пакеты необходимо содержать при возможно меньшей относительной влажности воздуха и повышенной

температуре. В герметично заваренных корпусах пакеты могут находиться, не увлажняясь, длительное время. Поэтому, когда предварительную сушку проходят собранные конденсаторы, их заливочные отверстия на время хранения уплотняют пробками.

В соответствии с принятой на заводах технологией разрешается сокращать полный процесс сушки конденсаторов, если время пребывания пакетов на воздухе в нормальных условиях после предварительной сушки не превышает 7 сут, и продлевать, если время пребывания более 7 сут.

§ 53. Заливка и пропитка конденсаторов

Основной задачей пропитки конденсаторов является заполнение пор в бумаге и зазоров между слоями бумаги и пленки пропитывающей жидкостью после удаления из них влаги в процессе вакуумной сушки.

Заливку и пропитку конденсаторов производят в том же шкафу, в котором выполняют вакуумную сушку. Для пропитки используют предварительно очищенную, просушенную и обезгаженную пропитывающую жидкость, по своим диэлектрическим характеристикам отвечающую заданным нормам.

Скорость впитывания пропитывающей жидкости в бумагу зависит от вязкости жидкости: чем ниже вязкость, тем быстрее жидкость проникает в поры бумаги.

Поскольку вязкость с повышением температуры падает, пропитку стараются выполнять при более высоких температурах. Зависимости вязкости пропитывающих жидкостей от температуры показаны на рис. 71. Температура ограничивается термостойкостью пропитывающей жидкости и бумаги (пленки). Кроме того, при выборе температуры пропитки учитывается летучесть пропитывающей жидкости при высоком вакууме и унос ее из шкафа. Во избежание уноса температуру пропитки снижают. Например, пропитку конденсаторов конденсаторным маслом производят при 40—50° С, касторовым маслом — при 70—80° С, а ТХД — при 50—60° С.

В процессе заливки и пропитки очень важно поддерживать давление в шкафу не выше достигнутого в период окончательной сушки конденсаторов. Однако необходимо учитывать возможное повышение давления в шкафу за счет давления паров пропитывающей жидкости. Чем

выше температура в шкафу, тем выше давление паров пропитывающей жидкости. Зависимости давления насыщенного пара пропитывающих жидкостей от температуры показаны на рис. 72.

Перед началом заливки необходимо подготовить пропитывающую жидкость в количестве, достаточном для полной пропитки конденсаторов, находящихся в шкафу. Качество подготовленной пропитывающей жидкости подтверждается протоколом лабораторных испытаний, в котором должны быть указаны электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь и газосодержание. Непосредственно перед заливкой пускают воду для охлаждения ловушки, чтобы предотвратить попадание паров пропитывающей жидкости в насосы.

Для заливки конденсаторов открывают вентиль заливочной линии, при помощи которой шкаф сообщается с баком подготовленной жидкости. Впускать пропитывающую жидкость надо постепенно. При полностью открытом вентиле пропитывающая жидкость должна поступать в шкаф ровной спокойной струей. Если же при заливке пропитывающая жидкость вспенивается и в шкафу резко повышается давление, это указывает на плохое обезгаживание

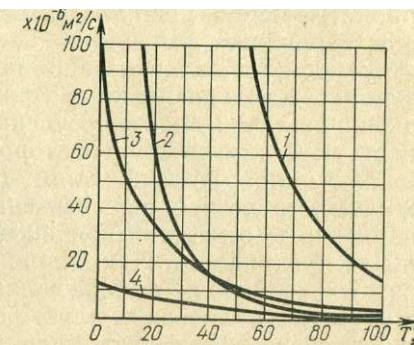


Рис. 71. Зависимость вязкости пропитывающих жидкостей от температуры:

1 — касторовое масло, 2 — трихлордифенил, 3 — конденсаторное масло, 4 — смесь трихлордифенила с трихлорбензолом

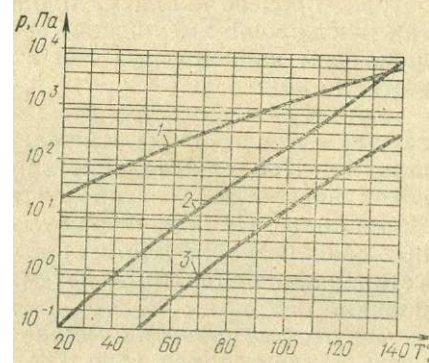


Рис. 72. Зависимость давления насыщенного пара пропитывающих жидкостей от температуры:

1 — смесь трихлордифенила с трихлорбензолом, 2 — конденсаторное масло, 3 — трихлордифенил

пропитывающей жидкости или на негерметичность заливочной линии. В таком случае заливку следует прекратить, устранить негерметичность заливочной линии, а пропитывающую жидкость подвергнуть повторному обезгаживанию.

В процессе заливки надо непрерывно поддерживать заданное давление, так как даже кратковременные повышения давления могут резко снизить электрическую прочность всей партии конденсаторов.

При наполнении ванны (шкафа) пропитывающей жидкостью до уровня, превышающего на 10 см уровень заливочных отверстий конденсаторов верхнего яруса, заливку прекращают. При индивидуальной заливке конденсаторов окончание ее определяют по достижении уровня жидкости в заливочном бачке до уровня переливной трубки. Уровень жидкости в бачке контролируют с помощью датчика уровня дистанционно или визуально по истечении жидкости через переливную трубку (см. рис. 67). Продолжительность нормальной заливки составляет 1—2 ч.

Когда пропитывающая жидкость попадает в конденсаторы, процесс пропитки происходит довольно быстро, так как хорошо высушенная и обезгаженная бумага под действием капиллярных сил жадно впитывает пропитывающую жидкость.

Для маловязких пропитывающих жидкостей (конденсаторное масло, ТХД) длительность пропитки не превышает 4 ч. Продолжительность пропитки жидкостями с высокой вязкостью (касторовое масло) может составлять 20 ч и более. При пропитке бумажно-пленочных и пленочных конденсаторов длительность и температуру пропитки устанавливают опытным путем в зависимости от свойств пленки.

За ходом пропитки можно наблюдать, измеряя емкость конденсаторов (рис. 73). По мере заполнения пор бумаги пропитывающей жидкостью емкость конденсаторов увеличивается. Установившаяся емкость свидетельствует о том, что процесс пропитки закончен. Дальнейшее увеличение времени пропитки уже не дает эффективных результатов.

В процессе заливки и пропитки на поверхности пропитывающей жидкости не должно наблюдаться выделения пузырьков воздуха. Выделение пузырьков свидетельствует о попадании воздуха в конденсаторы в процессе заливки. Воздух из этих конденсаторов не может быть удален

даже при длительной откачке, поэтому такие конденсаторы непригодны для нормальной эксплуатации. После окончания пропитки излишнюю пропитывающую жидкость из ванны или шкафа сливают под вакуумом.

В случае пропитки конденсаторным и касторовым маслами конденсаторы после слива масла выгружают из шкафа и направляют для запайки заливочных отверстий.

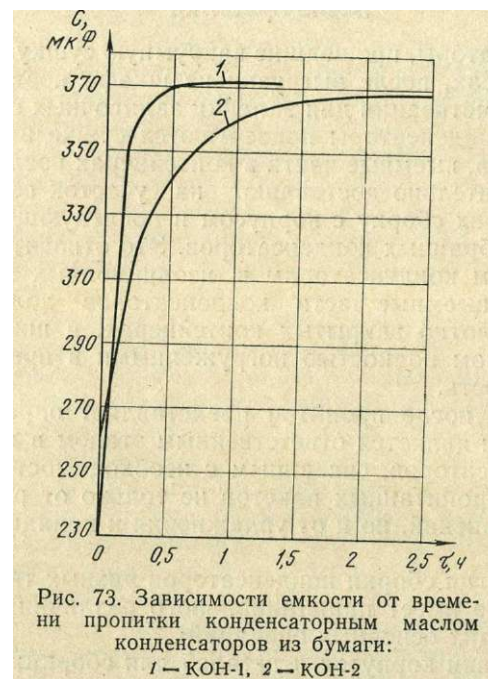


Рис. 73. Зависимости емкости от времени пропитки конденсаторным маслом конденсаторов из бумаги:
1 — КОН-1, 2 — КОН-2

При пропитке хлорированными дифенилами стенки шкафа и наружные поверхности конденсаторов перед выгрузкой подвергают осушке при высоком вакууме, чтобы избавиться от остатков пропитывающей жидкости. Испаряющаяся пропитывающая жидкость осаждается в ловушке и скапливается в сборнике.

При индивидуальной заливке пропитывающая жидкость от общей заливочной линии подается непосредственно в каждый конденсатор с помощью распределительных трубок. Индивидуальная заливка позволяет более рационально использовать пропитывающую жидкость, а также

повышать культуру производства и качество конденсаторов. При индивидуальной заливке отпадает необходимость в осушке конденсаторов перед выгрузкой. Выгрузку конденсаторов производят после охлаждения их в шкафу до температуры не выше 60° С.

§ 54. Сборка и герметизация конденсаторов после пропитки

Конденсаторы, прошедшие вакуумную сушку и пропитку в корпусах, после выгрузки из шкафа поступают на участок герметизации для запайки заливочных отверстий.

Когда конденсаторы подвергаются сушке и пропитке без корпусов, выемные части в контейнерах после выгрузки предварительно доставляют на участок сборки, где выполняют их сборку с корпусом и последующую герметизацию собранных конденсаторов. Это относится только к некоторым конденсаторам в изоляционных корпусах. До сборки выемные части конденсаторов должны храниться в плотно закрытых контейнерах, в шкафах или под вакуумом полностью погруженными в пропитывающую жидкость.

Сборка после пропитки представляет определенные трудности и является ответственным этапом в изготовлении конденсаторов, связанным с необходимостью предохранения пропитанных пакетов не только от различного рода загрязнений, но и от увлажнения и попадания в них воздуха.

Технология сборки конденсаторов разных типов после пропитки не имеет принципиального различия и состоит из следующих основных операций:

- подготовки корпусов и деталей для сборки;
- замера и подгонки емкости выемной части;
- сборки выемной части с корпусом;
- обезгаживания и заливки пропитывающей жидкостью под вакуумом собранных конденсаторов;
- доливки пропитывающей жидкости и герметизации.

Подготовка корпусов и деталей для сборки. Корпуса и детали, соприкасающиеся с выемной частью и пропитывающей жидкостью, могут вносить загрязнения внутрь конденсаторов и значительно снижать их электрические характеристики. Поэтому при сборке конденсаторов необходимо соблюдать надлежащую чистоту не только корпусов и деталей конденсаторов, но и рабочего места.

Фарфоровые крышки (корпуса) перед сборкой следует или вымыть проточной водой и затем высушить, или тщательно протереть чистой ветошью или бязью. Наружные поверхности крышек должны быть подвергнуты не менее тщательной очистке, чем внутренние. Необходимо иметь в виду, что на холодных крышках, внесенных в теплое помещение, происходит конденсация влаги. Поэтому до начала сборки крышки должны нагреться до температуры окружающей среды.

Цилиндры из бакелизированной бумаги, увлажняющиеся в обычных условиях, для увеличения электрической прочности и сопротивления изоляции предварительно подвергаются вакуумной сушке и пропитке конденсаторным маслом. Сушку и пропитку производят в термовакуумных шкафах в течение 24 ч при температуре 80—90° С и давлении не выше 20 Па.

Крышки конденсаторов также следует протирать бязью, а крепежные детали хранить в специальной таре, предотвращающей их загрязнение.

После подготовки деталей выполняют сборку корпуса конденсатора, которая заключается в соединении фарфоровой крышки или бакелитового цилиндра с нижней крышкой. При сборке нижней крышки 14 (рис. 74) с фарфоровой крышкой 4 последнюю устанавливают нижним торцом вверх. На крышку надевают фланец 15, разъемное кольцо 2 и резиновую прокладку 3, предохраняющую фарфор от механических повреждений. Затем в резьбовые отверстия нижней крышки ввертывают стяжные шпильки 13, а в проточку укладывают кольцевую уплотняющую резиновую прокладку. После установки крышки на торец фарфоровой крышки фланец 15 с разъемным кольцом 2 приподнимают, насаживают отверстиями на концы шпилек 13 крышки и гайками равномерно притягивают к конусной части торца крышки. При этом разъемное кольцо по всему периметру должно упираться в резиновую прокладку 3.

Сборку фарфоровых крышек с нижними крышками можно производить и в другой последовательности: на уложенную на пол нижнюю крышку помещают уплотняющую прокладку и устанавливают фарфоровую крышку с предварительно надетыми на нее фланцем, разъемным кольцом и резиновой прокладкой. Этот способ применяют при крупногабаритных фарфоровых крышках,

для перемещения которых используют подъемные устройства.

Замер и подгонка емкости выемной части. Непосредственно перед сборкой конденсаторов производят замер и в случае необходимости подгонку емкости выемных частей. Эти операции выполняются главным образом при сборке конденсаторов, имеющих малые допуски по емкости, и служат для обеспечения емкости готовых конденсаторов в заданных пределах. К указанной группе конденсаторов преимущественно относятся конденсаторы связи.

Измерение и подгонка емкости обычно связаны с извлечением выемных частей из масла. Поэтому во избежание увлажнения и попадания воздуха в секции эти операции необходимо выполнять в минимально возможное время. Время пребывания выемной части на воздухе с момента извлечения ее из контейнера до посадки в корпус с маслом не должно превышать 15 мин. Если позволя-

ют условия, измерение и подгонку емкости следует производить в масле, без извлечения пакетов на воздух. Для определения емкости надо применять приборы, обеспечивающие необходимую точность измерений?

Если общая емкость выемной части при измерениях укладывается в заданные пределы, выемная часть посту-

пает непосредственно на сборку с корпусом. В противном случае производят подгонку емкости.

Конденсаторы, связанные с подгонкой емкости, обычно имеют большое количество последовательно соединенных секций или групп секций в пакетах. Подгонка емкости таких пакетов в заданные пределы легче всего может быть осуществлена в том случае, когда емкость занижена и требуется ее увеличение. Поэтому конденсаторы заранее рассчитывают так, чтобы их емкость после пропитки находилась на нижнем пределе допуска.

Подгонка емкости может быть осуществлена двумя путями: дополнительной подпрессовкой пакетов выемной части и отключением нескольких последовательно соединенных секций или групп секций в пакетах. В первом случае для увеличения емкости в конструкции щек пакетов предусмотрена установка регулировочных болтов, позволяющих производить сжатие секций в пакете. Во втором случае в пакеты при их изготовлении закладывают дополнительные секции, отключение которых при подгонке емкости не оказывает влияния на электрическую прочность конденсаторов. Секции отключают перепайкой их токоподводов накоротко. Во избежание внесения загрязнений перепайку токоподводов следует производить без применения флюсов.

Подгонка емкости выемных частей, состоящих из нескольких пакетов, должна быть выполнена таким образом, чтобы не только общая емкость выемной части, но и емкости отдельных пакетов и последовательно соединяемых групп пакетов также находились в заданных пределах. Это требование вызвано необходимостью равномерного распределения напряжений в пакетах и секциях конденсаторов для повышения их надежности в эксплуатации.

Сборка выемной части с корпусом. Этот процесс состоит из следующих основных операций: посадки выемной части в корпус, закрепления ее на нижней крышке и сборки верхней крышки с корпусом.

После того как произведены замер и подгонка емкости, выемную часть конденсатора переносят в корпус и выполняют механическое и электрическое соединение с нижней крышкой, являющейся одним из выводов конденсатора.

Выемную часть с нижней крышкой соединяют обычно болтами (рис. 75). Скобы 4 нижних щек выемной части

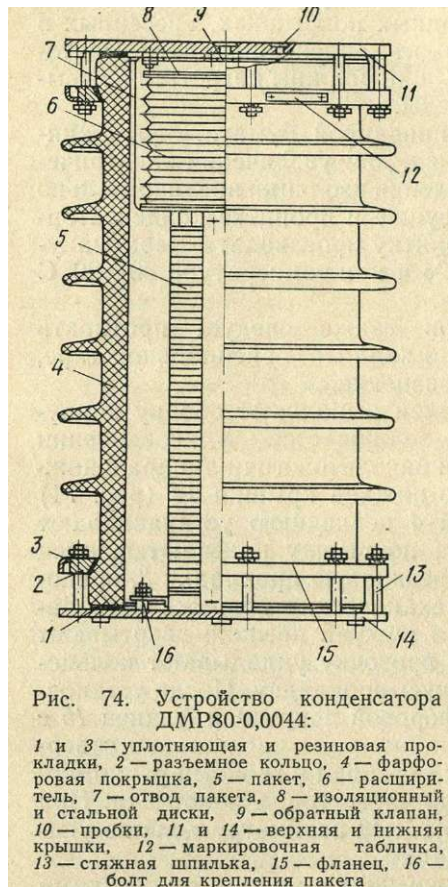


Рис. 74. Устройство конденсатора ДМР80-0,0044:

1 и 3 — уплотняющая и резиновая прокладки, 2 — разъемное кольцо, 4 — фарфоровая крышка, 5 — пакет, 6 — расширитель, 7 — отвод пакета, 8 — изоляционный и стальной диски, 9 — обратный клапан, 10 — пробки, 11 и 14 — верхняя и нижняя крышки, 12 — маркировочная табличка, 13 — стяжная шпилька, 15 — фланец, 16 — болт для крепления пакета

насаживают на приваренные к крышке болты 5 и при помощи торцового ключа прижимают гайками 6. Посадку выемной части в корпус осуществляют с помощью направляющих стержней, которые предварительно соединяют с болтами. Направляющие стержни одновременно позволяют опускать гайки и наворачивать их на болты.



Рис. 75. Соединение выемной части с нижней крышкой болтами:
1 — крышка, 2 — щека пакета, 3 — пакет, 4 — скобы щеки, 5 — болт, 6 — гайка, 7 — шайба

Жесткие стенки фарфоровых и бакелитовых корпусов не могут обеспечить компенсацию температурного изме-

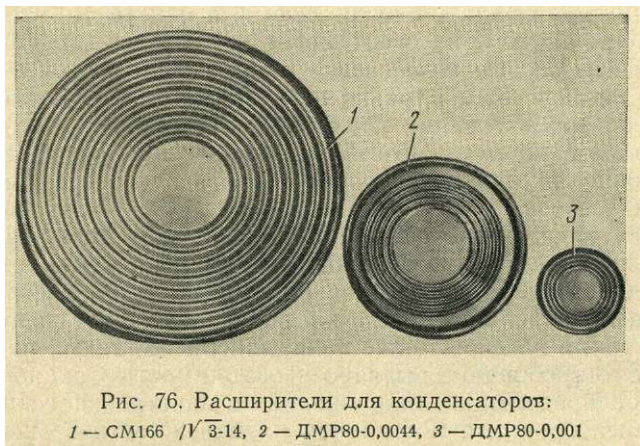


Рис. 76. Расширители для конденсаторов:
1 — СМ166 /V 3-14, 2 — ДМР80-0,0044, 3 — ДМР80-0,001

нения объема пропитывающей жидкости в конденсаторах, поэтому внутри конденсаторов создают воздушную подушку или устанавливают расширители (рис. 76). Для уменьшения объема пропитывающей жидкости и облегчения компенсации свободное пространство между выемной частью и корпусом конденсатора часто заполняют твердыми изоляционными материалами. В качестве заполнителя обычно используют отходы электрокартона и гетинакса, пропитанные вместе с выемными частями.

Конденсаторы без расширителей после заливки пропитывающей жидкостью направляют на обезгаживание и

затем производят их сборку с верхней крышкой и окончательную герметизацию.

Конденсаторы с расширителями (обычно к ним относятся конденсаторы связи) проходят вакуумную обработку после установки расширителей и сборки с верхней крышкой. Для обезгаживания и индивидуальной заливки пропитывающей жидкости в верхних крышках предусмотрены заливочные отверстия. При сборке конденсаторов с расширителями отвод выемной части с защитной прокладкой поднимают на верхний торец корпуса. В случае необходимости в корпус закладывают заполнитель. Затем на выемной части поочередно размещают расширители, которые от щек выемной части и выступающих деталей верхней крышки защищают стальными дисками и изоляционными прокладками.

Расширители, применяемые для компенсации температурного изменения объема пропитывающей жидкости, должны быть герметичными. Проверку на герметичность проводят дважды. Для первой проверки, выявляющей грубые течи, расширитель погружают в нагретое до 50—60° С конденсаторное масло и слегка сжимают. Места течи обнаруживают по появлению пузырьков воздуха. Для второй проверки, выявляющей малые течи, расширители укладывают в струбины и выдерживают под вакуумом при давлении не более 100 Па в течение нескольких часов. Негерметичные расширители обнаруживают по вогнутым внутрь стенкам.

Сборка верхних крышек с корпусом для всех конденсаторов не отличается от сборки нижних крышек, за исключением того, что при установке верхних крышек к ним присоединяют отводы выемных частей болтами или непосредственно припайкой к крышке.

Обезгаживание и заливка пропитывающей жидкостью под вакуумом собранных конденсаторов. В процессе сборки выемные части конденсаторов некоторое время находятся на воздухе, что приводит к неизбежному попаданию его в секции, главным образом с их торцовых сторон, и ухудшению первоначальных электрических характеристик конденсаторов. Поэтому после сборки конденсаторы необходимо подвергать откачке для максимально возможного удаления воздушных включений с последующей заливкой пропитывающей жидкостью под вакуумом.

Откачку конденсаторов выполняют в специальных шкафах, снабженных механическими насосами. Для этой

цели с успехом могут быть использованы и термовакуумные шкафы, применяемые для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов. Откачку крупногабаритных конденсаторов можно выполнять также непосредственным подключением их к вакуумному насосу. Откачку производят при остаточном давлении не выше 20 Па и температуре 25—50° С. Ее продолжительность зависит от габаритов конденсаторов и составляет от 6 до 20 ч.

Доливка пропитывающей жидкости и герметизация конденсаторов. В большинстве случаев конденсаторы предназначены для работы в широком диапазоне температур (от —40 до 70—90°С). Естественно, что в результате температурного изменения объема пропитывающей жидкости внутри конденсаторов могут происходить изменения давления также в значительных пределах. При этом в конденсаторах могут возникать давления выше или ниже атмосферного.

Возникновение чрезмерно высоких давлений связано с опасностью нарушения герметичности и даже разрушения корпуса конденсатора. Появление вакуума представляет собой опасность засасывания атмосферного воздуха внутрь конденсаторов и постепенного их увлажнения в случае нарушения герметичности. Кроме того, вакуум в конденсаторах вызывает понижение напряжения возникновения частичных разрядов, что особенно опасно для конденсаторов переменного тока.

В конструкциях конденсаторов обычно предусматривается возможность компенсации температурного изменения объема пропитывающей жидкости в таких пределах, которые исключают появление опасных давлений и вакуума внутри конденсаторов. Например, компенсация температурного изменения объема пропитывающей жидкости конденсаторов в металлических корпусах достигается упругой деформацией стенок корпусов. Однако, если герметизацию этих конденсаторов производить при низких температурах, в процессе эксплуатации в них могут возникать недопустимо высокие давления. Наоборот, если герметизацию выполнять при высоких температурах, в конденсаторах будет постоянно поддерживаться давление ниже атмосферного. Таким образом выбор температуры, при которой необходимо производить герметизацию конденсаторов, имеет большое значение.

Обычно герметизацию конденсаторов в металлических корпусах осуществляют при 30—60° С. Поэтому перед

герметизацией выгружаемые из шкафа конденсаторы необходимо охладить до указанной температуры. Непосредственно перед герметизацией конденсаторы должны быть полностью залиты пропитывающей жидкостью во избежание насыщения воздухом и оголения секций при наклонных конденсаторов. Кроме того, недолив пропитывающей жидкости (наличие воздушной подушки) может вызвать значительное изменение уровня пропитывающей жидкости в конденсаторах при изменении температуры и привести к снижению электрической прочности изоляции выводов. Как правило, уровень пропитывающей жидкости в конденсаторах к моменту герметизации понижается. Это происходит как в результате охлаждения конденсаторов после выгрузки, так и вследствие деформации (вспучивания) стенок корпусов из-за возникновения разности давлений на их внутренних и наружных поверхностях при сливе пропитывающей жидкости из шкафа после пропитки.

Доливку конденсаторов производят сухой обезгаженной жидкостью. Время пребывания конденсаторов на воздухе с момента выгрузки до окончательной герметизации должно быть минимальным.

Качество конденсаторов значительно повышается, если сушку и пропитку их выполняют с установленными на заливочные отверстия технологическими трубками и производят индивидуальную заливку. В этом случае исключается непосредственное соприкосновение с атмосферой пропитывающей жидкости, находящейся в конденсаторе, и проникновение в нее влаги и воздуха. Одновременно исключается необходимость доливки конденсаторов перед окончательной герметизацией, так как понижение уровня пропитывающей жидкости в конденсаторах может быть скомпенсировано пропитывающей жидкостью, находящейся в трубках. Непосредственно перед герметизацией трубки снимают.

Поскольку жесткие фарфоровые и бакелитовые корпуса не обладают деформацией, способной компенсировать изменение объема пропитывающей жидкости, в конденсаторах некоторых типов компенсация осуществляется воздушной подушкой, которая создается в результате неполной доливки их пропитывающей жидкостью при герметизации. К этой группе конденсаторов относятся главным образом конденсаторы постоянного тока, предназначенные для работы во внутренних установках при неболь-

ших колебаниях окружающей температуры. В таких конденсаторах для компенсации изменения объема пропитывающей жидкости объем воздушной подушки требуется небольшой. Однако при незначительном недоливе пропитывающей жидкости возможно оголение секций при перевертывании конденсаторов, поэтому после откачки их перевертывание не допускается.

В конденсаторах, предназначенных для работы в наружных и ответственных установках (конденсаторы связи и др.), недопустимо не только наличие воздушной подушки, но и возникновение давлений ниже атмосферного во всем диапазоне рабочих температур. Поэтому перед герметизацией в таких конденсаторах создается избыточное давление пропитывающей жидкости, для чего в крышках конденсаторов помимо заливочных отверстий предусматривают отверстия с обратными клапанами.

Сохранение избыточного давления внутри конденсаторов во всем интервале рабочих температур связано с появлением значительных давлений в области положительных температур. Следовательно, корпуса конденсаторов должны обладать повышенной механической прочностью.

Доливку конденсаторов и создание в них избыточного давления масла производят с помощью ручного или механического насоса, который подключают к обратным клапанам конденсаторов гибким шлангом со штуцером. Для контроля создаваемого в конденсаторах давления на штуцере устанавливают стрелочный манометр.

При доливке и создании избыточного давления конденсаторы во избежание образования воздушной подушки необходимо располагать в строго вертикальном положении. Во время доливки пропитывающей жидкости заливочные отверстия конденсаторов должны быть открыты для свободного выхода воздуха. После появления пропитывающей жидкости в заливочных отверстиях их герметизируют. Затем в конденсаторе создают заданное избыточное давление пропитывающей жидкости и герметизируют отверстия с обратными клапанами.

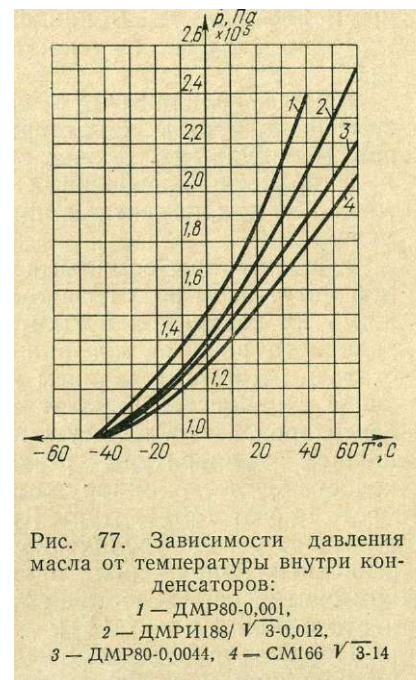
Избыточное давление в конденсаторах можно создавать при любой температуре, однако при разных температурах конденсаторов оно будет различно. Практически создаваемое давление в зависимости от температуры для каждого типа конденсаторов определяют по графикам, полученным на основании опытных данных (рис. 77).

Для доливки конденсаторов и создания в них избыточного давления надо использовать сухую обезгаженную пропитывающую жидкость.

Герметизацию конденсаторов в металлических корпусах осуществляют напайкой на заливочные отверстия металлических колпачков. В конденсаторах с избыточным давлением заливочные отверстия с обратными клапанами закрывают пробками с резиновыми прокладками и заливают припоем.

При пайке заливочных отверстий следует избегать применения каких-либо флюсов из-за возможного попадания их внутрь конденсаторов. Для запайки используют специальные (фасонные) паяльники мощностью 500 Вт на напряжение 36 В. Рабочие места должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией.

После герметизации конденсаторы обезжируют на моечной машине (в качестве растворителей применяют трихлорэтилен или моющие составы), а затем отправляют на испытания.



§ 55. Влияние процесса сушки и пропитки на электрические характеристики и срок службы конденсаторов

Вакуумная сушка и пропитка конденсаторов являются наиболее важным процессом в технологическом цикле изготовления конденсаторов. От их качества в значительной степени зависят электрические характеристики конденсаторов и их стабильность.

Важнейшей электрической характеристикой, в наибольшей степени зависящей от сушки и пропитки и опре-

деляющей качество конденсаторов, является тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$.

У качественных конденсаторов значения $\operatorname{tg}\delta$ не должны превышать 0,12—0,05% для бумажно-пленочных, 0,18—0,25%—для бумажно-масляных и 0,20—0,40%—для бумажных конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами. В конденсаторах, пропитанных касторовым маслом, допускаются более высокие значения $\operatorname{tg}\delta$.

Малые величины $\operatorname{tg}\delta$ при комнатной температуре еще не полностью характеризуют качество конденсаторов. Величина $\operatorname{tg}\delta$ должна оставаться стабильной также и в области повышенных рабочих температур и не меняться при изменении напряжения в широких пределах.

Конденсаторы с малыми и стабильными значениями $\operatorname{tg}\delta$ могут быть получены только при условии строгого режима их вакуумной сушки и пропитки. Отклонения от заданного режима, связанные с недосушкой или недостаточным обезгаживанием конденсаторов и пропитывающей жидкости, приводят к нестабильности $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов. Из-за недосушки $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов с повышением температуры резко увеличивается, поэтому недосушку легко обнаружить, если определить зависимость $\operatorname{tg}\delta$ от температуры [$\operatorname{tg}\delta=f(t)$]. Наличие воздуха вызывает резкое увеличение $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов при повышенных напряжениях и также легко обнаруживается при снятии зависимости $\operatorname{tg}\delta$ от напряженности электрического поля [$\operatorname{tg}\delta=f(E)$].

Помимо недосушки и недостаточного обезгаживания на величину и стабильность $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов в значительной степени влияют различного рода загрязнения. Присутствие загрязнений (ионных примесей) может быть выявлено при снятии зависимости $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов от температуры и напряжения (напряженности электрического поля).

На рис. 78 показаны зависимости тангенса угла потерь от температуры для конденсаторов, пропитанных минеральным маслом и ТХД. Кривые 1 относятся к конденсаторам, прошедшим нормальный процесс вакуумной сушки и пропитки. В области положительных рабочих температур угол потерь этих конденсаторов имеет минимальные значения и практически остается постоянным.

Кривые 2, имеющие U-образный вид, относятся к конденсаторам, у которых при вакуумной сушке недостаточно удалена влага. В этом случае $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов при температуре 40—50°С имеет минимум, который, однако, значительно выше $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов, прошедших нормальную сушку. Подъем кривой $\operatorname{tg}\delta$ слева от минимума (с понижением температуры) обусловлен



возрастанием влияния дипольных потерь недосушенной бумаги. Подъем кривой $\operatorname{tg}\delta$ справа от минимума объясняется увеличением потерь проводимости в недосушенной бумаге ввиду возрастания подвижности ионов с повышением температуры.

Кривые 3 относятся к конденсаторам, прошедшим нормальный процесс сушки и пропитки, но при изготовлении в эти конденсаторы были внесены загрязнения. Поскольку загрязнения обычно являются ионными примесями, их присутствие в конденсаторе также вызывает резкое возрастание $\operatorname{tg}\delta$ с повышением температуры. При этом $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов, пропитанных ТХД, загрязненных канифолью, имеет характерный максимум при температуре 60°С. Аналогичный максимум наблюдается у этих конденсаторов, изготовленных из фольги, загрязненной маслами, которые применяют в качестве смазки при ее прокатке.

Зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от напряженности электрического поля показаны на рис. 79. Кривые 1 характеризуют собой конденсаторы, прошедшие нормальный процесс сушки и пропитки. Величина $\operatorname{tg}\delta$ этих конденсаторов практически не зависит от напряженности электрического поля до 50—60 В/мм.

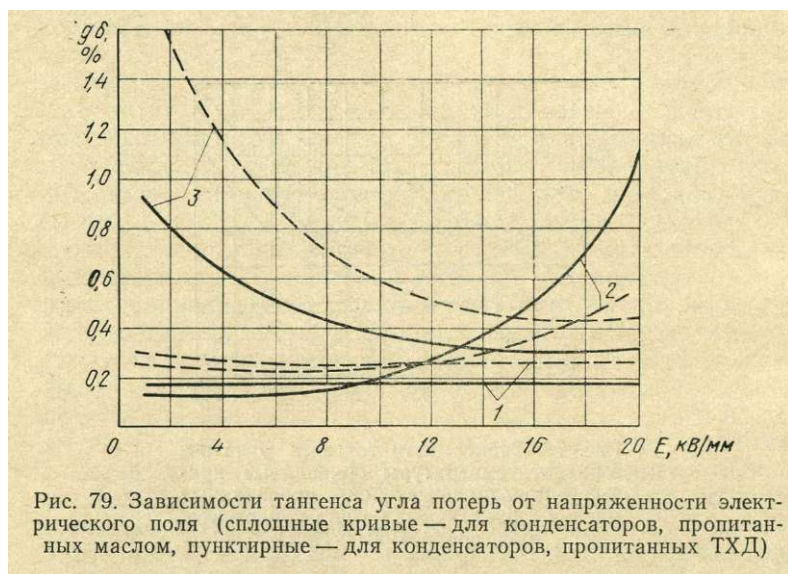


Рис. 79. Зависимости тангенса угла потерь от напряженности электрического поля (сплошные кривые — для конденсаторов, пропитанных маслом, пунктирные — для конденсаторов, пропитанных ТХД)

Кривыми 2 представлена зависимость $\operatorname{tg}\delta$ от напряженности электрического поля для конденсаторов с наличием воздуха. Характерным для таких конденсаторов является то, что при малых напряженностях электрического поля наблюдаются низкие значения $\operatorname{tg}\delta$, так как воздух не имеет потерь. Однако при повышении напряжения, начиная с некоторого критического значения, угол потерь конденсаторов резко возрастает, что объясняется ионизацией воздушных включений в диэлектрике или у краев обкладок. Напряжение возникновения частичных разрядов тем ниже, чем больше растворенного воздуха находится в конденсаторе. При большом количестве воздуха ионизация в конденсаторе может происходить при напряжениях значительно ниже рабочего.

Кривые 3 показывают зависимость $\operatorname{tg}\delta$ от напряженности электрического поля для конденсаторов с загряз-

нениями. Растворенные загрязнения (ионные примеси) в конденсаторе вызывают при снижении напряжения (в области небольших напряженностей) возрастание угла потерь, особенно заметное при повышенных температурах. В этом случае значительную часть общих потерь конденсатора составляют потери, обусловленные колебательным движением ионов в прослойках пропитывающей жидкости, находящейся в зазорах между слоями диэлектрика. Возрастание угла потерь с понижением напряжения может быть объяснено следующим образом. Если напряжение достаточно высокое, амплитуда колебаний ионов ограничивается величиной зазоров между слоями диэлектрика. При снижении напряжения активные потери остаются постоянными, поскольку колебания ионов все еще происходят в пределах зазоров между слоями диэлектрика, а реактивная мощность конденсатора, зависящая от квадрата величины напряжения, резко уменьшается. Поэтому отношение активной мощности потерь к реактивной мощности конденсатора (тангенс угла диэлектрических потерь) с понижением напряжения возрастает.

Тангенс угла диэлектрических потерь достигает максимального значения при снижении напряжений до такой величины, при которой амплитуда колебаний ионов становится равной толщине зазоров в диэлектрике. Поскольку полярные пропитывающие жидкости обладают повышенной проводимостью и более чувствительны к загрязнениям, чем неполярные, зависимость угла потерь от напряжения у конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами, выражена более резко, чем у конденсаторов, пропитанных конденсаторным маслом.

Таким образом, определив зависимость тангенса угла потерь готовых конденсаторов от температуры и напряжения, можно с определенной точностью судить о тех или иных отклонениях, допущенных при вакуумной сушке и пропитке или при сборке конденсаторов.

Кроме того, отклонения от установленной технологии для конденсаторов переменного тока могут быть выявлены при их длительных испытаниях повышенным напряжением, которые проводят в течение 48 ч при напряжении 1,2 номинального и температуре окружающей среды 20—30° С.

В конденсаторах, имеющих повышенные потери из-за недосушки или загрязнений, в процессе длительных ис-

пытаний происходит значительный перегрев диэлектрика по отношению к температуре окружающей среды. Такой перегрев, намного превышающий допустимый для качественных конденсаторов, приводит к нарушению теплового равновесия, при котором выделяющееся в конденсаторе тепло не успевает полностью отводиться стенками корпуса. Нарушение теплового равновесия вызывает быстрый рост температуры диэлектрика и пробой конденсатора.

Если конденсаторы плохо обезгажены или насыщены воздухом, при длительных испытаниях в них быстро развиваются частичные разряды, которые выводят конденсаторы из строя не только из-за возрастания температуры, вызванного появлением потерь на ионизацию, но и вследствие разрушения диэлектрика под воздействием разрядов. В бумажно-масляных конденсаторах частичные разряды сопровождаются в результате разложения масла обильным выделением газов и образованием твердых продуктов. Поэтому внутри конденсатора возникают высокие давления, которые еще до наступления пробоя диэлектрика вызывают вспучивание корпуса конденсатора.

Высокие стабильные характеристики конденсатора являются непременным условием их длительной и безаварийной работы. Естественно, что такие характеристики могут быть обеспечены только при строгом соблюдении технологии на всех стадиях производства конденсаторов и в первую очередь при их вакуумной сушке и пропитке.

Контрольные вопросы

1. Что называется паром и газом?
2. Укажите способы сушки влажных материалов.
3. Для чего производят вакуумную сушку и пропитку конденсаторов?
4. Расскажите об устройстве установки для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов.
5. Как устроены насосы ВН-6Г, 6ДВН-1500 и БН-4500 и каковы правила их обслуживания?
6. Для чего служат конденсаторы влаги и охлаждаемые ловушки?
7. Для чего производят тщательную очистку конденсаторов перед загрузкой в шкафы?
8. Какие факторы определяют степень высушиваемости конденсаторов?
9. Расскажите об основных периодах сушки конденсаторов.
10. Как избегают увлажнения насоса в процессе сушки конденсаторов?

11. Чем объясняется понижение температуры конденсаторов при интенсивном выделении влаги?

12. Почему изменяется емкость конденсаторов в процессе сушки?

13. Почему недопустимо нарушение вакуума в период окончательной сушки и при заливке конденсаторов пропитывающей жидкостью?

14. Чем вызвана необходимость герметизации конденсаторов непосредственно после выгрузки из шкафа?

15. Какое влияние оказывают на срок службы конденсаторов нарушения процесса термовакuumной обработки?

16. Каким образом у готовых конденсаторов могут быть выявлены нарушения, допущенные при сушке и пропитке или при сборке?