

ВАКУУМ-НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И. Г. РУТКЕВИЧ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»

Москва-1971

**Вакуум-насосные установки в пищевой промышленности.
Руткевич И. Г., 1971.**

В книге рассматриваются современные установки, применяемые в пищевой промышленности для создания и поддержания вакуума. Описаны принципы действия, устройство и эксплуатация вакуум-насосов, конденсаторов и вспомогательных устройств. Приведены методы испытаний вакуум-установок, а также сведения по выбору и расчету их основных элементов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами создания, реконструкции и эксплуатации вакуум-установок. Она может быть полезна также проектировщикам и студентам.

Таблиц 11, иллюстраций 59, библиография 43 названия.

Рецензент канд. техн. наук *Г. В. Зарембо*.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из эффективных средств совершенствования многих технологических процессов пищевой промышленности является использование вакуума. Последний позволяет повысить качество продукции, производительность труда и оборудования, экономичность работы предприятий, улучшить условия труда, поднять на более высокий уровень культуру производства.

Сфера применения вакуума в пищевых производствах в настоящее время широка и разнообразна. В основных отраслях пищевой промышленности — в сахарной, масло-жировой, маргариновой, парфюмерно-косметической и консервно-концентратной — широко используется вакуум. Другие отрасли пищевой промышленности — спиртовая, ликеро-водочная, винодельческая, кондитерская, дрожжевая, соляная — используют вакуум в отдельных технологических процессах.

Значение вакуума для отдельных технологических процессов различно.

Многие технологические процессы (дистилляция и ректификация жирных кислот, дезодорация и физическая рафинация масел и жиров, сублимационная сушка) немыслимы без вакуума. Другие процессы (выпаривание свекловичного сока, глицериновой воды и других продуктов, кристаллизация, сушка, фильтрация, охлаждение и т. п.) проводятся в большинстве случаев в условиях вакуума, создающего для них оптимальные условия.

Области применения вакуума в пищевых производствах чрезвычайно разнообразны. Это видно из их краткого перечня.

Вакуумные дистилляция и ректификация, часто называемые перегонкой (простой и сложной), широко используются в масло-жировой, маргариновой, парфюмерно-косметической, спиртовой и ликеро-водочной отраслях.

Все растительные масла и жиры, получаемые методом экстракции, освобождаются от растворителя путем дистилляции мисцеллы.

Методом «физической рафинации» — дистилляцией при глубоком вакууме — наиболее экономично может осуществляться очистка высококислотных масел и жиров.

Процесс дезодорации, являющийся частным случаем вакуумной дистилляции, повсеместно применяется для получения высококачественных пищевых масел и жиров.

Очистка жирных кислот методом дистилляции позволяет использовать их для производства высококачественных моющих средств.

Потребности различных отраслей химической промышленности в отдельных фракциях натуральных жирных кислот удовлетворяются масло-жировой промышленностью путем ректификации смесей жирных кислот.

Очистка значительной части глицерина производится путем его перегонки в дистилляционных установках.

В парфюмерно-косметической и эфирномасличной промышленности дистилляцией под вакуумом производится очистка или разделение различных эфирных масел.

Использование ректификации для очистки спирта — общезвестно.

Процесс выпаривания под вакуумом используется при производстве сахара, томат-пасты, глицерина и других пищевых продуктов.

Применение вакуума при выпаривании позволяет:

- а) уменьшить поверхность нагрева выпарных аппаратов;
- б) использовать для обогрева аппаратов отработанный пар или пар низкого давления;
- в) использовать водяной пар для выпаривания растворов, кипящих при очень высоких температурах в условиях атмосферного давления;
- г) производить выпаривание растворов, которые невозможно выпаривать при атмосферном давлении из-за их порчи;
- д) осуществлять многоступенчатое выпаривание без повышения давления первичного греющего пара.

При многоступенчатом выпаривании можно использовать пар, образующийся при выпаривании раствора (вторичный, или соковый), для выпаривания этого же раствора в последующих ступенях многокорпусной выпарки, что повышает экономичность выпарной установки.

Вакуум-кристаллизация, представляющая собой процесс выделения твердого вещества из раствора, является основным способом получения сахара-песка.

Вакуумная деаэрация (дегазация) представляет собой процесс удаления воздуха (газов), содержащегося в обрабатываемом продукте.

Деаэрации подвергаются масла и жиры перед их дезодорацией, а также масла, жиры и жирные кислоты перед дистилляцией или ректификацией, так как это предотвращает окисление их при последующем высокотемпературном нагреве.

Деаэрация используется также при производстве соков и напитков, а также при консервировании. В последнем случае деаэрация иногда совмещается с пастеризацией.

Охлаждение в условиях вакуума довольно часто используется в различных пищевых производствах как самостоятельный процесс, так и в сочетании с другими технологическими процессами (сушкой, выпариванием и кристаллизацией). Вакуумное охлаждение широко используется при охлаждении пищевых продуктов после их варки или выпарки, а также при кристаллизации.

Распространенный метод производства мыла под вакуумом сочетает процессы охлаждения и сушки. При этом под давлением и при температуре (от 90 до 140°С), зависящей от технологического режима, мыло подается в вакуум-сушильную камеру, в которой оно распыляется; за счет испарения мыло мгновенно теряет часть содержащейся в нем влаги и охлаждается. В камере поддерживается абсолютное давление около $2,7\text{--}4,0 \text{ кн/м}^2$ (20—30 мм рт. ст.), при котором температура кипения воды составляет 22—29°С.

Сушка продуктов под вакуумом аналогична вышеописанному охлаждению. Кроме интенсивного удаления влаги, при сушке снижается температура продукта, уменьшаются потери тепла и возможно улавливание ценных или агрессивных паров.

В последние два десятилетия широкое применение получила сублимационная сушка, происходящая при давлениях $0,01\text{--}0,3 \text{ кн/м}^2$ (0,1—2,5 мм рт. ст.) и даже меньших в условиях отрицательных температур, при которых вода находится в твердом состоянии и испаряется без плавления.

Фильтрация — процесс, широко используемый почти во всех отраслях пищевой промышленности для разделения различных суспензий. Чтобы получить представление о том, как используется вакуум при фильтрации, приводим классификацию вакуум-фильтров (рис. 1).

Создание безопасных условий работы при использовании в производстве легковоспламеняющихся или токсичных жидкостей путем поддержания вакуума в аппаратах, содержащих такие среды, получило в последние два десятилетия большое распространение, особенно в маслоэкстракционном производстве. При наличии небольшого разрежения в аппаратах, содержащих бензин, попадание его паров в помещение исключается.

Хранение продуктов под вакуумом используется на предприятиях парфюмерно-косметической, масло-жировой, маргариновой и других отраслей в случаях, когда длительный контакт этих продуктов с воздухом ухудшает их качество.

Расфасовка при помощи вакуума повсеместно применяется при розливе духов, одеколонов и других парфюмерно-косметических и иных жидкостей. Этот

метод по сравнению с безвакуумным является более экономичным и производительным, так как он позволяет: а) автоматически регулировать высоту налива; б) снижать потери продуктов; в) избежать обливания флаконов; г) улучшать санитарные условия для работающих.

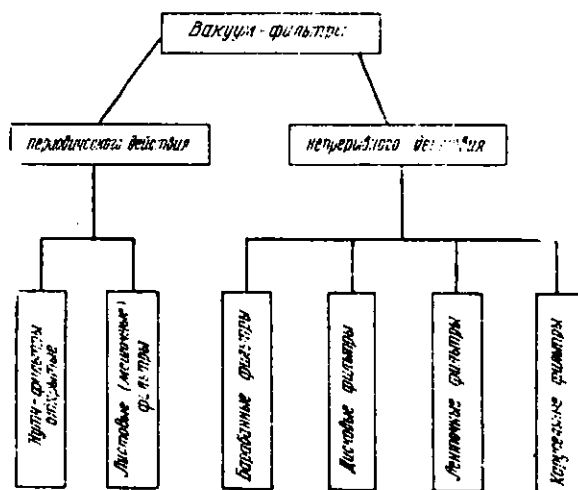


Рис. 1. Классификация вакуум-фильтров.

Расфасовка некоторых продуктов (консервов, майонеза и др.) в герметичную тару в условиях вакуума используется с целью увеличения срока их годности.

Этикетировка и другие вспомогательные операции, выполняемые при помощи вакуума, используются в ряде производств для механизации и автоматизации отдельных операций при расфасовке и упаковке массовой продукции (консервов, парфюмерно-косметических изделий, напитков и т. п.).

Пневмотранспорт жидкостей используется на многих производствах для перемещения различных технологических жидких сред за счет перепада давлений, создаваемого вакуумом. Таким путем загружают и разгружают аппараты. Это позволяет упростить трубопроводы и обходиться без насосов, что особенно важно при едких, токсичных и коррозионных жидкостях и абразивных суспензиях.

С большим успехом вакуум используется при пересасывании из тары (бутыл, бочек и т. п.) и автокистерн в стационарные емкости различных едких жидкостей — кислот или щелочей.

Применение вакуума для зачистки производственных аппаратов и емкостей от остатков сырья или продуктов позволяет механизировать такие работы.

При перемещении жидкостей вакуумом возможен их подъем в пределах барометрической высоты.

В последние годы находит применение всасывающая система для пневмотранспорта различных сыпучих материалов, обладающая существенным преимуществом перед нагнетательной системой, особенно в условиях перемещения материалов из разных точек к одному пункту (при небольшой длине трубопроводов).

Такие системы пневмотранспорта применяются на некоторых предприятиях масло-жировой промышленности для разгрузки вагонов и транспортирования кальцинированной соды, поваренной соли, отбелочной земли и других материалов.

В довоенный период вакуум-насосные установки (ВНУ), применяемые на предприятиях пищевой промышленности, имели незначительную производитель-

ность, были оснащены поршневыми, в основном горизонтальными, одноступенчатыми вакуум-насосами (ВН) различных типов, производительностью от 1,5 до 15 м³/мин. Конденсаторы этих ВНУ — исключительно конденсаторы смешения, главным образом каскадные, плоскоструйные. Питание их охлаждающей водой осуществлялось, как правило, от прямоточных систем водоснабжения. Такие ВНУ позволяли создавать в обслуживаемых технологических установках вакуум с остаточным давлением около 30 мм рт. ст. (4 кн/м²) и более.

В послевоенный период, при восстановлении старых и строительстве новых пищевых предприятий, ВНУ начинают оснащаться водокольцевыми ВН, быстро завоевавшими общее признание, особенно в сахарной промышленности. В связи с этим было начато производство отечественных водокольцевых ВН типа РМК (РМК-2, РМК-3 и РМК-4), получивших распространение на пищевых предприятиях.

Одновременно на некоторых предприятиях масло-жировой и маргариновой отраслей промышленности начинается использование парожеткорных вакуум-насосов (ПЭВН) для процессов дезодорации пищевых масел и жиров, создающих остаточное давление до 10 мм рт. ст. (1,33 кн/м²).

В последующие годы (1955—1960 гг.) происходит дальнейший и существенный сдвиг в развитии вакуумных установок (ВУ), характеризующийся увеличением глубины вакуума, производительности ВНУ и широким применением вакуума для технологических процессов. Кроме водокольцевых и парожеткорных ВН, распространение получили ротационные ВН с масляным уплотнением, способные при отсасывании сухих газов и парогазовых смесей создавать без конденсаторов вакуум с остаточным давлением до 1 мм рт. ст. (0,133 кн/м²). Эти ВН компактны и легко встраиваются в оборудование различных технологических линий.

В настоящее время отечественной промышленностью производятся ВН различных типов: поршневые, водокольцевые, ротационные с масляным уплотнением, многопластинчатые и двухроторные, а также ПЭВН, обеспечивающие необходимую производительность ВНУ и создающие вакуум с абсолютным давлением до 1 мм рт. ст. (0,133 кн/м²) и ниже.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВАКУУМЕ И ВАКУУМ-НАСОСАХ

Давление окружающего нас воздуха (земной атмосферы) называют атмосферным или барометрическим давлением. Его величина на уровне моря равна 760 мм рт. ст., 101,3 кн/м² или 10332 мм вод. ст.

В сосуде, соединенном с окружающей атмосферой, давление равно атмосферному. Если из этого сосуда откачать часть воздуха, то давление в нем уменьшится и будет ниже атмосферного. Состояние газообразной среды, давление в которой ниже атмосферного, называют вакуумом или разрежением.

Согласно ГОСТ 5197—50 «Вакуумная техника. Терминология»:

а) вакуум или разрежение — состояние газа, имеющего плотность меньшую, чем его плотность при абсолютном давлении в одну физическую атмосферу и при температуре 0° С;

б) абсолютное давление — давление, отсчитываемое от абсолютного нуля (в пространстве, где отсутствует движение молекул, давление равно абсолютно нулю).

Параметром состояния (давление) газообразной среды является только абсолютное давление.

В технике различают вакуум низкий, средний, высокий и сверхвысокий. В настоящее время в пищевых производствах используется главным образом низкий вакуум. Поэтому дальнейшее изложение будет касаться в основном низковакуумных установок, создающих абсолютное давление в пределах от 101,3 до 0,133 кн/м² (от 760 до 1 мм рт. ст.).

Давление в условиях вакуума измеряется различными единицами. Абсолютное давление измеряют следующими единицами:

- а) ньютон на квадратный метр (н/м²);
- б) килоньютон на квадратный метр (кн/м²);
- в) миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.);
- г) килограмм-сила на квадратный сантиметр (кгс/см²).

В приложении I приведены единицы измерения давления и соотношения между ними.

Еще нередко при определении величины вакуума (разрежения) отсчет ведут от условного нуля, за который принято атмосферное давление, переменное по своему абсолютному значению. При этом используются (обычно) единицы измерения: мм рт. ст.; кгс/см² и проценты (от величины атмосферного давления). Из-за условности этого метода пользоваться им не рекомендуется.

Давление выше атмосферного принято называть избыточным (манометрическим). Поэтому абсолютное давление $P_{абс}$, когда оно больше атмосферного, равно сумме избыточного (манометрического) давления $P_{изб}$ и атмосферного (барометрического) давления B , т. е.

$$P_{абс} = P_{изб} + B. \quad (1)$$

При использовании вакуума приходится иметь дело с газами, парами и их смесями (паро-газовыми). Разреженные газы по своим физическим свойствам мало отличаются от идеальных газов; поэтому при определении их состояния

можно без каких-либо поправок пользоваться законами для идеальных газов. При этом важно отличать газы от паров и определять состояние паров.

Критерием для установления, является ли данное газообразное вещество газом или паром, является его критическая температура, т. е. температура вещества, выше которой оно может существовать только в газообразном состоянии.

Паром называется газообразное вещество, имеющее температуру ниже критической. Если пар имеет температуру, превышающую температуру насыщения, т. е. если пар находится в перегретом состоянии, к нему применимы законы для идеальных газов.

Вакуум-насосом, или вакуумным насосом (ВН), называется машина, предназначенная для создания вакуума в вакуумных аппаратах или в системах путем отсасывания из них газов, паров или их смесей.

Каждый ВН характеризуется: а) давлением всасывания (всасывания); б) давлением выпускным (выхлопным); в) производительностью.

Давление всасываемое, создаваемое ВН, бывает:

а) предельное — наименьшее давление, которое может быть создано ВН при нулевой производительности (при заглушенном всасывающем штуцере);

б) нормальное (рабочее) давление, создаваемое ВН перед его всасывающим штуцером при нормальных условиях (производительности, температуре и т. п.).

Давление выпускное (выхлопное) ВН. Обычно в характеристике насоса указывается наибольшее давление выхлона (выпуска), при котором обеспечивается нормальная работа вакуум-насоса.

Производительность ВН может быть:

а) массовая G , равная количеству (массе) газа, пара или их смеси, отсасываемому в единицу времени (обычно измеряется в кг/сек);

б) объемная V , равная объему газа, пара или их смеси, отсасываемому в единицу времени (обычно измеряется в м³/сек, а также в м³/мин, м³/ч или дм³/сек).

Массовая и объемная производительности связаны следующими соотношениями:

$$G = V \cdot \rho = \frac{V}{v} \text{ кг/сек}; \quad (2)$$

$$V = \frac{G}{\rho} = G v \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (3)$$

где v и ρ — объем единицы массы и плотность отсасываемой газообразной среды.

По основному принципу действия вакуум-насосы делятся на:

а) объемные насосы, характеризующиеся постоянной объемной производительностью, т. е. постоянным объемом газа, отсасываемого в единицу времени при давлении всасывания;

б) струйные (эжекционные) насосы, действие которых основано на увлечении отсасываемого газа струей рабочей среды (пара, газа или жидкости) за счет его диффузии и поверхностного трения при движении с большой скоростью;

в) комбинированные (смешанные) насосы, представляющие собой сочетание различных типов струйных и объемных насосов.

Объемные насосы делятся на: 1) поршневые; 2) ротационные (вращательные) с масляным уплотнением; 3) ротационные многопластинчатые; 4) ротационные двухроторные (типа Рутса, РГН и др.); 5) водокольцевые (жидкостно-кольцевые).

К струйным насосам относятся: 1) парозежекторные (пароструйные); 2) газоструйные; 3) водоструйные.

Встречаются следующие комбинированные (смешанные) насосы, состоящие из струйных и объемных насосов: 1) пароструйный эжектор с водоструйным; 2) пароструйный эжектор с поршневым вакуум-насосом; 3) газоструйный эжектор с водокольцевым вакуум-насосом; 4) газоструйный эжектор с ротационным многопластинчатым вакуум-насосом; 5) двухроторный (типа Рутса) вакуум-на-

сос с водокольцевым вакуум-насосом; 6) двухроторный (типа Рутса) вакуум-насос с ротационным вакуум-насосом с масляным уплотнением.

Процесс работы вакуум-насоса происходит при изменении объема газа, сопровождающемся одновременным изменением его давления и температуры.

Процесс изменения состояния газа при сжатии зависит от теплообмена между сжимаемым газом и окружающей его средой. Такой теплообмен практически неизбежен, а часто даже и необходим, в связи с чем используют искусственное охлаждение сжимаемого газа.

Теоретически могут быть два предельных случая сжатия газов, причем все реальные процессы сжатия газов являются промежуточными между ними.

В первом случае вся теплота, выделяющаяся при сжатии газа, полностью отводится от него, и изменение состояния газа, т. е. изменение его объема и давления, протекает при постоянной температуре. Такой процесс называется *изотермическим*.

Во втором случае вся теплота, выделяющаяся при сжатии газа, полностью остается внутри него, повышая температуру газа. Такой процесс называется *адиабатическим*.

Реальный процесс сжатия газа, при котором одновременно с изменением объема и давления происходит также изменение температуры и отвод тепла, называется *политропическим*.

Повышение температуры при адиабатическом сжатии

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} K, \quad (4)$$

где T_1 и T_2 — температуры газа до и после сжатия в °K;

p_1 и p_2 — давление среды до поступления в вакуум-насос и после выхода из него.

Затрата энергии на сжатие газа будет меньшей при изотермическом процессе; причем, чем выше степень сжатия $\left(\frac{p_2}{p_1} \right)$, тем меньше удельный расход энергии.

на этот процесс. На изотермическое сжатие любого газа при одних и тех же начальных и конечных давлениях расходуется одно и то же количество механической энергии.

Процесс разрежения газа путем засасывания его при давлении ниже атмосферного и последующего сжатия до давления несколько выше атмосферного принципиально не отличается от процесса сжатия газа в компрессоре.

Количество энергии, необходимое для отсасывания газа при давлении 0,1 кгс/см² и выталкивания его при 1 кгс/см² (98,1 кн/м²), очевидно, будет равно количеству энергии сжатия газа при давлениях от 1 до 10 кгс/см² (при одинаковом характере процесса сжатия), так как в обоих случаях отношения конечного давления p_2 к начальному p_1 будут одинаковыми:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{0,1} = \frac{10}{1} = 10.$$

Однако потребная мощность для ВН будет значительно меньше, чем для компрессора тех же размеров, так как удельный объем газа при малом давлении значительно больше. При одинаковых объемных производительностях этих машин масса газа, сжимаемого в единицу времени ВН, будет меньше.

Производительность ВН обычно измеряется в м³. Зная количество энергии, затрачиваемое на 1 м³, легко определить потребную мощность.

На рис. 2 показано количество энергии, необходимое для сжатия 1 м³ газа. Наибольшее количество энергии затрачивается при давлении всасывания, приблизительно равно 35 кн/м². Поэтому для любого объемного вакуум-насоса, работающего с давлением всасывания p_1 , меньшим 35 кн/м², двигатель и привод

должны выбираться по мощности, соответствующей давлению всасывания, равному 35 кг/м^2 (260 мм рт. ст.).

Объемная производительность ВН V измеряется объемом засасываемого газа или парогазовой смеси при условиях всасывания. Поэтому в характеристике ВН обязательно должно быть указано соответствующее давление всасывания.

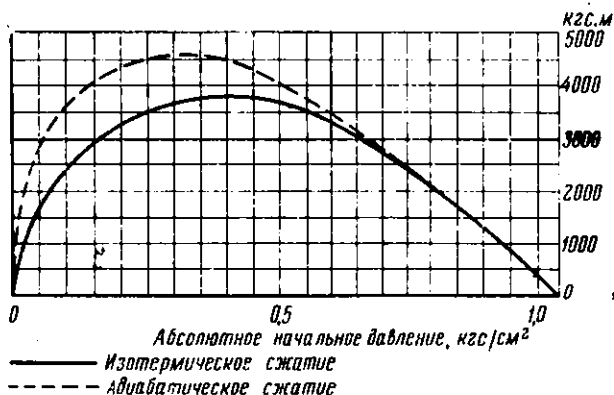


Рис. 2. Количество энергии, необходимое для сжатия 1 м^3 газа.

Рассматриваемые объемные ВН характеризуются тем, что отсасываемая ими газообразная среда подвергается механическому воздействию — сжатию до давления, соответствующего условиям на выходе из насоса. При каждом цикле работы насоса удаляется одинаковый объем газа.

Глава II

ОБЪЕМНЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

1. ПОРШНЕВЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

Поршневые ВН в настоящее время широко распространены в промышленности. Они рассчитаны на отсасывание нейтральных парогазовых смесей без твердых и абразивных частиц. Так как давление, создаваемое этими насосами, колеблется в широких пределах [от 300 (40) до 0,6 (0,08) мм рт. ст. (кг м^2)], то они могут быть применены во всех отраслях пищевой промышленности. Производительность поршневых вакуум-насосов, выпускаемых отечественной промышленностью, находится в пределах от 0,5 до $120 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Являясь надежными машинами, с высоким к. п. д., поршневые ВН имеют ряд существенных недостатков: ограниченная возможность регулирования; значительная масса (вес); потребность в тяжелых фундаментах или опорных конструкциях; сложность ремонтов, необходимость ежедневного обслуживания; гидравлические удары (в суховоздушных вакуум-насосах).

В поршневом ВН газ засасывается и сжимается в результате возвратно-поступательного движения поршня в цилиндре.

Поршневой ВН (рис. 3) представляет собой цилиндр 1, в котором движется поршень 2, уплотненный поршневыми кольцами 3. Посредством штока 4 поршень приводится в возвратно-поступательное движение кривошипно-шатунным механизмом (не показанным на рисунке). Цилиндр герметически закрыт крышками, в которых размещаются всасывающие и нагнетательные клапаны. В одной из крышек через сальник 5 проходит шток 4.

При ходе поршня слева направо в пространстве слева от поршня создается разрежение, открывающее всасывающий клапан 6, и газ по трубопроводу 10 засасывается в левую часть цилиндра. Нагнетательный клапан 8 при этом закрыт. Одновременно с этим газ, находящийся справа от поршня, сжимается до да-

вления выхлопа; после этого нагнетательный клапан 9 открывается, и на всем остальном протяжении хода сжатый газ выталкивается в нагнетательный трубопровод 11, причем давление его остается приблизительно постоянным. При обратном ходе поршня справа налево клапаны 6 и 9 закрыты, а клапаны 7 и 8 открываются и процесс протекает аналогично описанному.

Таким образом, за один оборот вала ВН, т. е. за два хода поршня, процессы всасывания, сжатия и нагнетания происходят в нем дважды. Такой ВН называется вакуум-насосом двойного действия в отличие от вакуум-насоса одинарного действия, у которого используется только одна сторона цилиндра.

Крайние положения поршня, в которых он приближается на предельные расстояния к крышкам, называются «мертвыми» положениями или точками. Пространство между крышкой и поршнем, находящимся в крайнем положении, называется «вредным пространством». Его величина обычно выражается в долях или процентах полного объема, описываемого поршнем за один ход; величина вредного пространства зависит не только от величины зазора между поршнем и крышкой, но и от конструкции крышки и распределительных органов ВН.

Для контроля за работой и состоянием поршневых ВН пользуются так называемыми индикаторными диаграммами, показывающими фактическое изменение давления в полости цилиндра за один оборот вала.

На рис. 4 изображена подобная индикаторная диаграмма ВН.

Всякий процесс сжатия и расширения газа независимо от того, как он протекает, можно выразить общим уравнением политропы:

$$p_1 V_1^m = p_2 V_2^m = \text{const.} \quad (5)$$

Если, пользуясь индикаторной диаграммой (см. рис. 4), при помощи уравнения политропы выразить моменты начала всасывания газа (точка A') и окончания нагнетания (точка D), то получим уравнение

$$p_1 (x V_1)^m = p_2 (\varepsilon V_1)^m. \quad (5a)$$

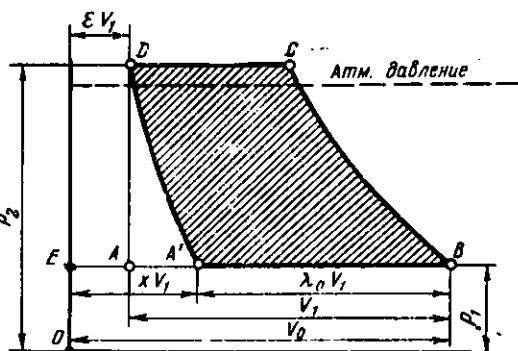


Рис. 4. Теоретическая индикаторная диаграмма поршневого вакуум-насоса.

Величина вредного пространства ВН в долях от V_1

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V_1}{V_1},$$

где V_0 — полный объем полости цилиндра в м^3 ;

V_1 — объем, описываемый поршнем, в м^3 .

Объем вредного пространства составит $\varepsilon V_1 \text{ м}^3$.

Объемный к. п. д. ВН

$$\lambda_0 = \frac{V}{V_1},$$

где V — действительный объем газа, всасываемый за один ход поршня, в м^3 .

Отношение разности между полным объемом полости цилиндра и фактически засасываемым объемом газа к объему, описываемому поршнем,

$$x = \frac{V_0 - \lambda_0 V_1}{V_1}.$$

После преобразования уравнения (5а) получаем

$$x = \varepsilon \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}}. \quad (6)$$

Так как

$$x = \frac{V_0 - \lambda_0 V_1}{V_1} = \frac{\varepsilon V_1 + V_1 - \lambda_0 V_1}{V_1} = \varepsilon + 1 - \lambda_0,$$

то

$$\lambda_0 = 1 + \varepsilon - x. \quad (7)$$

Подставив в последнее уравнение значение x из уравнения (6) и преобразовав его, окончательно получим

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]. \quad (8)$$

Во вредном пространстве находится сжатый газ при давлении нагнетания, который при всасывающем ходе поршня расширяется и тем самым уменьшает объем газа, засасываемого в полость цилиндра, в сравнении с объемом, описываемым поршнем, т. е.

$$V = \lambda_0 V_1 \text{ м}^3. \quad (9)$$

Объемный к. п. д. λ_0 , учитывающий влияние вредного пространства, определяют графически по данным отрезков AB и $A'B$ индикаторной диаграммы ВН.

К моменту начала всасывания (точка A') поршень проходит некоторый объем, и в цилиндре будет находиться газ в объеме, равном xV_1 . Затем открывается всасывающий клапан, через который в цилиндр засасывается газ вплоть до прихода поршня в крайнее положение (точка B). Когда поршень начинает двигаться в обратном направлении, всасывающий клапан закрыт и начинается сжатие газа до точки C , в которой давление сжатия достигает величины p_2 —

давления нагнетания; при этом открывается нагнетательный клапан, через который сжатый газ выталкивается поршнем до конца его хода, т. е. до точки D .

Как видно из диаграммы, от точки D до точки C давление в цилиндре равно давлению нагнетания p_2 и находится на одном уровне, несколько большем атмосферного давления. Это объясняется тем, что давление нагнетания складывается из атмосферного давления и потерь давления при протекании выталкиваемого газа в органах распределения (клапанах, золотниках) и выхлопном трубопроводе ВН.

Практически установлено, что объемный к. п. д. λ_0 зависит не только от величин, входящих в уравнение (8), но и от ряда других величин: сопротивления всасывающих клапанов или золотников, подогрева засасываемого газа горячими стенками цилиндра и крышки, а также газом, оставшимся во вредном пространстве, утечки газа при сжатии. При уменьшении давления всасывания p_1 и повышении давления нагнетания p_2 производительность вакуум-насоса снижается в основном за счет влияния вредного пространства.

С увеличением степени сжатия $\frac{p_2}{p_1}$ (для одной ступени $p_2/p_1=10$ и более) газ, оставшийся во вредном пространстве, будет при расширении занимать все больший объем, соответственно уменьшая объем газа, засасываемого в цилиндр.

Повышая степень сжатия, можно дойти до такого ее предела, когда оставшийся во вредном пространстве газ при обратном ходе поршня полностью займет весь объем цилиндра и, таким образом, прекратится всасывание газа, т. е.

производительность ВН упадет до нуля. В этих условиях $\lambda_0 = \frac{V}{V_1} = 0$ и соответ-

ствующее отношение $\frac{p_2}{p_1}$ является предельной степенью сжатия.

Влияние вредного пространства на работу ВН может быть проиллюстрировано примером [10].

Пример. Величина вредного пространства $\epsilon=0,05$ (5%); давление всасывания $p_1=0,1$ кгс/см²; давление нагнетания $p_2=1$ кгс/см²; степень сжатия $\frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{0,1} = 10$; сжатие изотермическое (для простоты), т. е. $m=1$.

Объемный коэффициент полезного действия [см. формулу (8)]

$$\lambda_0 = 1 - \epsilon \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0,05 \left[\left(\frac{1}{0,1} \right)^1 - 1 \right] = 0,55,$$

т. е. даже в таких условиях объемный к. п. д. ВН получается довольно низким.

При снижении давления всасывания до $p_1=0,0475$ кгс/см² (вакуум $\sim 95,15\%$) отсасывание газа ВН вообще прекратится, так как

$$\lambda_0 = 1 - 0,05 \left[\left(\frac{1}{0,0475} \right)^1 - 1 \right] \approx 0.$$

Поэтому величина вредного пространства в поршневых ВН в 3—5% совершенно недопустима.

Для повышения объемного к. п. д. ВН выполняют с возможно меньшим вредным пространством, доводя его до 1—2% за счет компактности размещения клапанов в крышках ВН, или (что бывает чаще) для этой цели применяют золотниковое распределение.

Значительного увеличения λ_0 можно достигнуть путем выравнивания давлений в конце хода поршня. Эта мера заключается в том, что сжатый газ, заполняющий вредное пространство ВН, быстро перепускают в полость цилиндра, в которой заканчивается ход всасывания при низком давлении. Давления по обе стороны поршня становятся одинаковыми («выравниваются»), и во вредном пространстве давление будет незначительно отличаться от давления всасывания, благодаря чему достигается значительное увеличение λ_0 . При «выравнивании» давления значительно повышается производительность ВН и одновременно увеличивается потребная мощность.

При значительных степенях сжатия поршневые ВН выполняют двухступенчатыми. Это также приводит к повышению объемного к. п. д. и позволяет создавать более высокий вакуум.

Согласно ГОСТ 1867—57 установлены следующие типы поршневых вакуум-насосов (ВН):

ВНК — с клапанным распределением и выравниванием давлений для создания вакуума в пределах от 0 до 95%;

ВНП — с принудительным распределением, одноступенчатые для создания вакуума в пределах от 93 до 99%;

ДВНП — с принудительным распределением, двухступенчатые для создания вакуума от 98% до остаточного давления 0,3 мм рт. ст.

Следует учитывать, что:

а) ВН предназначены для отсасывания воздуха и инертных газов, предварительно освобожденных от капельной влаги и механических примесей;

б) производительность принята при условиях всасывания, т. е. при температуре и давлении газа, измеренных перед всасывающим штуцером, и принимается с допуском $\pm 10\%$ при вакууме, указанном в таблицах;

в) потребляемая мощность принимается при следующих условиях: при температуре всасывания 20° С, давлении нагнетания 760 мм рт. ст. и температуре охлаждающей воды 15° С;

г) ВН типов ВНК и ВНП должны обеспечивать работу с давлением нагнетания выше атмосферного при общем перепаде давлений не более 1,1 кгс/см² (112 км/м²).

Давление всасывания поршневого ВН в основном зависит от величины вредного пространства; от степени уплотнения поршня в цилиндре и сальников; от конструкции и состояния распределительных органов, а также от числа ступеней сжатия.

В послевоенные годы выпускались поршневые ВН типов: НВС-300; НВМ-300; ВНК-0,5М; ВНК-0,75; ВНК-3М; ВНП-3; ВН-120 и др.

На пищевых предприятиях СССР установлено и находится в эксплуатации значительное количество поршневых ВН различных типоразмеров как отечественных, так и импортных. В основном это — горизонтальные, одноступенчатые, двойного действия, суховоздушные ВН с золотниковым распределением, производительностью от 1,5 до 15 м³/мин.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются поршневые ВН типов: ВНК-0,5М; 2ВНК-3М; 2ВНП-3; АВП-9; ДВНП-6. Характеристики поршневых ВН приведены в приложении 4.

Ниже приводим краткие сведения об основных типах поршневых ВН.

Вакуум-насосы ВНК-3М и ВНП-3

Эти насосы являются горизонтальными одноступенчатыми, крейцкопфными, двойного действия. Различаясь в устройстве цилиндров, крышек, поршней, штоков, системе смазки и особенно в распределении, оба вакуум-насоса имеют приводные части аналогичной конструкции и размеров.

ВН типа ВНК-3М — мокровоздушный, с клапанным распределением предназначен для отсасывания парогазовых смесей с примесью капельной жидкости. Всасываемая среда поступает в полости цилиндра через впускные клапаны, после сжатия она выталкивается через выпускные клапаны в атмосферу.

В боковых стенках клапанной коробки имеются четыре отверстия диаметром по 125 мм, из которых два нижних являются всасывающими, а два верхних — нагнетательными. Отверстия, не используемые для присоединения трубопроводов, закрывают заглушками. Поршень — чугунный, дисковый. Он уплотнен четырьмя резиновыми кольцами и подвешен на сквозном штоке. Конструкция поршня позволяет производить поджатие поршневых колец по мере необходимости.

Все клапаны — круглые, самодействующие, с резиновыми пластинами. В каждой полости установлено по два впускных и по два выпускных клапана.

Смазка цилиндра осуществляется влагой, поступающей с всасываемой средой. По этой причине ВН непригоден для отсасывания сухих газов.

ВН типа ВНП-3 — суховоздушный, с золотниковым распределением.

Всасываемый газ или неконденсирующаяся парогазовая смесь поступает в полости цилиндра через золотниковую камеру. В цилиндре газ сжимается и через золотник и выпускной клапан выталкивается в атмосферу. В конце хода поршня обе полости цилиндра соединяются между собой через перепускной канал в золотнике, и давления в них выравниваются.

Золотник — плоский с каналами для прохода и перепуска газа. С наружной стороны золотника, в выпускных каналах, установлены плоские, самодействующие (пружинные) выпускные клапаны. Постоянное прижатие золотника к поверхности золотникового зеркала производится специальной плоской пружиной. Золотник приводится от коленчатого вала через эксцентрик, шатун, тягу и шток. Ход золотника 54 мм.

Смазка цилиндра, сальника и золотника осуществляется от четырехплунжерного масляного насоса. Смазка приводного механизма производится от шестеренчатого масляного насоса, приводимого от коленчатого вала.

ВН приводится в движение через клиноременную передачу, натяжение ремней которой достигается перемещением электродвигателя вдоль салазок.

Основные элементы приводных частей (станина с коренными подшипниками, шатун, кресткопф с пальцем и маховик) у ВН обоих типов одинаковы.

Фундаменты ВН обоих типов также почти одинаковы.

Вакуум-насосы 2ВНК-3М и 2ВНП-3

Эти насосы выпускаются Мелитопольским компрессорным заводом (взамен ВН типов ВНК-3М и ВНП-3) и представляют собой горизонтальные, одноступенчатые кресткопфные машины с одним цилиндром двойного действия. Эти насосы имеют одинаковые размеры и приводные механизмы аналогичной конструкции, но различаются по конструкции цилиндров, их крышек, поршней, штоков, органов распределения, а также по способу смазки. Насосы 2ВНК-3М и 2ВНП-3 имеют много сходного с ВН ВНК-3М и ВНП-3, отличаясь от них в основном улучшенной технической характеристикой, а также общей рамой, на которой смонтированы вакуум-насос и электродвигатель.

ВН типа 2ВНК-3М — мокровоздушный, с комбинированным распределением. Он предназначен для отсасывания парогазовых смесей в насыщенном состоянии или с примесью капельной влаги. Данный насос непригоден для работы на сухом газе, без влаги, а также с примесью твердых, абразивных частиц. Комплектуется с электродвигателями различного исполнения и в зависимости от этого имеет различие в обозначениях:

- а) 2ВНК-3МА — насос с электродвигателем обычного исполнения (АО2-52-8);
- б) 2ВНК-3МБ — насос с электродвигателем взрывозащищенного исполнения (КОИ-6 или ВАО 52-6).

Поршень, перемещаясь в цилиндре, одновременно выполняет роль золотника. Влажная паровоздушная смесь всасывается через щель в средней части цилиндра. При ходе поршня в полости цилиндра создается разрежение, и после того, как поршень открывает щель, происходит процесс всасывания. При обратном ходе поршня всасывающая щель перекрывается и происходит сжатие и выталкивание паровоздушной смеси вместе с влагой через нагнетательный клапан, расположенный в верхней части цилиндра.

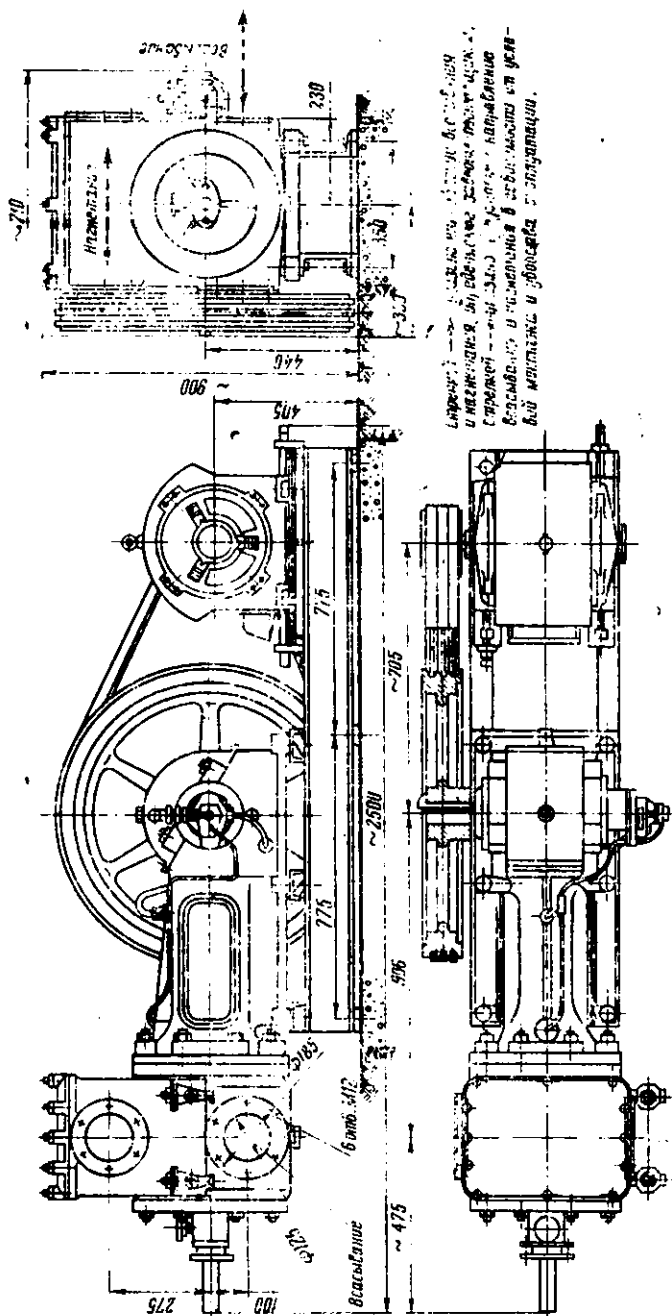


Рис. 5. Вакуум-насос 2ВІК-3М. Общій вид.

Станина чугунная, литая, с цилиндрическими направляющими для крейцкопфа.

Цилиндр представляет собой чугунную полу отливку, выполненную вместе с клапанной коробкой. В боковых стенках цилиндра и коробки имеются четыре отверстия диаметром 125 мм: два нижние — всасывающие и верхние — нагнетательные. Для присоединения трубопроводов обычно используются два патрубка (всасывающий и нагнетательный). Остальные закрыты заглушками.

Поршень — чугунный, полый; цилиндрическая рабочая поверхность его защищена бронзовой втулкой. Установлен поршень на штоке, имеющем опоры в обеих крышках.

Клапаны нагнетательные, их седла и ограничители выполнены из нержавеющей стали. Пластины клапанов изготовлены из листовой, мягкой, теплостойкой резины, толщиной 10 мм.

Смазка коренных подшипников, головок шатуна, крейцкопфа и сальника штока со стороны привода производится от шестеренного маслососа. Второй сальник штока смазывается от индивидуальной масленки. Смазка цилиндра с поршнем осуществляется конденсатом, поступающим вместе с всасываемой парогазовой смесью.

При номинальной производительности ВН может создавать абсолютное давление всасывания до 76 мм рт. ст. (10,1 кН/м²). При этом температура смеси, выталакиваемой из цилиндра, должна быть в пределах 45—60° С.

Общие виды и габариты вакуум-насоса 2ВНК-3М показаны на рис. 5.

Вакуум-насос типа 2ВНП-3 — суховоздушный, с золотниковым распределением. Предназначен для отсасывания воздуха и неагрессивных взрывобезопасных газов, не содержащих капельной влаги (влажность не более 95%) и механических загрязнений.

Данный насос выпускается в комплекте с электродвигателями различного исполнения, в связи с чем агрегатам присваиваются различные обозначения:

- а) 2ВНП-3А — насос с электродвигателем обычного исполнения (АП2-52-8);
- б) 2ВНП-3Б — насос с электродвигателем взрывозащищенного исполнения (КО11-6 или ВАО-52-6).

Распределительным органом насоса является цилиндрический (круглый) золотник, который, поступательно перемещаясь в золотниковой камере, производит необходимые перекрытия и соединения всасывающих и нагнетательных каналов с полостями цилиндра. В конце каждого хода поршня обе полости через каналы в зеркале цилиндра соединяются между собой, и благодаря этому в них выравниваются давления. Конструкция такого канала показана на рис. 6. Выпуск сжатого газа из цилиндра в выхлопной трубопровод происходит через золотник и затем через самодействующий выпускной клапан. Максимальная температура газа на выходе из цилиндра должна быть не более 100—110° С.

Оба выпускных клапана — пластинчатые, кольцевые. Пластины их прижимаются к седлам цилиндрическими пружинами. Цилиндр и крышки — чугунные с водяными рубашками. Цилиндр отлит вместе с золотниковой камерой и гнездами под клапаны.

Всасывающий патрубок ($D_y = 100$ мм) расположен снизу золотниковой камеры. Нагнетательный патрубок ($D_y = 80$ мм) размещен сбоку, посередине золотниковой камеры.

Общие виды и габариты вакуум-насоса 2ВНП-3 представлены на рис. 7.

Насос приводится в движение клиноременной передачей. Смазка приводного механизма производится от шестеренного насоса. Цилиндр и сальники получают

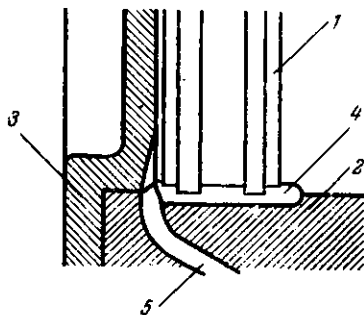


Рис. 6. Канавка в зеркале цилиндра для выравнивания давлений: 1 — поршень; 2 — цилиндр; 3 — крышка цилиндра; 4 — канал перепускной; 5 — канал к золотнику.

смазку от четырехплунжерного насоса Н2-4Р/50-КХП, приводимого в движение от тяги золотника.

Необходимым условием нормальной работы ВН является сохранение зазоров между крышками и поршнем в мертвых точках в пределах 1,75—2,5 мм, т. е. от 1,17 до 1,66% хода поршня.

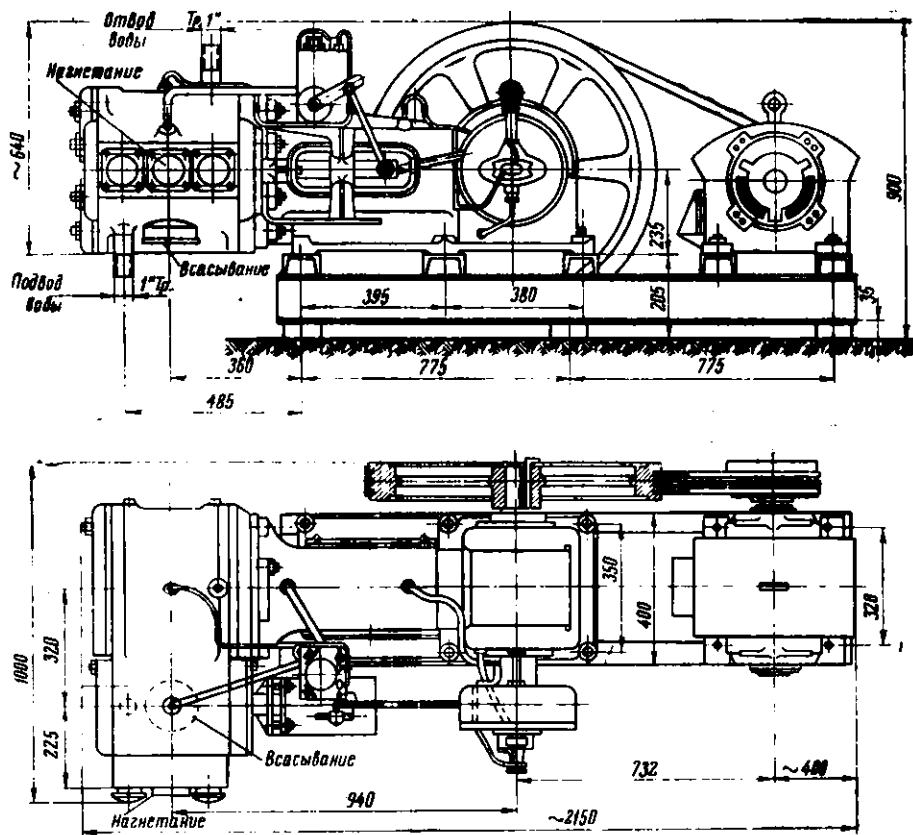


Рис. 7. Вакуум-насос 2ВНП-3. Общий вид.

Вакуум-насос глубокого вакуума АВП-9

Этот насос (изготавливается на Шебекинском машиностроительном заводе) является суховоздушным, горизонтальным, одноступенчатым, крейцкопфным, с одним цилиндром двойного действия, с золотниковым распределением.

Плоский чугунный золотник оснащен двумя плоскими выпускными клапанами и имеет уравнительный канал. Золотниковое зеркало — стальное, укрепленное винтами в золотниковой коробке. Цилиндр — чугунный, выполнен вместе с золотниковой коробкой. Цилиндр с золотниковой коробкой и обе крышки имеют водяные рубашки для охлаждения. Чугунная рама отлита заодно с картером и крейцкопфными направляющими. Цилиндр прикреплен к раме с помощью крыш-

ки. Сверху золотниковой коробки имеются отверстия для присоединения трубопроводов всасывающего ($D_y = 150$ мм) и выхлопного ($D_y = 125$ мм).

Привод осуществляется через плоскоклиноременную передачу.

Трущиеся поверхности смазываются следующим образом: цилиндр — от вакуум-масленки; коренные подшипники — колпачковыми масленками; шатунные подшипники — масленкой Шарко через смазочное кольцо; золотник и направляющие крейцкофа — масленками Шарко.

Вакуум-насос ДВНП-6

Вакуум-насос ДВНП-6 — суховоздушный, горизонтальный, двухступенчатый, с двумя цилиндрами двойного действия, с золотниковым распределением и клиноременным приводом. Оба цилиндра одинакового диаметра и установлены по одной оси.

Данный насос предназначен для отсасывания неагрессивных (по отношению к стали, чугуну и бронзе), взрывобезопасных газов. Оснащен всасывающим фильтром и маслоотделителем на выхлопе.

При работе вакуум-насоса всасываемая газообразная среда проходит через всасывающий фильтр и затем попадает в цилиндр I ступени; отсюда после сжатия среды (до промежуточного давления) по перепускной трубе диаметром 100 мм она переходит в цилиндр II ступени. В последнем она сжимается до давления нагнетания и через выпускной клапан и маслоотделитель среда удаляется в атмосферу. В конце хода поршня давления в полостях цилиндра выравниваются. Перепуск среды происходит через золотник.

Золотники — чугунные, цилиндрические, поворотные, с всасывающим, перепускным и выхлопным каналами в средней части. Общий привод золотников осуществляется от эксцентрика на конце кривошипного вала через систему тяг и рычагов. Выпускной клапан — самодельствующий, с тремя кольцевыми пластинами, прижимаемыми к седлу пружинами.

Поршни — дисковые, в виде полых отливок с радиальными ребрами. На каждом поршне имеется по четыре уплотнительных кольца, по два с каждой стороны. Между парами колец расположен бабитовый пояс. Для уменьшения деформаций станины и оси цилиндров имеется качающаяся опора.

Всасывающий фильтр — стальной, сварной, с отбойниками и пакетами, заполненными активированным углем. Он обеспечивает хорошую очистку отсасываемой газообразной среды перед ее поступлением в ВН.

Маслоотделитель — стальной, сварной, с маслоотражателями. Он предназначен для освобождения газообразной среды, выходящей из ВН, от капель смазочного масла и конденсата.

Смазка приводного механизма производится шестеренным насосом, приводимым в движение коленчатым валом. Насос засасывает масло из нижней части станины через фильтр грубой очистки и подает его через шелевой фильтр тонкой очистки к местам смазки. Применяется масло марки П-28 (ГОСТ 6480—53). Его давление контролируется специальным манометром.

Цилиндры, золотники и салники штока смазываются при помощи плунжерного насоса, приводимого от тяги привода золотников. Используется масло «индустриальное 50» (машинное СУ).

Насос приводится в движение через клиноременную передачу, состоящую из семи ремней В5000Т. Их натяжение производится перемещением электродвигателей.

Основные данные о поршневых ВН приведены в прилож. 4.

2. РОТАЦИОННЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ С МАСЛЯНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

В этих ВН объем полостей рабочей камеры (статора), в которых происходит засасывание и сжатие откачиваемой газообразной среды, изменяется вращающимся поршнем. Этот поршень является основной рабочей частью насоса и

представляет собой эксцентрично расположенный цилиндрический ротор, разделяющий рабочую камеру на несколько полостей. Это достигается различными способами:

а) применением лопастей, вращающихся вместе с ротором и скользящих по внутренней цилиндрической поверхности рабочей камеры — у пластинчато-роторных ВН (системы Гэдз);

б) применением пластины, закрепленной в прорези статора и скользящей по ротору, у пластинчато-статорных ВН (системы Сенко);

в) скольжением ротора с плоским приливом по внутренней поверхности статора — у плунжерных (золотниковых) ВН (системы Киннея).

Полость рабочей камеры, механически изменяясь в объеме, в момент своего наименьшего значения соединяется с впускным устройством. При увеличении объема полости в нее через впускной патрубкок засасывается откачиваемая среда (газ или парогазовая смесь), которая поступает в полость до тех пор, пока последняя в момент достижения наибольшего объема не отключится от отверстия, через которое поступает среда. При следующем за этим уменьшением объема происходит сжатие среды до давления, несколько превышающего атмосферное, пока оно не откроет выпускного клапана, предотвращающего попадание воздуха в рабочую камеру.

При высоких значениях вакуума даже очень тщательная обработка и пригонка деталей ротационных ВН оказывается недостаточной, чтобы предотвратить протекание газовой среды внутри них с нагнетательной стороны на сторону впуска. Высокая степень вакуума достигается заполнением всех зазоров между движущимися частями и прочими деталями ВН специальным маслом, обычно марки ВМ-4 (ГОСТ-7903—56), пленка которого обеспечивает необходимую герметичность и минимальную величину вредного пространства.

Для нормальных условий работы ротационных ВН с масляным уплотнением решающее значение имеет качество заливаемого в них масла. В первую очередь, масло должно обладать при рабочей температуре в вакуум-насосах (около 60°C) вязкостью, достаточной для надежного уплотнения зазоров, но не чрезмерно большой вязкостью во избежание ненужного увеличения сил трения, а следовательно, и потребляемой мощности.

Обычные ВН с масляным уплотнением предназначены для отсасывания «сухих» нейтральных газов. Использование их для таких процессов, как сушка, дистилляция и т. п. затруднительно в связи с необходимостью отсоса конденсирующихся паров.

Конденсат, образующийся при сжатии парогазовой смеси, в значительной части остается внутри рабочей камеры ВН, смешивается с маслом и резко ухудшает качество последнего. Попадая вместе с маслом в полость, где происходит всасывание, конденсат, обладающий высокой упругостью пара, испаряется и этим значительно повышает давление, создаваемое вакуум-насосом.

Обычно бывает необходимость в отсасывании водяного пара, наиболее легко конденсирующегося. Вода, попадая в масло, приводит к его порче — окислению и осмолению. При повышении остаточного давления все это ухудшает условия смазывания и до замены масла выводит насос из строя.

Для возможности откачивания таких парогазовых смесей ВН с масляным уплотнением оснащают газобалластными устройствами. Последние представляют собой простые приспособления для напуска определенного количества неконденсирующегося (балластного) газа во всасывающую полость рабочей камеры в добавление к находящейся там смеси. Минимально необходимое количество балластного газа должно быть таким, чтобы к моменту выхлопа парциальное давление конденсирующихся паров не достигло давления их насыщения.

В качестве балластного газа обычно используется атмосферный воздух, влажность которого невелика и практически не сказывается на характеристике газобалластных ВН. Напуск балластного газа в них производится через вентиль-дозатор, позволяющий регулировать или полностью прекращать подачу газа.

В настоящее время значительная часть ротационных ВН с масляным уплотнением как отечественных, так и зарубежных выпускается газобалластными. Впуск балластного газа приводит к некоторому снижению вакуума, достигаемого ВН.

Газобалластные ВН даже при очень малых впускных давлениях потребляют около 70% от номинальной мощности электродвигателя, значительная часть которой в этом случае расходуется на сжатие балластного газа.

Основными преимуществами ротационных ВН с масляным уплотнением являются:

- а) обеспечение любого давления всасывания в пределах низкого вакуума;
- б) высокое число оборотов;
- г) высокая уравновешенность;
- д) простая конструкция органов распределения.

Недостатками этих ВН являются:

- а) повышенные механические потери (по сравнению с поршневыми) и, следовательно, больший расход энергии и воды;
- б) относительная сложность изготовления и ремонта.

Ниже рассматриваются особенности отдельных типов насосов.

Пластинчато-роторные вакуум-насосы (системы Гэде)

На рис. 8 показан такой одноступенчатый вакуум-насос в поперечном разрезе. Все его рабочие части погружены в чугунный бак 2, заполненный до определенного уровня маслом и являющийся станиной насоса.

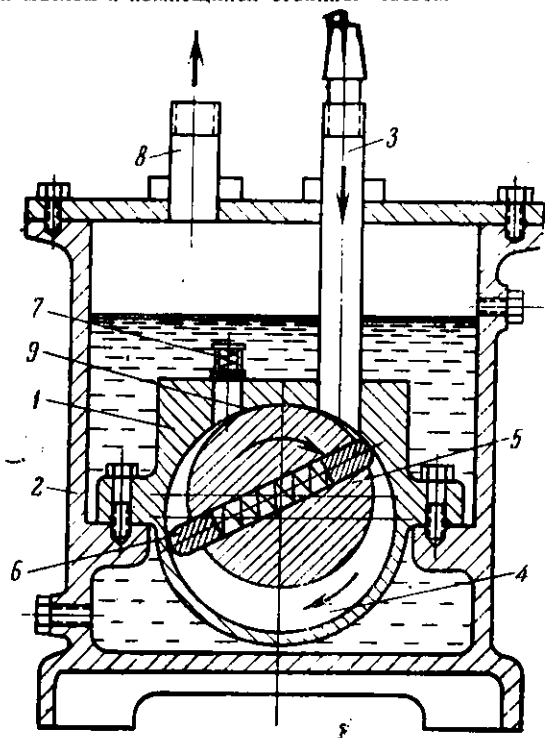


Рис. 8. Пластинчато-роторный вакуум-насос:

- 1 — корпус; 2 — станина-бак; 3 — всасывающий патрубок;
- 4 — рабочая полость; 5 — ротор; 6 — пластина (лопасть);
- 7 — клапан выпускной; 8 — выпускной патрубок; 9 — вредное пространство (между выпускным отверстием и местом соприкосновения ротора со стенкой корпуса).

В цилиндрическом корпусе 1, герметично закрытом с обоих торцов крышками, расположен ротор 5 (вращающийся поршень), представляющий собой массивный металлический цилиндр со сквозной диаметральной прорезью, в которую помещены две пластины-лопасти 6. Между пластинами установлены пружины, раздвигающие пластины и прижимающие их к внутренней цилиндрической поверхности корпуса. Наружные грани пластин выполнены с закруглениями, обеспечивающими достаточную площадь контакта.

Ось вращения ротора (совпадающая с его геометрической осью) параллельна, но эксцентрична по отношению к оси цилиндра корпуса; благодаря этому ротор соприкасается с верхней частью корпуса, по обе стороны которого имеются отверстия (впускное и выпускное). С внутренней стороны корпуса оба отверстия разделяются ротором с пластинами. На выпускном отверстии установлен выпускной клапан 7, назначение которого пропускать газ, выталкиваемый из корпуса насоса, но ничего не пропускать обратно. Слой масла над клапаном и всеми соединениями вакуум-насоса надежно предохраняет их от подсосов атмосферного воздуха.

При вращении ротора 5 пластины 6 скользят по стенкам корпуса 1, перемещаясь в пазу и разделяя рабочий объем насоса, расположенный между стенками корпуса и телом ротора 5, на две—три полости, в которых происходит засасывание, сжатие и выталкивание отсасываемой газообразной среды. Каждая пластина 6 при этом выполняет двойную роль: с одной своей стороны она всасывает за собой газ, поступающий через впускное отверстие, с другой стороны она перемещает и сжимает поступивший газ для его выталкивания из корпуса через выпускное отверстие, причем, всасывание и выталкивание газа производится обеими пластинами 6 поочередно.

Станина (бак) сверху закрыта крышкой, через которую пропущены впускной 3 и выпускной 8 штуцеры. Два отверстия с пробками в боковых стенках служат для контроля уровня и спуска масла. Вал ротора через сальник выпущен из станины наружу для привода его от электродвигателя обычно через клиноременную передачу.

Обильная смазка движущихся частей вакуум-насоса, необходимая, в первую очередь, для уплотнения мест их контакта и заполнения вредного пространства, производится маслом, залитым в станину, которое поступает внутрь корпуса через сальник вала, клапан, места соединений или через специальный канал. Через масло происходит отвод тепла, выделяющегося при работе вакуум-насоса.

Пластинчато-роторные ВН имеют небольшую производительность (от 0,36 до 25 м³/ч) и выполняются с воздушным охлаждением. Область их преимущественного использования — лабораторные, опытные и мелкие промышленные установки. Нередко такие ВН встраивают в сложные производственные агрегаты, нуждающиеся в применении вакуума.

Отечественная промышленность производит пластинчато-роторные ВН, основные данные которых приведены в прилож. 5.

Пластинчато-статорные вакуум-насосы (системы Сенко)

Схема такого одноступенчатого вакуум-насоса приведена на рис. 9.

В цилиндрическом корпусе (камере) 1, вокруг его оси, вращается эксцентрично расположенный цилиндрический ротор (вращающийся поршень) 2, касающийся своей образующей внутренней поверхности корпуса. Сверху через прорезь корпуса, расположенную между впускным 6 и выпускным 7 отверстиями, на ротор 2 опирается пластина 3, прижимаемая к нему специальными пружинами 4 обычно через рычажное устройство. Пластина 3, движущаяся в прорези возвратно-поступательно, вместе с ротором 2 разделяет рабочий объем корпуса на впускную (всасывающую) и выпускную (нагнетательную) полости. При вращении ротора обе полости изменяются в объеме от нуля до полного рабочего объема и при этом происходит всасывание, перемещение, сжатие и выталкивание отсасываемой газообразной среды. Выпускное отверстие оснащено выпускным

клапаном 5. Для приближения центра тяжести ротора к оси его вращения он выполняется с соответствующими внутренними пустотами.

Основным преимуществом пластинчато-статорных вакуум-насосов является небольшое число мест возможного прорыва отсасываемого газа из выпускной полости во впускную. Таковыми являются только места соприкосновения ротора с корпусом и пластиной. Вредное пространство имеет меньшую величину, чем в пластинчато-роторных насосах. Привод насосов обычно клиноременный. При малой и средней производительности — охлаждение воздушное, при большой производительности — водяное.

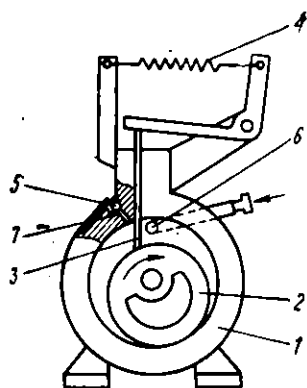


Рис. 9. Схема пластинчато-статорного вакуум-насоса.

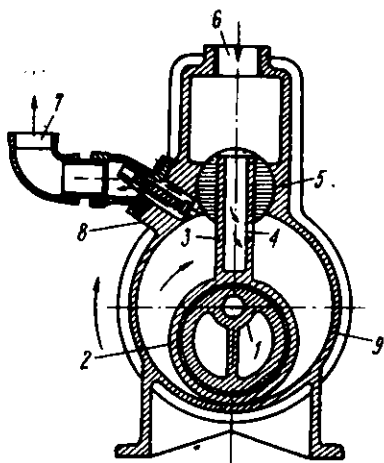


Рис. 10. Плунжерный (золотниковый) вакуум-насос:

1 — эксцентрик; 2 — обойма (плунжер); 3 — прилив-золотник; 4 — выпускное отверстие золотника; 5 — направляющая; 6 — впускной патрубок; 7 — выхлопной патрубок; 8 — выпускной клапан; 9 — рабочая камера.

Производительность пластинчато-статорных ВН колеблется в широких пределах — от 0,7 до 800 м³/ч. В СССР эти ВН используются мало, так как отечественная промышленность изготавливает их только двух марок (ВН 461М и РВН-20), малой производительности.

Плунжерные (золотниковые) вакуум-насосы

Поперечный разрез такого вакуум-насоса (системы Киннея) показан на рис. 10. По оси цилиндрической камеры 9 проходит вал, на котором насажен цилиндрический эксцентрик 1, расположенный и вращающийся аналогично ротору пластинчато-статорного насоса. На эксцентрик свободно насажена цилиндрическая обойма 2 с пустотелым плоским приливом 3, имеющим отверстие 4 со стороны всасывания. Эта обойма с приливом является собственно плунжером, все время соприкасающимся со стенкой камеры. При вращении вала с эксцентриком плунжер совершает сложное колебательно-вращательное движение, при котором он скользит по цилиндрической стенке камеры, почти все время разделяя ее рабочий объем на две изолированные полости — впускную (всасывающую) и выпускную (нагнетательную).

Плоская часть плунжера при его движении перемещается в направляющей, поворачивающейся в цилиндрическом гнезде корпуса.

Отсасываемая среда поступает в камеру сверху, через впускной штуцер и плоский пустотелый прилив 3 плунжера. Выпуск порции газа, после его перемещения и сжатия, производится через выпускной самодействующий пружинный клапан 8, расположенный слева в верхней части корпуса.

В плунжерных вакуум-насосах так же, как и у пластинчато-статорных, полный цикл работы, т. е. всасывание и выталкивание одной порции газа, происходит за два полных оборота вала.

В плунжерных насосах меньше, чем в других типах насосов с масляным уплотнением, возможность перетекания сжатого газа в полость всасывания, так как нагнетательная полость отделена от нее сплошным плоским приливом плунжера. Вредное пространство также имеет относительно меньший объем.

Привод вакуум-насосов, как правило, клиноременный.

* * *

ВН с масляным уплотнением всех типов выполняются как в однокамерном, так и в двухкамерном исполнении. В последнем случае оба ротора сидят на одном валу, а камеры могут быть соединены как параллельно (одноступенчатая работа), так и последовательно (двухступенчатая работа).

В ряде случаев ротационные ВН с масляным уплотнением (обычно плунжерные) успешно используются для создания низкого вакуума в технологических и лабораторных установках пищевых производств путем отсасывания из аппаратов как нейтральных газов, так и парогазовых смесей, свободных от механических загрязнений. Эти ВН не рекомендуется применять для откачки воздуха с повышенным содержанием кислорода, а также газов, способных активно взаимодействовать с металлами и маслами (кислород, хлор, фтор, хлористый водород и т. п.). Они также непригодны (за исключением специальных герметичных насосов типа НВГ) для перекачивания газа из одной емкости в другую или включения в качестве первой ступени перед другим ВН.

ВН с масляным уплотнением предназначены для использования их в стационарных условиях при температурах окружающей среды в пределах от 15 до 30°С во избежание значительного изменения вязкости масла в насосах.

Область применения ВН с масляным уплотнением по рабочему давлению очень широка. Практически они могут быть использованы во всем диапазоне давлений низкого вакуума, т. е. от 760 до 1 мм рт. ст. (от 101,3 до 0,133 кПа/м²). Однако при давлениях выше 100—150 мм рт. ст. (13,3—20 кПа/м²) мощность, потребляемая ВН, значительно повышается, и поэтому эксплуатация их в таких условиях нежелательна.

ВН с масляным уплотнением используются в установках для сублимационной сушки пищевых концентратов и иных продуктов, а также в производственных и лабораторных установках с глубоким вакуумом.

ВУ, в которых отсасываемая среда состоит из воздуха или неконденсирующихся газов с небольшой относительной влажностью, обычно работают без применения конденсаторов. Подобные установки (большой частью — небольшой и средней производительности) применяются при:

- а) заполнении аппаратов или емкостей жидкостями;
- б) присосеивании воздуха из аппаратов, в которых производится обработка продуктов под вакуумом;
- в) заливке жидкости в вакуум-разливочных машинах;
- г) укупорке под вакуумом продуктов в банках;
- д) присосеивании бланков или этикеток и т. п. условиях.

В первых двух случаях ВН отсасывают воздух из закрытых аппаратов или емкостей, создавая необходимый вакуум за определенное время. В остальных случаях, после создания в вакуумируемой системе предварительного разрежения необходимой глубины, в дальнейшем ВН отсасывают воздух, вносимый в систему отдельными порциями в процессе работы, а также воздух, проникающий в систему через неплотности.

В прилож. 6 приведены характеристики некоторых отечественных ротационных ВН с масляным уплотнением (плунжерных).

3. РОТАЦИОННЫЕ МНОГОПЛАСТИНЧАТЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

Схема такого насоса показана на рис. 11.

ВН представляет собой цилиндрический корпус 1, в котором на роликоподшипниках вращается вал с чугунным цилиндрическим ротором 2. Между поверхностями корпуса и ротора образуется серповидное пространство. Ротор имеет прорези, в которые свободно вставлены стальные или текстолитовые пластины 3. При вращении ротора 2 пластины 3 под действием центробежной силы выдвигаются из ротора и прижимаются к цилиндрической поверхности корпуса, разделяя серповидное пространство на отдельные ячейки, объем которых изменяется в зависимости от их положения. Порции отсасываемого газа захватываются ячейками, переносятся к выхлопной полости и при этом сжимаются. При высоких давлениях всасывания в ячейках еще до соединения их с выхлопной полостью могут возникнуть давления, значительно превышающие атмосферное; поэтому в таких насосах некоторых типов устанавливают разгрузочные пружинные клапаны 6.

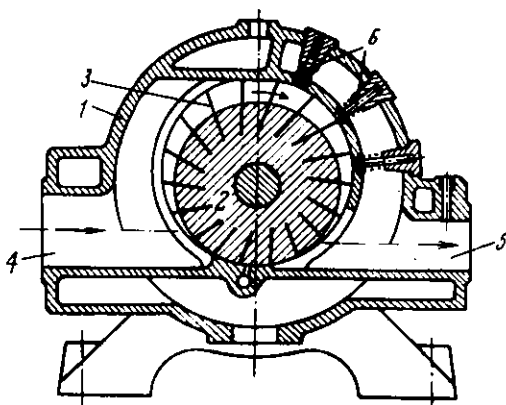


Рис. 11. Ротационный многопластинчатый
вакуум-насос:

1 — корпус; 2 — ротор; 3 — пластины; 4 — вход-
ной патрубок; 5 — выходной патрубок; 6 — раз-
грузочный клапан.

Для уменьшения трения и износа пластин в корпусе устанавливают ограничительные кольца, свободно вращающиеся в корпусе и увлекаемые движущимися пластинами. Внутренний диаметр колец несколько меньше диаметра рабочей части цилиндра, благодаря чему пластины не трутся о его стенки.

Корпус с обеих сторон закрыт крышками, в которых размещены роликоподшипники вала. Протеканию газа в торцевых зазорах ротора и крышек препятствуют специальные уплотняющие кольца. Корпус и крышки имеют рубашки для охлаждения их водой.

В отличие от ВН с масляным уплотнением эти насосы работают без уплотнения зазоров маслом; поэтому предельные давления, достигаемые одноступенчатыми насосами, обычно бывают порядка 15—25 мм рт. ст. (2—3,3 кн/м²).

ВН соединяют с электродвигателем эластичной муфтой и устанавливают его на общей фундаментной плите.

Ротационные многопластинчатые ВН стандартизованы ГОСТ 1867—57.

Одноступенчатые насосы создают рабочие давления от 300 до 30 мм рт. ст. (от 40 до 4 кн/м²) и двухступенчатые — от 35 до 8 мм рт. ст. (от 4,7 до 1,07 кн/м²) и иногда менее при производительности их от 3 до 75 м³/мин. Они

используются при необходимости отсасывания значительных количеств воздуха или нейтральных газов.

Основное преимущество ротационных многопластинчатых ВН — большая производительность при сравнительно малых габаритах и отсутствии пульсации.

Недостатком этих вакуум-насосов являются сложность ремонта и пониженный (по сравнению с поршневыми) к. п. д.

4. РОТАЦИОННЫЕ ДВУХРОТОРНЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

Эти ВН встречаются двух разновидностей:

а) типа Рутса (отечественные типы: 2ДВН-500; 2ДВН-1500);

б) типа РГН.

Эти насосы до настоящего времени не получили заметного применения в пищевой промышленности. Описываемые ВН представляют собой двухроторные газодувки, приспособленные для создания вакуума.

Основная конструктивная особенность таких ВН — два ротора специального профиля, вращающиеся в корпусе с большим числом оборотов без взаимного соприкосновения, но при минимальных зазорах, и, следовательно, без значительных потерь на трение. Однако наличие зазоров между роторами и корпусом приводит к перетеканию значительных количеств отсасываемого газа из полости нагнетания в сторону всасывания. Это особенно сказывается при малых давлениях всасывания и значительных перепадах давления.

5. ВОДОКОЛЬЦЕВЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

Водокольцевые ВН относятся к категории мокрых объемных насосов. Отличаясь коренным образом от рассмотренных выше объемных насосов, эти ВН получили широкое распространение в различных отраслях пищевой промышленности для разнообразных технологических процессов.

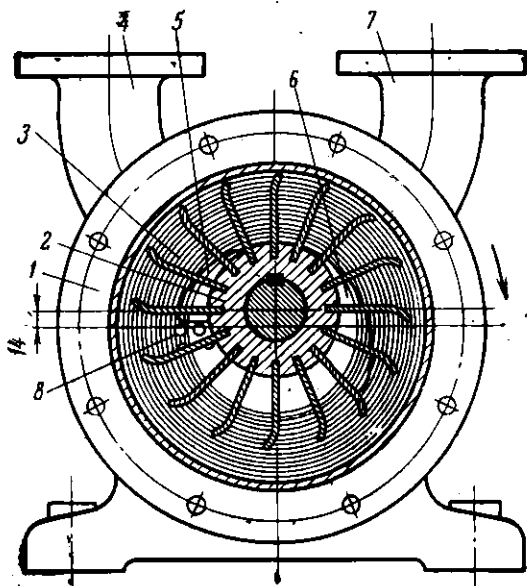


Рис. 12. Водокольцевой вакуум-насос. Поперечный разрез.

Принцип действия водокольцевого ВН заключается в следующем. На рис. 12 представлен поперечный разрез однокамерного насоса в действии. В цилиндрическом корпусе 1 эксцентрично расположено рабочее колесо (ротор) 2 с лопатками, которые при вращении заставляют вращаться воду, находящуюся в корпусе, с образованием водяного кольца 3, примыкающего по всему периметру к корпусу. Образующееся при этом серповидное пространство между водяным кольцом и ступицей колеса является рабочим объемом насоса. Так как рабочее колесо смещено от оси корпуса вверх, то здесь внутренняя поверхность водяного кольца касается ступицы колеса, не оставляя свободного объема.

Водяное кольцо и лопатки колеса делят серповидное пространство на отдельные полости, в которых вода выполняет роль поршней.

При первом полуобороте колеса в направлении стрелки внутренняя поверхность водяного кольца постепенно отходит от ступицы, образуя при этом свободные от воды объемы в полостях между лопатками; эти объемы заполняются газообразной средой из всасывающего штуцера 7 через всасывающее окно 6 в торцевой крышке корпуса ВН. При втором полуобороте колеса внутренняя поверхность водяного кольца приближается к ступице. Газообразная среда, заполнившая полости, сначала сжимается, а затем вытесняется из них в клапаны 8 и в нагнетательное окно 5 и далее в нагнетательный штуцер 4.

Сжатие газообразной среды в насосе происходит между водяным кольцом и влажными поверхностями рабочих элементов насоса с передачей им значительной части выделяющегося тепла, т. е. в условиях, близких к изотермическому процессу. При наличии в отсасываемой среде конденсирующихся паров возможна конденсация их внутри насоса.

Основным условием работы водокольцевого ВН является постоянство расхода воды в любом радиальном сечении кольца; во избежание ее перегрева и для пополнения неизбежных потерь воды через насос должен осуществляться непрерывный проток воды, величина которого зависит от режима работы насоса и начальной температуры воды.

Так как частота вращения рабочего колеса довольно велика (от 480 до 2900 об/мин для однокамерных насосов и от 290 до 950 об/мин для двухкамерных), то отсасывание и нагнетание газообразной среды этими насосами происходит непрерывно и равномерно.

В машинах двойного действия (сдвоенных) рабочее колесо в течение одного оборота используется дважды — для всасывания и нагнетания. Это позволяет уменьшить вес и размеры машины. Кроме того, симметричное расположение газовых полостей по обе стороны ротора улучшает равномерность нагрузок (давлений) на рабочее колесо.

Схематический разрез такого вакуум-насоса приведен на рис. 13.

Широкое и разнообразное использование водокольцевых ВН объясняется достоинствами этих насосов:

1) простота устройства, небольшое число основных частей (корпус, ротор и крышки), отсутствие всасывающих клапанов и распределительных механизмов;

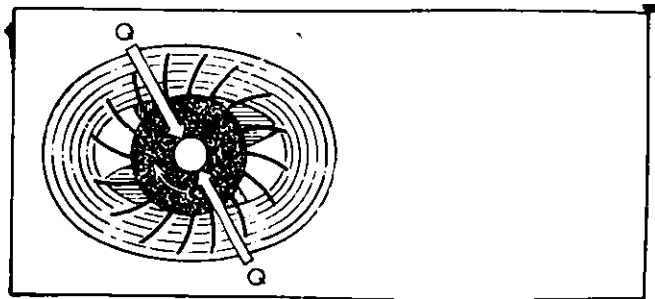


Рис. 13. Схематический разрез водокольцевого вакуум-насоса двойного действия.

2) компактность в связи с небольшими их габаритами и непосредственным приводом от электродвигателей;

3) отсутствие металлических трущихся поверхностей в рабочей камере, так как уплотнение между вращающимися и неподвижными частями производится рабочей жидкостью;

4) отсасываемая газообразная среда не загрязняется в насосе смазкой;

5) нечувствительность к попаданию в насос вместе со всасываемой газообразной средой капельной жидкости, а также мелких механических примесей (пыли, песка и т. п.);

6) возможность отсасывания агрессивных и горючих сред;

7) характер сжатия, близкий к изотермическому; благодаря этому эти насосы могут быть использованы для перекачивания легко распадающихся и взрывоопасных газообразных сред;

8) равномерность отсасывания газообразных сред из вакуумных систем и отсутствие пульсации на выходе из насоса;

9) незначительный механический износ движущихся частей; относительно редкий и простой ремонт;

10) надежность в эксплуатации и простота обслуживания;

11) относительно небольшая стоимость насоса и небольшие затраты на фундамент и монтаж;

12) быстрота пуска и остановки, имеющая существенное значение при периодических или циклических технологических процессах;

13) возможность полной или частичной автоматизации управления работой насосов;

14) возможность использования ВН в качестве компрессоров.

Недостатками водокольцевых ВН являются низкий к. п. д. и ограниченная возможность использования их вне помещений.

Описываемые ВН в литературе и в фирменных материалах называются по-разному: водокольцевые, ротационные (вращательные) с жидкостным поршнем, эльмонасосы и др. В большинстве случаев и в ГОСТ 10889—64 их принято называть водокольцевыми ВН. Однако рабочей жидкостью в этих насосах может быть не только вода, но и любая другая жидкость, например масло, кислота, раствор щелочи и др. В связи с этим было бы более правильным называть их ротационными ВН с жидкостным поршнем или же жидкостно-кольцевыми ВН.

С 1965 г. на водокольцевые ВН введен ГОСТ 10889—64 «Машины водокольцевые. Типы и основные параметры» (см. прилож. 3). Этот ГОСТ распространяется на машины, работающие на воздухе или инертных газах, нерастворимых в воде, которая используется в качестве рабочей жидкости. Машины, предназначенные для работы на агрессивных и растворяющихся в воде газах с применением других рабочих жидкостей, могут отличаться по основным параметрам от водокольцевых машин по ГОСТу, но должны быть унифицированы с ними.

Мощность, потребляемая водокольцевыми ВН, определяется при следующих условиях: температура отсасываемой газообразной среды 20°C , ее давление на выходе из ВН — 760 мм рт. ст. ($101,3 \text{ кн/м}^2$), температура воды, поступающей в ВН, 15°C . ВН должны обеспечивать давление отсасываемой среды на выходе выше атмосферного, но не более чем на $0,2 \text{ кгс/см}^2$ ($19,61 \text{ кн/м}^2$). При этом производительность ВН и удельный расход энергии могут отличаться от предусмотренных ГОСТом.

Во время работы в ВН необходимо подавать воду (или другую рабочую жидкость), так как, кроме основной функции — жидкостного поршня, она выполняет при этом ряд других функций:

а) охлаждение и смазку сальников;

б) уплотнение торцевых зазоров между вращающимися колесом и лобовинами (крышками);

в) пополнение водяного кольца, из которого часть воды непрерывно вместе со сжатой газообразной средой выбрасывается через нагнетательный трубопровод;

г) отвод тепла, выделяющегося при сжатии газообразной среды и ее конденсации.

Водокольцевые ВН обеспечивают производительность и вакуум, приведенные ниже (см. стр. 32 и 35), при подаче в них воды с температурой 15°C . Изме-

нение температуры воды оказывает существенное влияние на производительность насоса и величину создаваемого им вакуума.

На рис. 14 [8] графически показана зависимость объемной производительности водокольцевого ВН от температуры рабочей воды, вычисленная на основании отношения:

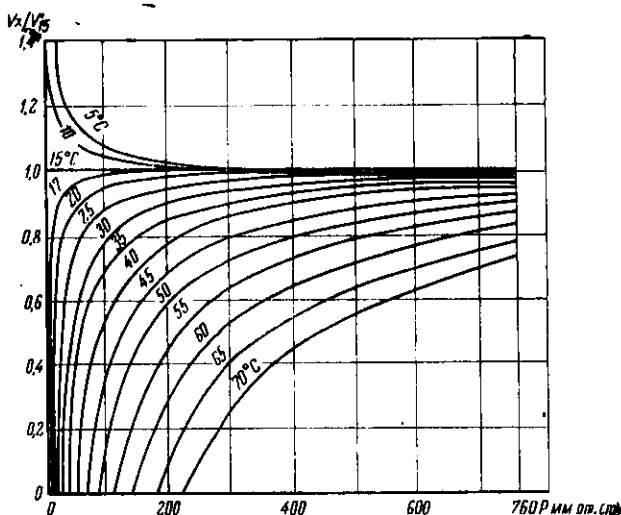


Рис. 14. Зависимость объемной производительности водокольцевого вакуум-насоса от температуры рабочей воды.

$$\frac{V_x}{V_{15}} = \frac{P - P_x}{P - P_{15}}, \quad (10)$$

где V_x и V_{15} — объемные производительности насоса при температуре воды x и 15°C ;

P_x — давление насыщения водяного пара при температуре $x^\circ\text{C}$ в мм рт. ст. (кн/м^2);

P_{15} — давление насыщения водяного пара при температуре 15°C ;

$P_{15} = 12,78$ мм рт. ст. ($1,70$ кн/м^2);

P — общее давление всасывания в мм рт. ст. (кн/м^2).

Пример. При давлении всасывания $P = 100$ мм рт. ст. и температуре рабочей воды 15°C объемная производительность водокольцевого ВН составляет $6,0$ $\text{м}^3/\text{мин}$. Определить, как изменится производительность насоса при повышении температуры воды до $x = +30^\circ\text{C}$ (при $P_x = 31,8$ мм рт. ст.):

$$\frac{V_x}{V_{15}} = \frac{100 - 31,8}{100 - 12,78} = \frac{68,2}{87,22} = 0,782.$$

Таким образом, при этих условиях производительность насоса составит $6,0 \cdot 0,782 = 4,69$ $\text{м}^3/\text{мин}$, т. е. 78% от его номинальной производительности.

При меньших давлениях всасывания влияние повышения температуры рабочей воды сказывается еще более сильно. Для создания глубокого вакуума [дав-

лений всасывания 40 мм рт. ст. ($5,33 \text{ кг/м}^2$) и менее] используемая вода должна иметь низкую температуру.

При других рабочих жидкостях (маслах, растворах щелочей, кислот и т. п.) получаются аналогичные результаты.

Количество воды, подаваемой внутрь насоса, должно соответствовать режиму его работы по производительности и вакууму. С увеличением последних несколько увеличивается количество воды (и наоборот). Однако при подаче в ВН большего количества воды по сравнению с тем, которое требуется для нормальной работы, он начинает работать рывками, с периодическими выбросами значительных количеств воды и потребляет повышенную мощность; наоборот, при подаче в насос воды в меньшем количестве по сравнению с тем, которое требуется для пополнения водяного кольца, производительность насоса и вакуум снижаются.

Обычно количество воды, подаваемой в насос, контролируется ее давлением на мановакуумметре, установленном на трубопроводе для подачи воды после регулирующего вентиля. В большинстве случаев оптимальное избыточное давление воды бывает в пределах $0,2-0,3 \text{ кгс/см}^2$ ($19,61-29,72 \text{ кг/м}^2$).

В водокольцевые ВН рабочая жидкость подается в камеры гидравлических затворов вала или в нижнюю часть цилиндра. Во всех случаях рабочая жидкость должна быть достаточно чистой во избежание образования твердых отложений внутри насоса.

Если рабочая жидкость не может быть удалена в канализацию, применяют ее циркуляцию в замкнутом контуре, оснащенном устройством для ее охлаждения. Такое же положение создается в установках, отсасывающих вредные и агрессивные среды. Схема подобной установки показана на рис. 15. В трубопровод из водосборника к ВН включен насос, повышающий давление до необходимой величины, и трубчатый холодильник, в котором вода (или другая жидкость), возвращаемая в ВН, охлаждается холодной водой.

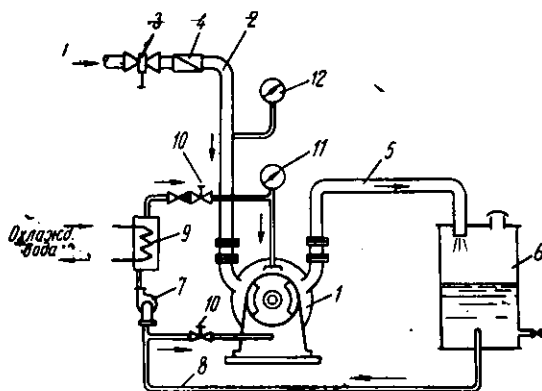


Рис. 15. Схема вакуум-установки с циркуляцией рабочей жидкости:

- 1 — вакуум-насос водокольцевой; 2 — всасывающий трубопровод; 3 — задвижка; 4 — обратный клапан; 5 — выхлопной трубопровод; 6 — водосборник; 7 — насос циркуляционный; 8 — трубопровод всасывающий к насосу; 9 — холодильник для рабочей жидкости; 10 — вентиль; 11 — мановакуумметр; 12 — вакуумметр.

Возможны случаи, когда водокольцевой ВН должен отсасывать смесь газообразной среды с капельной жидкостью. Если жидкость может быть использована в качестве рабочей жидкости, ее количество близко к потребности насоса при нормальной работе и поступление происходит достаточно равномерно, то ВН работает нормально. Если же количество поступающей жидкости значительно

превышает норму, то, как уже указывалось, производительность насоса падает, а потребление энергии возрастает.

Опыты, проводившиеся с ВН типа РМК-3 [29], подтвердили отмеченные зависимости, а также практическую возможность увеличения количества отсасываемой жидкости до семикратного против нормы.

При отсасывании газо-жидкостной смеси со значительным содержанием жидкости (обычно более 1% от объема газообразной среды), перед поступлением смеси в ВН, ее пропускают через специальный герметичный сепаратор-водоотделитель, в котором капельная жидкость отделяется от газообразной среды. Последняя затем поступает в ВН, а выделившаяся жидкость непрерывно откачивается из сепаратора или промежуточного сборника специальным насосом. Некоторые иностранные фирмы (SSW и др.) комплектуют серийные ВН упомянутыми сепараторами и насосами.

При использовании в качестве рабочих жидкостей — жидкостей, отличных по свойствам от воды, важно заранее знать, как изменятся рабочие характеристики ВН, связанные с этим.

Опыты в этой области [30] показывают, что применение в качестве рабочих жидкостей:

а) масел с кинематической вязкостью до $35 \cdot 10^{-6}$ — $70 \cdot 10^{-6}$ м²/сек вызывает снижение производительности на 50—60%, к. п. д. на 55—65%, перепада давления на 30—35% и производительности при наибольшем к. п. д. — на 30—40%;

б) жидкостей с плотностью 1300—1500 кг/м³ позволяет повысить производительность при неизменном перепаде давления на 45—50%, перепад давления при неизменной производительности на 30—40% и к. п. д. на 20—30%; производительность, соответствующая наибольшему к. п. д., практически остается неизменной.

Таким образом, при выборе рабочей жидкости для жидкостно-кольцевых ВН следует отдавать предпочтение (при остальных равных условиях) жидкостям с малой вязкостью ($1 \cdot 10^{-6}$ — $10 \cdot 10^{-6}$ м²/сек) и большой плотностью (более 1000 кг/м³).

Водокольцевые ВН в пищевой промышленности получили широкое распространение еще в довоенные годы, особенно в сахарной и ряде других отраслей.

В настоящее время на пищевых предприятиях СССР в эксплуатации находится большое количество водокольцевых вакуум-насосов.

Ниже приведены некоторые сведения об отдельных типах отечественных и зарубежных водокольцевых ВН.

Вакуум-насосы КВН малой производительности

Эти насосы выпускаются заводом Ливгидромаш двух типоразмеров: КВН-4 и КВН-8 (табл. 1).

Насосы КВН используются для различных вспомогательных технологических операций, в частности, для создания вакуума в небольших емкостях, для удаления воздуха из резервных насосных агрегатов и других целей.

Нагрев насоса не должен превышать 50°С. Регулирование нагрева достигается изменением количества воды, подаваемой в насос. В среднем оно составляет 4—5 л в 1 мин.

Вакуум-насосы РМК-2, РМК-3 и РМК-4

Эти насосы (водокольцевые, однокамерные машины) получили большое распространение на многих пищевых предприятиях. Основные технические данные этих ВН приведены в табл. 2.

В соответствии с ГОСТ 10889—64 вместо ВН типов РМК-2, РМК-3 и РМК-4, пока еще выпускающихся Целиноградским и Лебедянским (РМК-4) заводами, будут выпускаться ВН типов ВВН-3, ВВН-12 и ВВН-25.

Таблица 1

Технические данные вакуум-насосов КВН

Показатели	Марка насосов							
	КВН-4				КВН-8			
Объем отсасываемого воздуха *								
в л/мин	330	240	120	0	636	480	240	0
в л/сек	5,5	4,0	2,0	0	10,6	8,0	4,0	0
Разрежение в мм рт. ст.	440	520	600	650	440	520	600	650
Число оборотов в минуту	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450
Мощность в кВт								
на валу насоса	1,1	1,2	1,3	1,3	1,9	2,0	2,1	2,1
электродвигателя	1,7	1,7	1,7	1,7	2,8	2,8	2,8	2,8
Масса в кг	38	38	38	38	42	42	42	42

* При нормальном барометрическом давлении.

Таблица 2

Показатели	Марка насосов		
	РМК-2	РМК-3	РМК-4
Наибольший (предельный) вакуум в %	90	96	96
Производительность по воздуху, отнесенная к условиям всасывания, в м³/мин при вакууме 40%	2,86	11,5	
То же, 60%	2,46	11,15	25
» 80%	1,74	10,1	25
» 85%	1,0	9,4	
» 90%	0	8,15	20
Расход воды в л/мин	20	60	100
Диаметр корпуса внутренний в мм	230	380	525
Диаметр рабочего колеса в мм	200	325	450
Ширина рабочего колеса в мм	220	320	520
Число лопаток	12	18	20
Форма лопаток	Прямые радиальные	Изогнутые вперед	Изогнутые вперед
Эксцентриситет в мм	12	20	35
Габаритные размеры насоса в мм			
длина	730	1310	1645
ширина	416	515	670
высота	390	840	1088
Электродвигатель			
тип	АО2-52-4	АО2-81-6	АК101-8М
мощность в кВт	10	30	75
число оборотов в минуту	1450	980	725
Масса в кг			
вакуум-насоса	114	593	1285
электродвигателя	110	335	1140

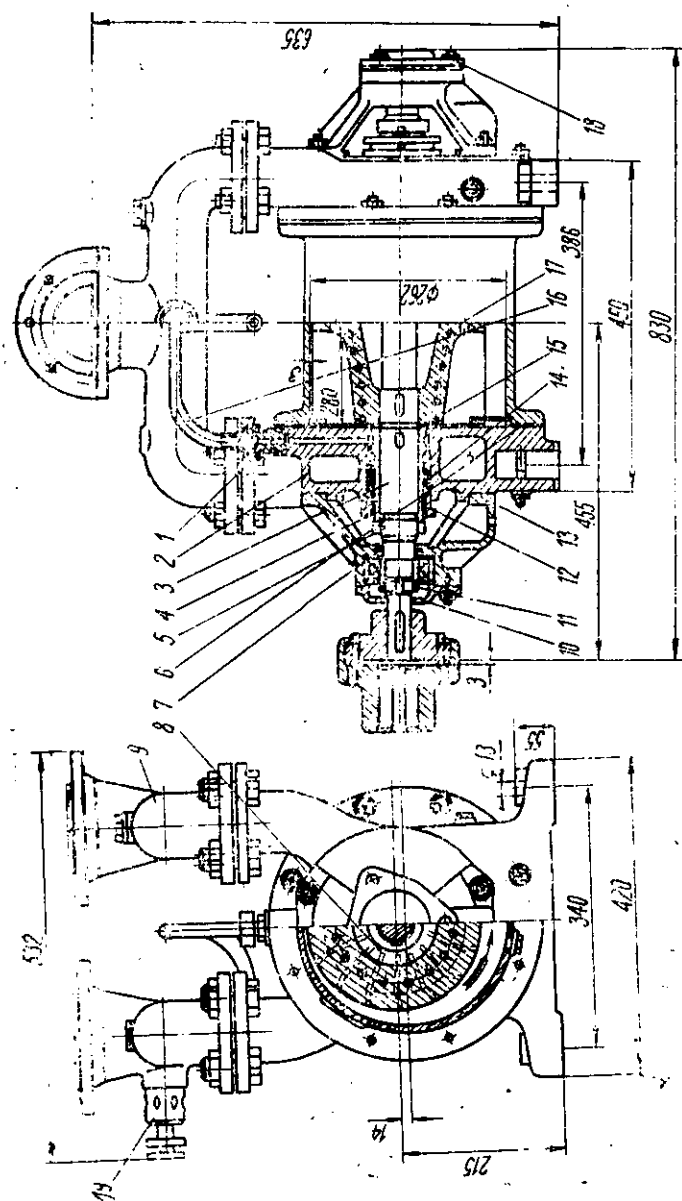


Рис. 16. Вакуум-насос ВВН-6:

1 — цилиндр; 2 — крышка-лобовина; 3 — вал; 4 — втулка; 5 — гайка; 6 — прокладка; 7 — кольцо фетровое; 8 — труба-вилка; 9 — труба-вилка; 10 — крышка подшипника; 11 — гайка; 12 — бусса; 13 — кронштейн, (корпус) подшипника; 14 — набивка сальниковая; 15 — прокладка; 16 — труба для подачи воды; 17 — рабочее колесо; 18 — крышка подшипника; 19 — вентиль для выпуска воздуха.

Вакуум-насосы ВВН-1,5, ВВН-3, ВВН-6 и ВВН-12

В последние годы взамен ВН РМК-2 и РМК-3 выпускаются ВН марок ВВН-3 и ВВН-12. ВН марки РМК-4 также подлежат замене ВН марки ВВН-25, но пока они выпускаются Лебедянским машиностроительным заводом.

Вакуум-насосы ВВН-1,5, ВВН-3, ВВН-6 и ВВН-12 выпускаются Бессоновским компрессорным заводом. Предназначены они для отсасывания воздуха, газов, паров или их смесей с целью создания вакуума в закрытых аппаратах или установках.

ВН типа ВВН-6 показан в разрезе на рис. 16. Корпус ВН состоит из цилиндра 1 и двух торцевых крышек-лобовин 2. В нижней части лобовины имеет опорные лапы, а в верхней — два патрубка — всасывающий и нагнетательный, которые соединены с соответствующими полостями ВН через окна в торцевой стенке лобовины (всасывающие и нагнетательные).

Всасывающие и нагнетательные патрубки обеих лобовин соединены трубами-вылками 9, имеющими штуцеры для присоединения трубопроводов. На валу 3, эксцентрично расположенном в корпусе насоса, на шпонках посажено рабочее колесо 17. В осевом направлении колесо закреплено с обеих сторон втулками 4, посаженными на шпонках и прижимаемыми к колесу гайками 5.

Зазор между колесом и лобовинами, определяющий потерю производительности в насосе из-за перетекания отсасываемой газообразной среды из нагнетательной полости во всасывающую, обеспечивается посредством прокладок 6 между цилиндром и лобовинами. Этот зазор не должен превышать: 0,20 мм для вакуум-насосов ВВН-1,5 и ВВН-3 и 0,25 мм для вакуум-насосов ВВН-6 и ВВН-12.

Между втулкой 4 и колесом проложена прокладка 15, исключаящая сообщение внутреннего пространства насоса с внешней средой через зазор между втулкой и валом. Втулка 4 предохраняет вал от износа сальниковой набивкой. Сальник расположен в расточке лобовины (ВВН-1,5, ВВН-3 и ВВН-6) или в корпусе подшипника (ВВН-12), одновременно являющегося крышкой лобовины. Сальник заполнен мягкой хлопчатобумажной просаленной набивкой 14. Ее уплотнение производится периодически поджатием бусы 12. За набивкой расположена камера гидравлического затвора, в которую вода подается по трубе 16. Из камеры вода поступает в цилиндр насоса к ступице колеса, откуда под действием центробежной силы она растекается по торцевым плоскостям, уплотняя зазор между колесом и лобовинами и питая водяное кольцо. Частично вода из камеры проходит через сальник, охлаждает его и одновременно создает уплотнение.

Шарикоподшипники закреплены на валу гайками 11. Один из них со стороны привода в корпусе не закреплен, а второй прижат к корпусу крышкой 18 и фиксирует положение колеса в корпусе насоса. Зазоры между валом и корпусами подшипников уплотнены фетровыми кольцами 7.

Основные технические данные вакуум-насосов типа ВВН приведены в табл. 3 и 4.

При подаче воды в ВН в количествах, превышающих оптимальные, производительность их не увеличивается, но при этом повышается потребляемая мощность. При низких значениях вакуума (не более 50%) целесообразно несколько снизить подачу воды, так как это уменьшит потребляемую мощность.

На рис. 17, 18, 19 и 20 показаны комплектные установки вакуум-насосных агрегатов ВВН-1,5, ВВН-3, ВВН-6 и ВВН-12. Все ВН с электродвигателями установлены на чугунных фундаментных плитах и соединены эластичными муфтами. Муфта надежно закрывается специальным ограждением. Фундаментная плита агрегата закреплена болтами на фундаменте. Фундамент обычно выполняется выше уровня «чистого» пола на 100—300 мм. Рядом с ВН на подставке свободно (без крепления) установлен водосборник, соединенный трубопроводом с нагнетательным штуцером насоса. Водосборник предназначен для отделения влаги, уносимой из насоса газообразной средой, сбора этой влаги, а также для снижения шума, создаваемого выхлопом.

Водосборник представляет собой цилиндрический бак с плоскими днищем и крышкой, с переливным отводом посредние и спусковой пробкой внизу. На крышке имеются два отверстия. Одно служит для свободной установки соединительной трубы, второе — для выхода воздуха в атмосферу.

Таблица 3

Показатели	Марка насосов			
	ВВН-1,5	ВВН-3	ВВН-6	ВВН-12
Диаметр корпуса, внутренний в мм	233	233	262	380
Диаметр рабочего колеса в мм	200	200	230	330
Ширина рабочего колеса, мм	100	220	280	320
Число лопаток	12	12	16	18
Эксцентриситет в мм	13,5	13,5	14	20
Внутренний диаметр всасывающих и на- гнетательных штуцеров в мм	65	65	95	125
Емкость водосборника в л	100	100	100	100
Масса водосборника в кг	38	38	38	38
Масса вакуум-насоса в кг	110	120	320	475
Масса агрегата с электродвигателем без водосборника в кг	306	380	668	1017
Электродвигатель (основной) тип	АО2-41	АО2-51	А2-62	А2-72
мощность в кВт	4,0	7,5	17	22
число оборотов в минуту	1450	1450	1450	960

Таблица 4

Тип вакуум- насоса	Параметры	Вакуум в % от барометрического давления								Оптимальное количество воды в л/мин
		30	50	60	70	80	90	95	97	
ВВН-1,5	Производитель- ность *	1,68	1,70	1,66	1,55	1,27	0			8—10
	Мощность **	3,29	3,33	3,32	3,36	3,35	3,25			
ВВН-3	Производитель- ность	3,95	3,90	3,40	3,20	2,40	0			10—12
	Мощность	5,62	5,41	5,29	5,56	5,68	5,52			
ВВН-6	Производитель- ность	6,48	6,35	6,25	6,00	5,25	2,87	0		15—18
	Мощность	14,00	13,70	13,20	13,00	13,05	13,15	13,13		
ВВН-12	Производитель- ность	12,30	12,25	12,25	12,00	11,10	8,60	4,00	0	50—60
	Мощность	16,70	17,75	18,21	18,16	17,55	16,15	14,70	14,40	

* Производительность в м³/мин.

** Мощность (потребляемая) в кВт.

Чрезмерное удлинение выходного трубопровода нежелательно из-за увеличения противодавления на нагнетательной стороне ВН, что приводит к снижению производительности и повышению потребной мощности.

По желанию потребителей ВН типа ВВН могут быть поставлены с электродвигателями типа ВАО.

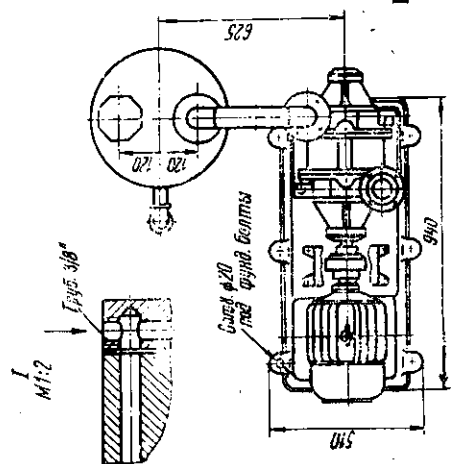
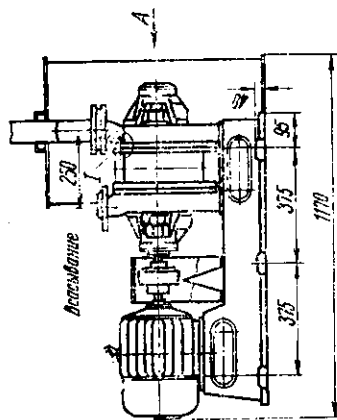
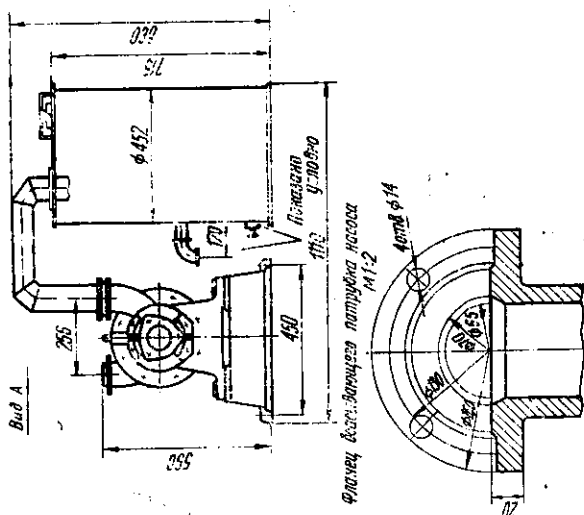


Рис. 17. Установка вакуум-насоса ВВН-1,5.

В последнее время начат выпуск ВН типа ВВН-1,5М, представляющий собой агрегат, состоящий из электродвигателя (типа АО2-41-4, 4 кет) и водоводящего ВН производительностью 1,5 м³/мин. Последний на фланце присоединен к крышке электродвигателя. Водосборник установлен непосредственно на выхлопном штуцере ВН. Этот агрегат является очень компактным. Его габариты: 677×450×938 мм; масса его равна 169 кг. Предельный вакуум, развиваемый ВН, составляет 93%.

Вакуум-насосы ВВН-50 и ВВН-25

Эти насосы имеют конструкцию, существенно отличающуюся от конструкции насосов, описанных выше. Один из таких насосов (продольный разрез) показан на рис. 21 [8].

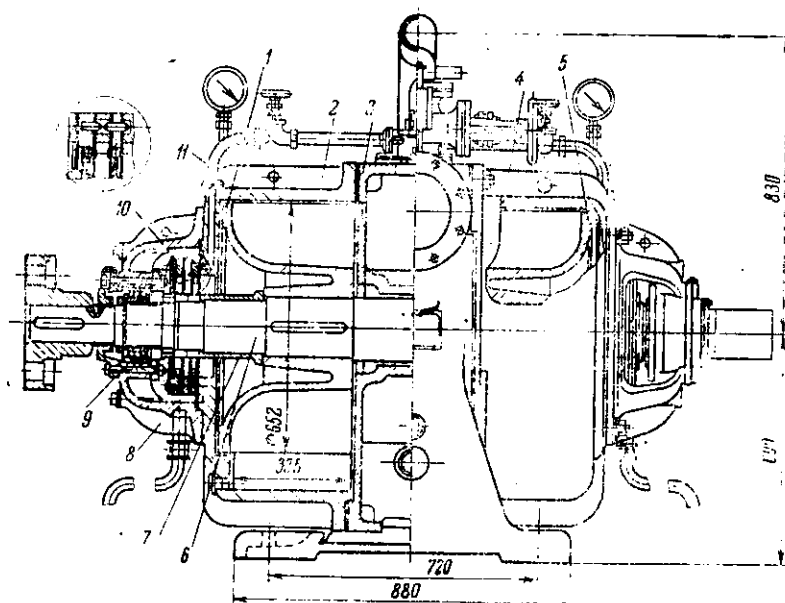


Рис. 21. Вакуум-насос ВВН-50:

- 1 — правое рабочее колесо; 2 — правый цилиндр; 3 — корпус; 4 — левый цилиндр;
5 — левое рабочее колесо; 6 — вал; 7 — уплотнительная втулка; 8 — кронштейн;
9 — роликовый подшипник; 10 — система гидроуплотнения; 11 — труба для подвода
жидкости к системе гидроуплотнения.

Насос имеет два цилиндра — правый 2 и левый 4, в которых вращаются два симметричных рабочих колеса — правое 1 и левое 5; между этими колесами расположен корпус 3 с всасывающей и нагнетательной камерами и штуцерами для присоединения трубопроводов.

Важной особенностью ВН является размещение уплотнений вала со стороны жидкости, благодаря этому значительно повышается их герметичность и надежность. Эти гидравлические уплотнения — саморегулируемые и автоматически действующие в сочетании с конструкцией остальных элементов насоса предотвращают пропуск газообразной среды в атмосферу и вытекание уплотняющей жидкости из системы.

Осевые зазоры между торцами рабочих колес и стенками цилиндров насоса могут быть минимальными. Относительная легкость разборки и доступность

внутренних частей насоса являются достоинствами конструкции насоса. При разборке не требуется отъединять основные трубопроводы, что очень важно в условиях эксплуатации.

На рис. 22 показаны рабочие характеристики ВН типа ВВН-50; на графике видно, что насос может работать при различных числах оборотов n , следовательно, с различной производительностью. ВН типа ВВН-50 могут найти применение в сахарной промышленности.

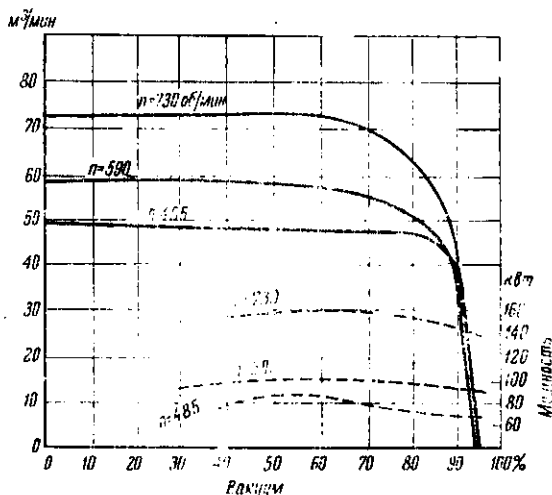


Рис. 22. Рабочие характеристики вакуум-насоса ВВН-50.

В настоящее время выпускаются также двухкамерные водокольцевые ВН типа ВВН-150 с номинальной производительностью 150 м³/мин.

С 1971 г. начнется серийный выпуск ВН типа ВВН-25, конструктивно сходного с ВН типа ВВН-50 (см. рис. 21).

Техническая характеристика вакуум-насоса ВВН-25

Предельный развиваемый вакуум в %	96
Номинальная производительность (при вакууме 70%), приведенная к условиям всасывания в м³/мин	28
Число оборотов вала ВН в минуту	590
Мощность электродвигателя ВН в кВт	55
Габаритные размеры (без электродвигателя) в мм	1745×1700×1250
Масса вакуум-насоса (без электродвигателя) в кг	2100

Более совершенный и экономичный ВН типа ВВН-25 заменит ВН типа РМК-4.

* * *

Описанные серийные водокольцевые ВН выполняются из чугуна и углеродистой стали и рассчитаны на отсасывание нейтральных газов и паров. Использование таких насосов для отсасывания агрессивных сред обычно приводит к их коррозии и выходу из строя. Для работы с агрессивными средами могут быть использованы серийные ВН типов ВВН-3Н и ВВН-12Н, выполняемых из нержавеющей стали 1Х19Н9Т и имеющих основные размеры такие же, как ВН типов ВВН-3 и ВВН-12.

Объемная производительность (в $\text{м}^3/\text{мин}$ при условиях всасывания) и потребляемая мощность (в квт) для ВН типов ВВН-3Н и ВВН-12Н приведены в табл. 5.

Таблица 5

Тип вакуум-насоса	Показатели	Вакуум в % от барометрического давления								Оптимальное количество воды в л./мин
		30	50	60	70	80	85	90	95	
ВВН-3Н	Производительность . . .	3,7	3,5	3,3	3,0	2,40	1,55	0		10—12
	Мощность . . .	5,62	5,41	5,29	5,56	5,68	5,60	5,52		
ВВН-12Н	Производительность . . .	12,25	10,18	10,08	10,0	9,15	8,67	4,7	0	50—60
	Мощность . . .	16,7	17,75	18,21	18,16	17,55	16,9	16,15	14,70	

При средах, агрессивных к стали IX18H9T, может быть использован ВН типа ФВВН-11, все части которого, соприкасающиеся с агрессивной средой, выполнены из фаяолита. Такой ВН, впервые разработанный, изготовленный и испытанный на Шелковском химзаводе [31], в настоящее время серийно выпускается. Он имеет производительность 11 $\text{м}^3/\text{мин}$ при вакууме 70% и развивает максимальный вакуум 95%. Мощность электродвигателя — 22 квт при 960 $\text{об}/\text{мин}$.

Спаренная (двухступенчатая) водокольцевая вакуум-насосная установка типа 2ВВНУ-4.25 позволяет создавать углубленный вакуум в условиях отсасывания различных газообразных сред. Она состоит из двух последовательно соединенных ВН, приводимых индивидуальными электродвигателями: I — ступени (типа ВАО-61-6, 10 квт , 970 $\text{об}/\text{мин}$) и II ступени (типа ВАО-42-4, 5,5 квт , 1450 $\text{об}/\text{мин}$), смонтированных на отдельных рамах. Все детали ВН, соприкасающиеся с отсасываемой средой, выполнены из бронзы.

Производительность установки составляет 4,25 $\text{м}^3/\text{мин}$ при вакууме 90%. Предельный развиваемый вакуум (при нулевой производительности) равен 99%. Габариты установки 3080×838×672 мм ; масса установки 750 кг .

Многие иностранные фирмы производят водокольцевые вакуум-насосы. Не которое количество таких насосов эксплуатируется на отечественных сахарных заводах. Конструктивно они отличаются от отечественных насосов и с этой точки зрения представляют известный интерес.

Вакуум-насосы фирмы «Сименс» (ФРГ)

ВН фирмы «Сименс», так называемые ВН «Эльмо», выпускаются различных типоразмеров [34]. Производительность этих насосов до 120 $\text{м}^3/\text{мин}$ при создаваемом (остаточном) давлении всасывания до 30 мм рт. ст. (4 $\text{кн}/\text{м}^2$) (без предвключенных эжекторов). Количество капельной жидкости, поступающей вместе с газообразной средой в обычные ВН (типа LP— m), допускается до 1% от всасываемого объема.

Водосборники (водоотделители) устанавливают непосредственно на нагнетательных патрубках ВН. Благодаря этому уменьшается площадь, занимаемая насосом, и упрощается возврат воды.

Для отсасывания газожидкостных смесей, содержащих по объему до 25% жидкости, могут быть использованы ВН «Elmo—Nutschpumpen», представляющие собой обычные ВН, на конце вала которых присоединены специальные центробежные насосы. Сверху ВН на всех четырех штуцерах (двух всасывающих

и двух выхлопных) установлен горизонтальный цилиндрический водоотделитель, объем которого разделен на две части: всасывающую ($\sim 75\%$ объема) и выхлопную ($\sim 25\%$ объема).

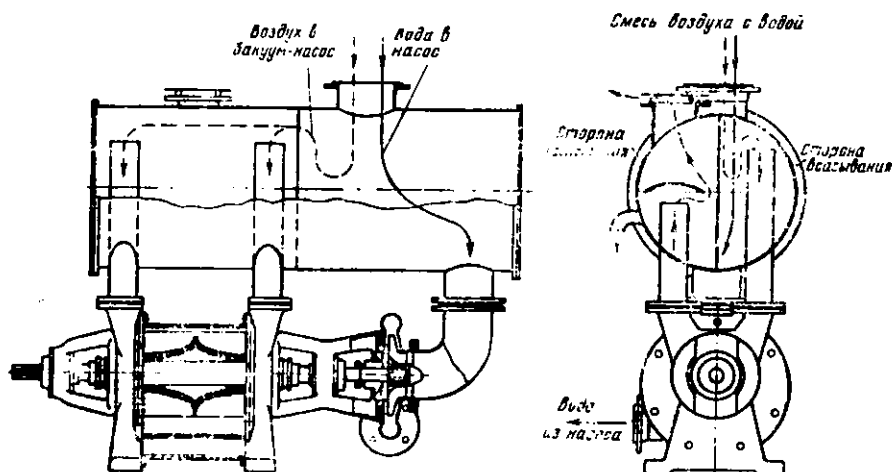


Рис. 23. Схема водокольцевого вакуум-насоса фирмы «Сименс» для газожидкостной смеси.

Во всасывающую часть водоотделителя поступает газожидкостная смесь, и здесь она разделяется. Газообразная часть, освобожденная от жидкости, через всасывающие штуцеры попадает в насос, сжимается и выталкивается в выхлопную часть водоотделителя, в которой освобождается от унесенной влаги; после этого газообразная часть удаляется в атмосферу или в трубопровод. Жидкость, собирающаяся на дне всасывающей части водоотделителя, по короткой трубе большого сечения поступает в центробежный насос, который отсасывает ее из вакуумной системы. На рис. 23 показаны продольный и поперечный разрезы описанного агрегата. Такие насосы рассчитаны для работы при давлении всасывания от 460 до 110 мм рт. ст. (от 60 до 15 кН/м²).

Вакуум-насосы фирмы «Neyret Beylier» (Франция)

Эти насосы являются двухкамерными водокольцевыми машинами. Их рабочие колеса имеют повышенное число лопаток, открытых не только с наружной стороны, но и с внутренней (со стороны вала), через которую поступает и удаляется отсасываемая среда. Распределительные устройства в виде полых отливок, охватывающих вал, входят внутрь рабочего колеса. Кроме распределительных каналов, в них также размещаются сальники и гидрозатворы.

Насосы производительностью до 6 м³/мин непосредственно приводятся от электродвигателей. При производительности от 6 м³/мин и более — привод, как правило, клиноременный, причем электродвигатель устанавливают сверху насоса, что делает агрегаты компактными.

Вакуум-насосы фирмы «Унодзава» (Япония)

Эти насосы выполняются в виде двухкамерных машин, номинальной производительностью от 0,2 до 150 м³/мин; большие насосы, производительностью 50 м³/мин и более, имеют клиноременный привод. Насосы малой производительности (0,2—0,7 м³/мин) выпускаются в вертикальном исполнении.

ВН, предназначенные для отсасывания газообразных сред со значительной примесью капельной жидкости, комплектуются предвключенными вертикальными сепараторами для отделения жидкости и вертикальными центробежными насосами для откачивания отсепарированной жидкости. Вертикальные водостделители, присоединяемые к выхлопным трубопроводам насосов, одновременно являются шумоглушителями. Все эти вспомогательные устройства вертикальной конструкции занимают мало места и удобно комплектуются с насосами.

6. ВАКУУМ-НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ С ОБЪЕМНЫМИ ВАКУУМ-НАСОСАМИ

На рис. 24 показана ВУ с суховоздушным поршневым ВН и конденсатором смешения, со всеми характерными для нее элементами. На всасывающем трубопроводе, как правило, установлена запорная арматура и после нее вакуумметр. На выхлопном трубопроводе запорная арматура обычно не устанавливается, но необходима установка каплеотбойника. Кроме того, при выхлопе из цилиндра вниз в нижней части выхлопного трубопровода устанавливают кран для спуска собирающейся в ней смеси масла и влаги.

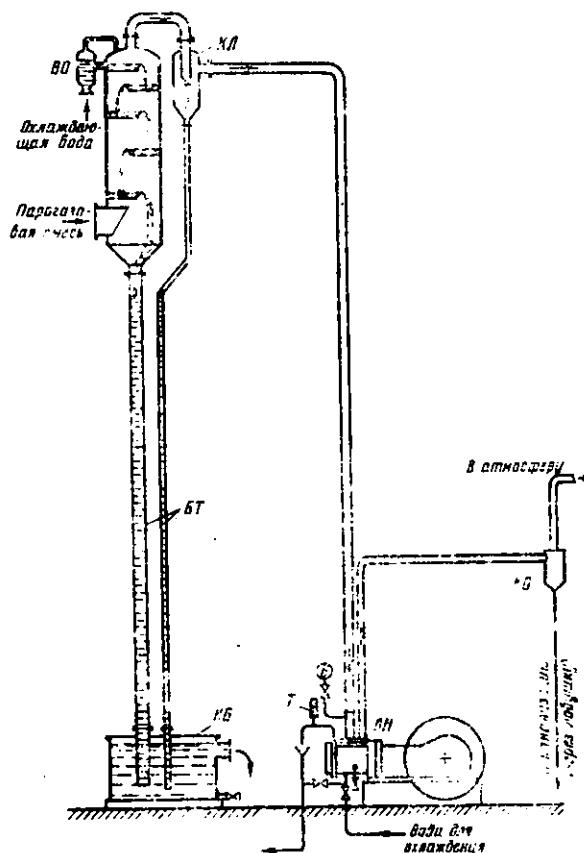
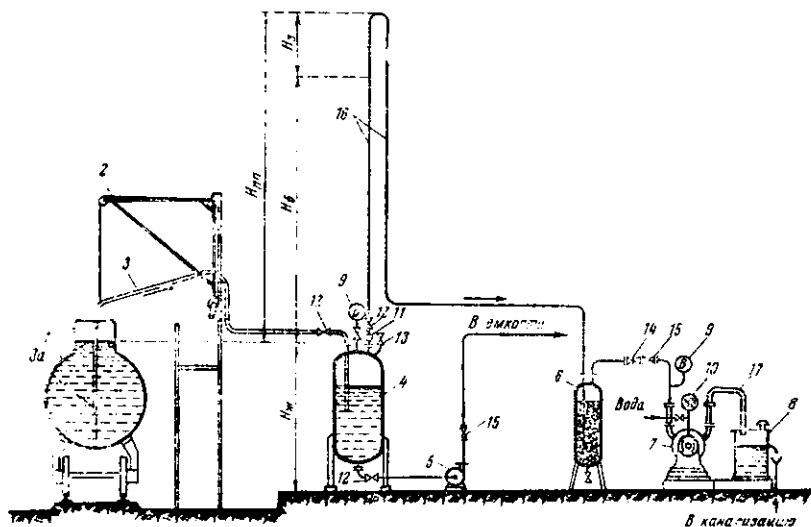


Рис. 24. Схема вакуум-установки (описание см. на стр. 65).

Схемы установок с мокровоздушными поршневыми ВН могут быть различными, в зависимости от конструкции ВН и условий их работы. На выпускных трубопроводах этих установок обязательна установка водоотделителей или аналогичных устройств.

Установки с водокольцевыми (жидкостнокольцевыми) ВН в зависимости от свойств отсасываемой среды подразделяются на работающие: а) с инертными и безвредными средами, которые после ВН могут быть удалены в атмосферу; б) с вредными или дурипопахнущими средами, непосредственное удаление которых в атмосферу исключается.

Принадлежность проектируемой ВУ к одной из вышеперечисленных разновидностей определяет соответствующие требования к ее схеме и оснащению.



1 — цистерна с кислотой; 2 — кран-укосина поворотный; 3 — рукав резино-тканевый с металлической спиралью; 3а — труба всасывающая алюминиевая; 4 — вакуум-присосник; 5 — насос, откачивающий кислоту; 6 — нейтрализатор; 7 — вакуум-насос водокло-цевой; 8 — водосборник; 9 — вакуумметр; 10 — мановакуумметр; 11 — фонарь контрольный; 12 — вентиль запорный; 13 — вентиль для соединения с атмосферой; 14 — задвижка; 15 — клапан обратный; 16 — петля предохранительная барометрическая; 17 — трубопровод вакуум-насоса выхлопной.

На рис. 25 показана схема установки для разгрузки железнодорожных цистерн с серной кислотой с использованием серийного водокольцевого ВН, работающей следующим образом. В люк цистерны 1 при помощи поворотной укосины 2 (с ручной лебедкой) опускают всасывающую трубу 3а, присоединенную гибким резино-тканевым рукавом (с металлической спиралью) 3 к стационарному трубопроводу. Вакуум-насос 7 через систему всасывающих трубопроводов создаст разрежение в вакуум-приемнике 4, заставляющее кислоту перетекать из цистерны в него. Из вакуум-приемника кислота откачивается насосом 5 в складские емкости. Паровоздушная смесь, отсасываемая из вакуум-приемника, содержит следы кислоты, которые задерживаются и нейтрализуются в нейтрализаторе 6, заполненном кусками доломита, известняка или другого подобного материала.

Глава III

СТРУЙНЫЕ (ЭЖЕКЦИОННЫЕ) И КОМБИНИРОВАННЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

Струйными называются ВН, в которых основными рабочими элементами являются пароструйные, газоструйные или водоструйные эжекторы. Последние представляют собой разновидности струйных аппаратов, использующих для создания вакуума действие струй водяного пара, газа или воды. Эти струи являются рабочими потоками, выходящими с очень большой скоростью из сопел в приемные камеры эжекторов, увлекающими с собой эжектируемую газообразную среду (газ, пар или их смесь), имеющую давление ниже атмосферного, и сжимающими ее до более высокого давления.

Повышение давления эжектируемой среды без непосредственной затраты механической энергии является отличительной особенностью струйных аппаратов.

1. ПРИНЦИП РАБОТЫ СТРУЙНЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ

Схема устройства и действия пароструйного эжектора с диаграммами давлений и скоростей представлена на рис. 26.

Эжектор состоит из рабочего сопла 1 со штуцером для присоединения паропровода, приемной камеры со всасывающим штуцером 2, камеры смешения 3, состоящей из конфузора и цилиндрической горловины, и диффузора 4 с выходным штуцером.

Работа эжектора протекает следующим образом. Рабочая среда — водяной пар с давлением P_p , подводимый к эжектору, поступает в рабочее сопло, в котором расширяется до давления эжектируемой среды P_n (начальное давление). При этом энергия давления превращается в энергию движения и скорость струи возрастает до значительной величины, обычно сверхзвуковой. Протекая через входной участок камеры смешения, струя рабочего пара захватывает эжектируемую среду, подсасываемую из приемной камеры, и поступает далее по камере смешения; здесь происходит более полное смешение рабочего пара с эжектируемой средой, сопровождающееся выравниванием скоростей и температур по сечению и постепенным повышением давления. Дальнейшее сжатие смешанного потока до выходного давления P_c происходит в диффузоре с одновременным уменьшением скорости.

Газоструйные эжекторы не рассматриваются, так как практически не имеют применения в пищевой промышленности.

В водоструйных эжекторах в качестве средства для отсасывания эжектируемой среды и создания вакуума используется кинетическая энергия струи воды. По устройству и принципу действия водоструйные эжекторы сходны с пароструй-

ными. При простоте устройства и кажущейся простоте действия работа струйных аппаратов связана со сложными внутренними процессами.

В эжекторах основным рабочим элементом является струя пара, газа или жидкости (вода), вытекающая с большой скоростью из сопла. Сопла бывают

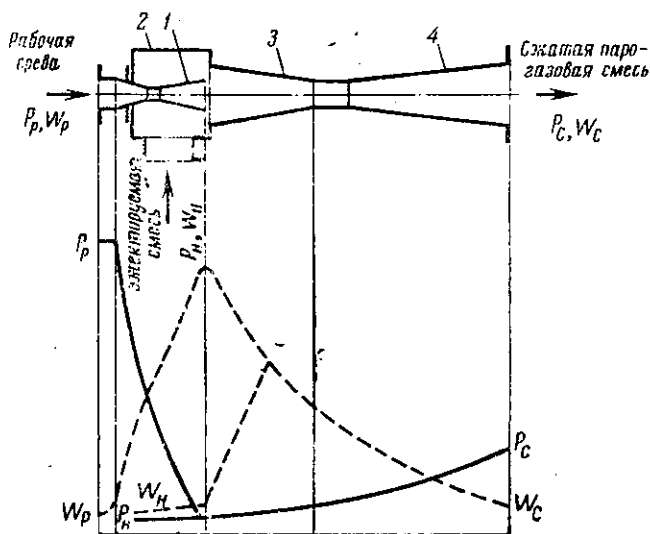


Рис. 26. Схема пароструйного эжектора.

двух типов (рис. 27): сужающееся (а) и так называемое сопло Лавалья (б). Сужающиеся сопла используются в водоструйных эжекторах, рабочая среда которых — вода не расширяется. В пароструйных и газоструйных эжекторах сужающиеся сопла не имеют применения, так как они не обеспечивают необходимой степени расширения. Последнее происходит только частично и определяется достижением «критической скорости», равной скорости звука.

Работа расширяющегося сопла Лавалья протекает иначе.

Как и в сужающемся сопле, при отношении давлений: $\frac{P_n}{P_p}$ менее критического, что практически бы-

вает всегда, скорость струи в горле сопла также достигает критической скорости, равной скорости звука. Переходя затем в расширяющуюся часть сопла, струя продолжает расширяться с увеличением скорости, которая при выходе струи из расширяющейся части сопла становится максимальной.

В пароструйных и газоструйных эжекторах практически используются только расширяющиеся сопла Лавалья, обеспечивающие расширение рабочего пара или газа в любой необходимой степени, которое всегда будет сверхкритическим. Соответственно скорости струй пара (или газа), выходящих из этих сопел, всегда будут сверхзвуковыми.

Работа эжектора в значительной мере зависит от степени сжатия эжектируемой среды K , а также от степени расширения рабочей среды E . Кроме того, большое значение для характеристики действия эжектора имеет коэффициент эжекции H .

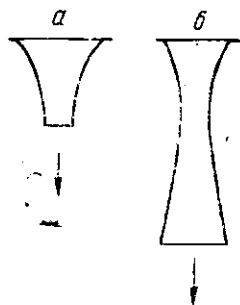


Рис. 27. Сопла.

$$K = \frac{P_c}{P_n}, \quad (11)$$

где P_c — давление сжатой среды на выходе из эжектора;
 P_n — давление эжектируемой среды на входе в эжектор.
 Степень расширения рабочей среды

$$E = \frac{P_p}{P_n}, \quad (12)$$

где P_p — давление рабочей среды перед соплом эжектора.

Массовый коэффициент эжекции — это масса эжектируемой среды, приходящаяся на 1 кг рабочей среды, т. е.

$$U = \frac{G_n}{G_p} \text{ кг/кг}, \quad (13)$$

где G_n — масса эжектируемой среды;
 G_p — масса рабочей среды.

Для водоструйных эжекторов, характеризующихся большой разностью плотностей рабочей и эжектируемой сред, для характеристики и расчетов принято [4] пользоваться не массовым коэффициентом эжекции, имеющим обычно чрезвычайно малую величину (порядка $1 \cdot 10^{-5}$), а объемным коэффициентом эжекции U_0 :

$$U_0 = \frac{V_n}{V_p} \cdot \text{м}^3/\text{м}^3, \quad (14)$$

где V_n — объем эжектируемой среды в $\text{м}^3/\text{ч}$;
 V_p — объем рабочей среды (воды) в $\text{м}^3/\text{ч}$.

Величина U_0 колеблется обычно в пределах от 0,2 до 2.

2. ПАРОЭЖЕКТОРНЫЕ (ПАРОСТРУЙНЫЕ) ВАКУУМ-НАСОСЫ (ПЭВН)

ПЭВН, работающие на водяном паре, являющиеся одной из разновидностей газоструйных аппаратов, применяются в широком диапазоне давлений и производительностей для отсасывания газов, паров и парогазовых смесей, сухих и влажных, чистых и запыленных, нейтральных и агрессивных, активных и взрывоопасных в самых разнообразных условиях.

ПЭВН являются прогрессивным видом оборудования, получившим в послевоенные годы широкое применение в ряде отраслей пищевой промышленности в связи с наличием у них существенных преимуществ перед другими типами ВН.

Для правильной оценки условий работы ПЭВН необходимо знать удельные объемы паров и газов при значительных разрежениях.

Удельные объемы водяного пара при малых абсолютных давлениях очень велики. Так, при давлении 5 мм рт. ст. ($0,67 \text{ кн/м}^2$) удельный объем пара составляет около $190 \text{ м}^3/\text{кг}$; при давлении 3 мм рт. ст. ($0,4 \text{ кн/м}^2$) — $320 \text{ м}^3/\text{кг}$ и при давлении 1 мм рт. ст. ($0,133 \text{ кн/м}^2$) — около $985 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Из этого следует, что при отсасывании водяных паров и неизменной массовой производительности снижение давления с 5 ($0,67$) до 3 ($0,4$) мм рт. ст. (кн/м^2) связано с увеличением объемной производительности на 68%; снижение давления с 3 ($0,4$) до 1 ($0,133$) мм рт. ст. (кн/м^2) потребует увеличения объемной производительности в 3,1 раза.

Нередко газообразные среды, отсасываемые ВН, имеют высокие температуры, что дополнительно увеличивает их удельные объемы. Например, водяной пар, отсасываемый из дезодоратора для жиров при температуре 200°C и давлении 3 мм рт. ст. ($0,4 \text{ кн/м}^2$), имеет удельный объем $\sim 530 \text{ м}^3/\text{кг}$. Следовательно, при отсасывании около 100 кг среды в 1 ч потребуется удалить из аппарата в 1 ч около $53\,000 \text{ м}^3$ пара, что практически можно осуществить только при помощи ПЭВН.

Обычно степень сжатия одного пароструйного эжектора составляет от 2 до 7 и, как правило, не превышает 10. Минимальное давление всасывания, создаваемое одинарным эжектором (например, пусковым — предварительным), работающим с выхлопом в атмосферу, составляет около $120\text{--}60 \text{ мм рт. ст.}$ ($16\text{--}8 \text{ кн/м}^2$).

Для создания более глубокого вакуума применяются многоступенчатые агрегаты, состоящие из нескольких последовательно соединенных эжекторов. При этом каждый последующий эжектор должен удалять не только парогазовую смесь, отсасываемую первым эжектором, но и рабочий пар из предыдущих эжекторов.

Для уменьшения расхода рабочего пара на сжатие паров, содержащихся в удаляемой смеси, обычно между двумя последовательно работающими эжекторами включают промежуточные конденсаторы, в которых конденсируется значительная часть паров. Количество последовательно включенных эжекторов в многоступенчатом агрегате определяется в основном давлением, которое требуется создавать. Например, для достижения и поддержания давления 5 мм рт. ст. ($0,67 \text{ кн/м}^2$) при давлении выхлопа 800 мм рт. ст. ($106,7 \text{ кн/м}^2$) общая степень сжатия

$$K_{\text{общ}} = \frac{800}{5} = 160.$$

Степени сжатия K и давления отсасываемой среды при выходе из отдельных эжекторов трехступенчатого ПЭВН P_c могут быть примерно следующими:

эжектор I ступени, $K^I \approx 8$; $P_c^I = 5 \cdot 8 = 40 \text{ мм рт. ст.}$

эжектор II ступени, $K^{II} = 5$; $P_c^{II} = 40 \cdot 5 = 200$ »

эжектор III ступени, $K^{III} \approx 4$; $P_c^{III} = 200 \cdot 4 = 800$ »

$$K_{\text{общ}} = K^I K^{II} K^{III} = 8 \cdot 5 \cdot 4 = 160.$$

Степень сжатия среды в эжекторах перед первым промежуточным конденсатором ПЭВН определяется температурой охлаждающей воды, выходящей из него (нагретой), так как давление в конденсаторе должно быть не ниже упругости водяного пара при этой температуре. Этим обеспечивается возможность конденсации водяного пара, содержащегося в парогазовой смеси, поступающей в конденсатор.

В случае невозможности осуществить такое сжатие в одной ступени перед первым конденсатором устанавливают два или более эжекторов без промежуточных конденсаторов.

На рис. 28 показана схема трехступенчатого ПЭВН, состоящего из трех эжекторов и двух промежуточных конденсаторов смещения.

Из технологического аппарата, в котором создается вакуум, газообразная среда засасывается эжектором I ступени 1, в котором она при посредстве струи рабочего пара сжимается до промежуточного давления P_c^I и направляется в первый промежуточный конденсатор 2. Здесь большая часть пара конденсируется, а неконденсирующиеся газы с некоторым (насыщающим) количеством пара поступают в приемную камеру эжектора II ступени 3, где сжимаются до давления P_c^{II} ; затем смесь переходит во второй промежуточный конденсатор 4, в котором снова происходит конденсация паров. Выходящая из конденсатора парогазовая смесь поступает в эжектор III ступени 5, сжимается в нем до давления P_c^{III} несколько превышающего атмосферное, и выбрасывается в атмосферу.

Для обеспечения непрерывного поступления эжектируемой среды давление в приемной камере эжектора во время работы должно быть несколько ниже давления в обслуживаемом аппарате или в выхлопном патрубке эжектора предыдущей ступени на величину сопротивления (потери давления) протеканию на этом участке.

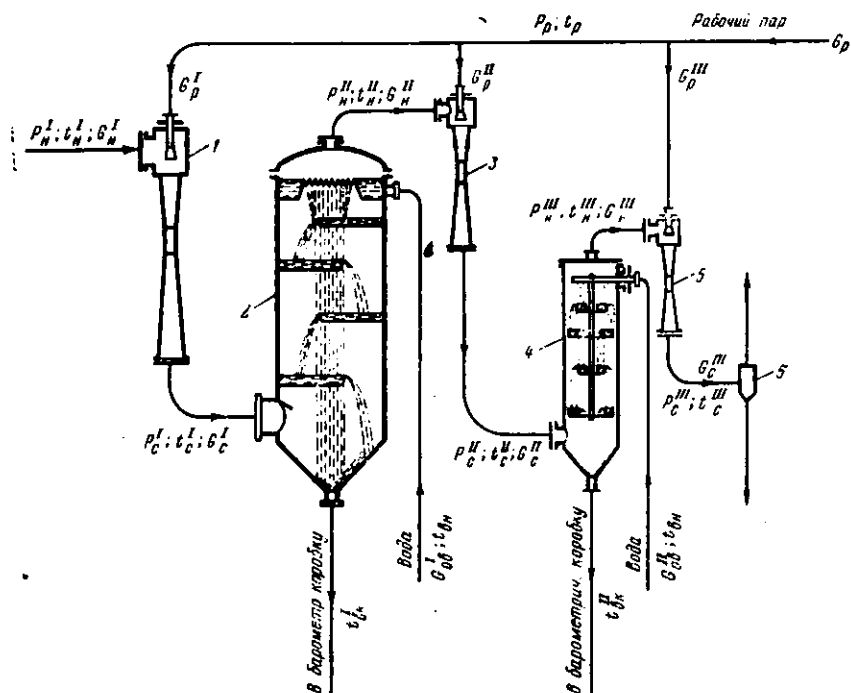


Рис. 28. Схема трехступенчатого ПЭВН:

1 - эжектор I ступени; 2 - конденсатор I ступени; 3 - эжектор II ступени; 4 - конденсатор II ступени; 5 - эжектор III ступени; 6 - водоотделитель.

Современные ПЭВН имеют следующие достоинства:

- а) простота и компактность конструкции;
- б) отсутствие движущихся частей и незначительный износ деталей;
- в) легкость управления и обслуживания;
- г) надежность в эксплуатации и значительная перегрузочная способность, обеспечивающая достаточную устойчивость в работе;
- д) возможность отсасывания агрессивных сред;
- е) взрывобезопасность и высокая герметичность;
- ж) отсутствие пульсаций в отсасываемом парогазовом потоке;
- з) незначительная первоначальная стоимость;
- и) возможность полной автоматизации и размещения вне помещения;
- к) потребность в незначительной площади и легких опорных конструкциях для установки.

Кроме того, ПЭВН в большей степени, чем другие типы ВН, приспособлены для обслуживания непрерывных технологических процессов.

Существенными недостатками ПЭВН являются:

- а) значительный расход рабочего пара, вызванный низким к. п. д.;
- б) повышенная потребность в охлаждающей воде в связи с необходимостью конденсации рабочего пара.

Схема и конструкция всякого ПЭВН зависят от ряда условий: давления (вакуума), которое должно быть создано в технологической аппаратуре; производительности; физико-химических свойств отсасываемой среды и ее температуры; необходимости сохранения конденсата из промежуточных конденсаторов или возможность смешения его с охлаждающей водой; особенностей технологического процесса (непрерывный, циклический или периодический); числа часов эксплуатации в течение года; способа присоединения первой ступени к обслуживаемому аппарату или установке; расположения по высоте над уровнем слива охлаждающей воды; размещения насоса (в помещении или вне помещения).

По конструктивным признакам ПЭВН классифицируют:

а) по числу ступеней сжатия — на одноступенчатые и многоступенчатые (две ступени и более);

б) по типу промежуточных конденсаторов — на ПЭВН с конденсаторами смешения и ПЭВН с поверхностными конденсаторами;

в) по условиям отвода охлаждающей воды из конденсаторов на ПЭВН барометрические и ПЭВН низкого уровня;

г) по материалу, из которого выполнены основные элементы ПЭВН (эжекторы и конденсаторы), соприкасающиеся с отсасываемой средой, на ПЭВН из чугуна или углеродистой стали, из легированной стали, титана, цветных металлов, фарфора, пластмасс, эмалированных и т. д.

В табл. 6 приведены ориентировочные пределы давлений, которые могут быть созданы в нормальных эксплуатационных условиях ПЭВН в зависимости от числа ступеней сжатия в них. Там же указаны соответствующие степени сжатия — общие и средние для одного эжектора. Давление выхлопа из последней ступени принято равным 800 мм рт. ст. (106,7 кн/м²).

Таблица 6

Число ступеней сжатия ПЭВН n	Давление всасывания ПЭВН $p_{\text{в}}^I$ в мм рт. ст. (кн/м ²)	Общая степень сжатия ПЭВН $K_{\text{общ}}$	Средняя степень сжатия на одной ступени $K_{\text{ср}} = \sqrt[n]{K_{\text{общ}}}$
1	755—60 (100,7—8)	1,06—13,3	1,06—13,3
2	150—10 (20—1,33)	5,33—80	2,31—8,94
3	25—2 (3,3—0,27)	32—400	3,17—7,37
4	5—0,3 (0,67—0,04)	160—2667	3,56—7,19
5	1—0,05 (0,133—0,0067)	800—16000	3,81—6,93

Из табл. 6 следует, что для создания определенного давления могут быть использованы ПЭВН с различным числом ступеней сжатия. Так, чтобы создать давление в 2,5 мм рт. ст. (0,33 кн/м²), можно применить ПЭВН с тремя и четырьмя ступенями. Решение подобного вопроса будет зависеть от условий, в каких должен работать ПЭВН.

Как правило, в ПЭВН первые ступени, работающие при небольших давлениях всасывания, особенно эжекторы перед первым промежуточным конденсатором, имеют большие степени сжатия, чем последующие ступени, работающие при относительно больших давлениях. Например, современный трехступенчатый ПЭВН, предназначенный для создания и поддержания вакуума в дистилляционной колонне, при давлении всасывания 15 мм рт. ст. (2 кн/м²) оснащен эжекторами со следующими степенями сжатия:

$$\text{эжектор I ступени } K^I = \frac{80}{15} = 6,0;$$

$$\text{эжектор II ступени } K^{II} = \frac{290}{90} = 3,22;$$

$$\text{эжектор III ступени } K^{III} = \frac{800}{290} = 2,76.$$

Производительность ПЭВН может быть самой различной — от долей килограмма до нескольких тысяч килограммов в час.

Нормаль машиностроения МН 1804-61 «Вакуум-насосы парожеткорные. Основные параметры и размеры» распространяется на ПЭВН с давлением у входа от 1 до 160 мм рт. ст. (0,133—21,33 кн/м²), предназначенные для отсасывания воздуха, газов и паров различных жидкостей на химических, нефтеперерабатывающих, нефтехимических, пищевых и других предприятиях.

Абсолютное давление рабочего пара в ПЭВН по нормам составляет 6,0 или 10,0 кгс/см². Однако в случаях обоснованной необходимости может быть применен пар других давлений. Практически в современных ПЭВН давление рабочего пара колеблется от 1,5 до 26 кгс/см² (от 0,15 до 2,6 Мн/м²).

Разрешается в случае промежуточных значений основных параметров, а также рабочих условий, отличающихся от принятых в нормам, в целях экономии пара и воды изготовлять ПЭВН по специальным (индивидуальным) заказам.

Нормаль предусматривает изготовление ПЭВН из различных материалов и укомплектование их конденсаторами смещения или поверхностными конденсаторами в зависимости от условий предполагаемой эксплуатации.

Технические возможности использования ПЭВН для создания вакуума чрезвычайно велики; практическая целесообразность их использования определяется конкретными технико-экономическими расчетами.

Большое разнообразие условий технологических процессов, проводимых под вакуумом, естественно, вызывает потребность в соответствующих ПЭВН.

В выхлопной трубопровод последнего эжектора ПЭВН обычно включают концевой конденсатор или водоотделитель.

Концевой конденсатор включается в комплект ПЭВН, когда в парогазовой смеси, выходящей из последнего эжектора, содержатся пары, которые должны быть возможно полнее сконденсированы (по причине их ценности или из-за нежелательности их выброса в атмосферу по санитарно-гигиеническим условиям). Кроме того, концевой конденсатор является хорошим шумоглушителем. Если нет надобности в установке концевого конденсатора, «на выхлопе» из ПЭВН устанавливают водоотделитель, отделяющий капли жидкости, а также значительно уменьшающий шум, производимый струей, выходящей из последнего эжектора.

Многоступенчатые ПЭВН, создающие вакуум в технологических установках с большим объемом аппаратуры, при необходимости периодических пусков с минимальной продолжительностью последних иногда оснащают так называемыми «пусковыми» или «предварительными» эжекторами. Это вызвано тем, что ПЭВН обладают постоянной массовой производительностью и, следовательно, при высоких давлениях всасывания имеют незначительную объемную производительность. Если при пуске аппаратов требуется удалять из них значительные объемы газобразной среды (обычно воздуха), то использование для этого основных эжекторов приводит к увеличению длительности пуска, что является нежелательным, а иногда недопустимым.

Пусковые эжекторы имеют значительную производительность при высоких давлениях [обычно в пределах от атмосферного до 75—150 мм рт. ст. (10—20 кн/м²)] и выполняются одноступенчатыми. Их присоединяют к всасывающему трубопроводу эжектора I ступени или к первому конденсатору.

В период пуска параллельно с пусковым эжектором работают и основные эжекторы ПЭВН, за исключением первых эжекторов. После достижения необходимого предварительного вакуума пускаются все остальные эжекторы, пусковой эжектор отключается и останавливается, а ПЭВН быстро доводит давление до необходимого уровня.

При размещении в цехе нескольких технологических установок значительной емкости, работающих под вакуумом, для ускорения пуска их оснащают общим пусковым эжектором, присоединяемым к отдельным установкам через общий всасывающий трубопровод с запорной арматурой на каждом присоединении, если такое объединение допустимо по всем прочим условиям.

На рис. 29 приведены наиболее распространенные схемы ПЭВН (от одной до пяти ступеней). На всех схемах условно показаны ПЭВН с конденсаторами смещения, которые в случаях необходимости могут быть заменены поверхностными. На двух схемах (б и з) ПЭВН показаны с концевыми конденсаторами. Однако в

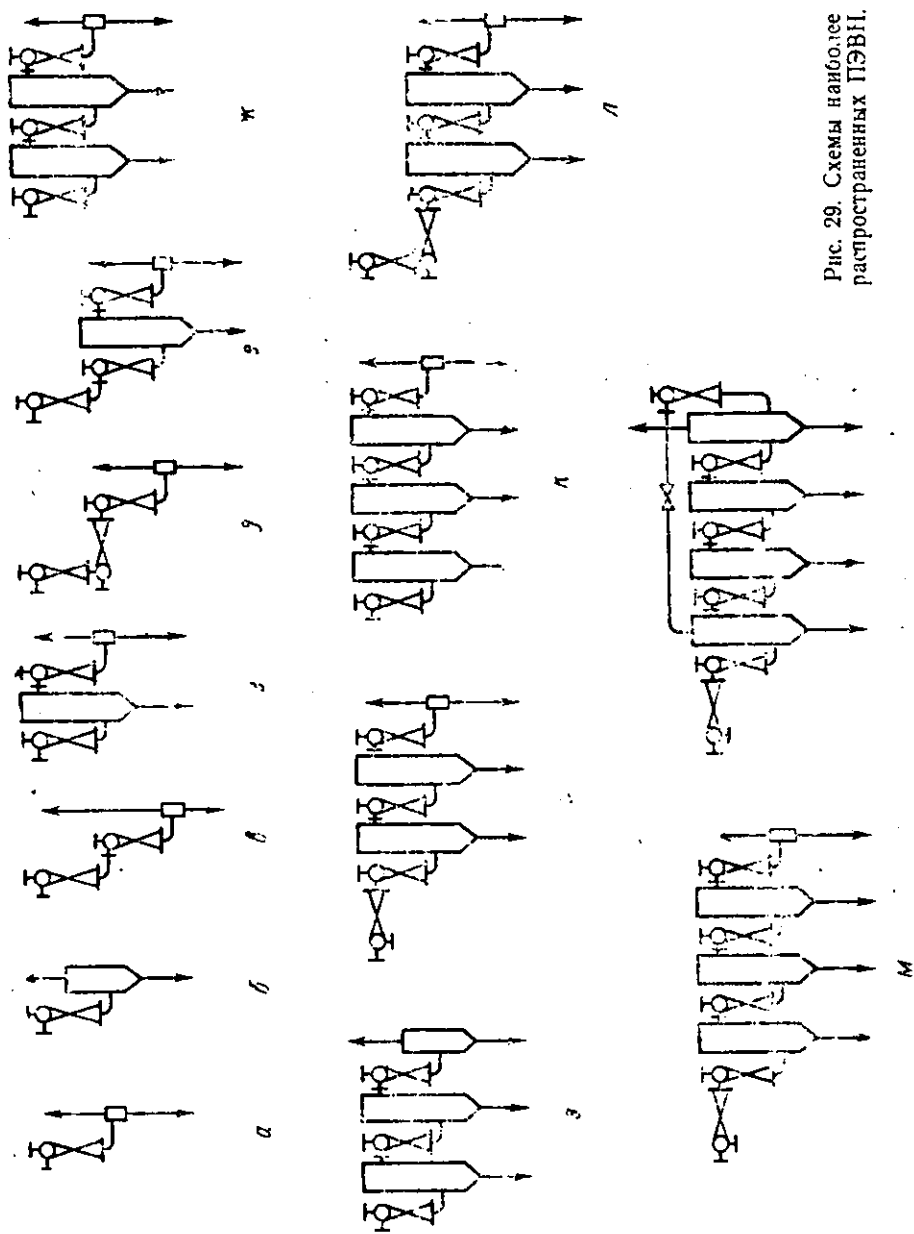


Рис. 29. Схемы наиболее распространенных РЭВН.

любой из остальных схем при необходимости водоотделители могут быть заменены концевыми конденсаторами.

На рис. 29 (а и б) приведены схемы одноступенчатых ПЭВН с выхлопом через водоотделитель (а) и через концевой конденсатор (б). Такие ПЭВН удобны из-за простоты устройства и эксплуатации, а также компактности в случаях, когда необходим источник вакуума для периодических производственных операций, например, при разгрузке автоцистерн с едкими жидкостями, при зачистках емкостей, а также при транспортировании сред под вакуумом.

Нередко одноступенчатые ПЭВН используются для аспирации аппаратов и емкостей с коррозионными или огнеопасными средами (например, современные маслоэкстракционные установки ИД-1250, Де-Смет и др.).

Двух и трехступенчатые бесконденсаторные ПЭВН (в и д) используются при незначительной производительности для лабораторных и промышленных установок, когда эпизодически приходится создавать глубокий вакуум при отсасывании неконденсирующихся газов.

Схему ПЭВН, приведенную на рис. 29, е, целесообразно использовать при длительной работе, так как включение конденсатора после первых двух эжекторов позволяет значительно сократить расход рабочего пара.

Остальные схемы ПЭВН обычно применяются для установок, требующих длительного или непрерывного использования вакуума.

На рис. 29, ж показан пятиступенчатый ПЭВН с пусковым эжектором, присоединенным к первому промежуточному конденсатору. Из пускового и последнего эжекторов отсасываемая среда удаляется в концевой конденсатор, выполняемый для подобных условий несколько большего размера, чем при отсутствии пускового эжектора.

При большой производительности и глубоком вакууме эжекторы первых ступеней имеют значительные размеры. Длина их может достигать 5—6 м и более, а диаметры всасывающих штуцеров 500—800 мм и более. В таких случаях стремление сократить длину громоздких всасывающих трубопроводов, а заодно и потери давления, побуждает конструкторов устанавливать эти эжекторы возможно ближе к обслуживаемым технологическим аппаратам; однако иногда это приводит к некоторому пространственному отрыву первой ступени ПЭВН от его остальной части.

При высокой производительности, но при периодических и значительных колебаниях ее, не позволяющих обеспечить устойчивую и достаточно экономичную работу ВУ, прибегают к использованию ПЭВН, у которых первая ступень, а иногда и вторая, состоит из нескольких, обычно одинаковых, эжекторов, работающих параллельно. Это часто встречается в парозжекторных холодильных и вакуум-кристаллизационных установках большой производительности.

Ниже приводим кратко сведения о некоторых типах современных парозжекторных вакуум-насосов.

Парозжекторные вакуум-насосы ВН-1, ВН-2,5, ВН-5, ВН-10 и ВН-20

Эти насосы серийно изготавливаются заводом «Мелекесхиммаш» и широко используются для создания вакуума в различных отраслях промышленности, для производственных и лабораторных установок со средами, нейтральными к чугуну и углеродистой стали. Основные технические данные насосов приведены в таблице 7 [42].

Все эжекторы выполнены из чугуна (корпуса из СЧ 18-36 и сопла из СЧ 21-40) и имеют фланцевые присоединения. Конденсаторы смещения изготовляют с четырьмя круглыми чугунными тарелками. Остальные детали конденсаторов выполнены из углеродистой стали. Концевых конденсаторов не имеется. Все части ПЭВН объединены в компактные блоки путем соединения конденсаторов между собой и крепления к ним всех остальных элементов. Эти блоки лег-

Показатели	Типы ПЭВН				
	ВН-1	ВН-2,5	ВН-5	ВН-10	ВН-20
Производительность по сухому воздуху в кг/ч	1	2,5	5	10	20
Объемная производительность в м ³ /ч	1000	2500	500	1000	1000
Давление остаточное перед эжектором I ступени в мм рт. ст. (кн/м ²)	1 (0,133)	1 (0,133)	10 (1,33)	10 (1,33)	20 (2,67)
Число ступеней сжатия	5	5	4	4	4
Число эжекторов перед первым конденсатором	2	2	1	1	1
Число конденсаторов	3	3	3	3	3
Абсолютное давление рабочего пара в кгс/см ² (Мн/м ²)	6 (0,6)	6 (0,6)	6 (0,6)	6 (0,6)	3,5 (0,35)
Расход рабочего пара в кг/ч	35	90	70	140	200
Температура охлаждающей воды перед конденсаторами в °С не выше	25	25	25	25	25
Расход охлаждающей воды в м ³ /ч	До 3	До 5	До 3	До 5	До 4
Габаритные размеры в мм					
длина	1300	700	820	1000	1723
ширина	750	1300	548	752	1000
высота	1250	3400	2230	2590	2350
Диаметр всасывающего трубопровода в мм	76	100	65	80	80
Диаметр выходного трубопровода в мм	20	20	32	32	32

ко могут быть размещены на стенах (на кронштейнах) или на полу и на крыше (на подставках).

Насос ВН-1 имеет три отдельных конденсатора. Второй и третий конденсаторы ВН-2,5 соединены между собой так, что днище второго конденсатора является крышкой третьего конденсатора.

Давление в конденсаторах при начальной температуре охлаждающей воды от 20 до 25°С колеблется в пределах: 38—49 (5,1—6,5) в первом, 102—121 (13,6—16,2) во втором и 275—300 мм рт. ст. (36,6—40 кн/м²) в третьем. Соответственно этому температура охлаждающей воды, выходящей из конденсаторов, должна быть в пределах 31—36°С для первого, 50—53°С для второго и 72—74°С для третьего.

Насосы ВН-5 и ВН-10 имеют 4 эжектора и 3 конденсатора. Основной блока ВН являются конденсаторы, скрепленные между собой и имеющие лапы для установки на опорных конструкциях. Второй и третий конденсаторы расположены один над другим и объединены фланцевым соединением. Это уменьшает габарит по ширине. У конденсаторов все штуцеры для подвода воды имеют $D_y = 25$ мм, штуцеры для отвода воды имеют $D_y = 32$ мм. При начальной температуре охлаждающей воды 20—25°С давление в промежуточных конденсаторах насосов ВН-5 и ВН-10 может быть в пределах: 32—42 (4,3—5,6) в первом, 91—111 (12,1—14,9) во втором и 260—290 мм рт. ст. (34,7—38,7 кн/м²) в третьем. Согласно давлению

температура охлаждающей воды, выходящей из конденсаторов, будет в пределах: 28—33° С для первого, 48—52° С для второго и 70—72° С для третьего конденсатора.

На рис. 30 приведена схема ПЭВН типа ВН-5 с основными трубопроводами. Все эжекторы питаются рабочим паром от общего паропровода, из которого

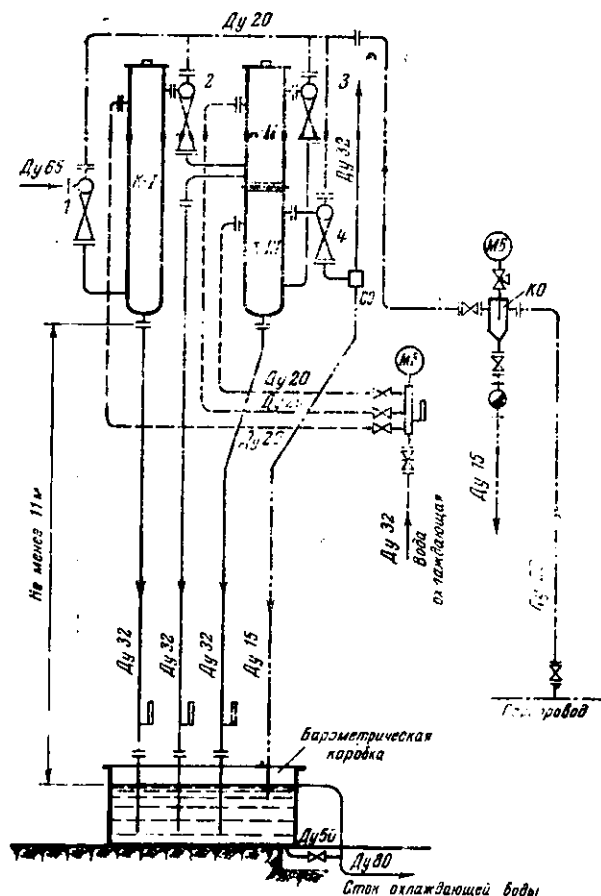


Рис. 30. Схема установки ПЭВН типа ВН-5 с трубопроводами:

1 — эжектор I ступени; 2 — эжектор II ступени; 3 — эжектор III ступени; K-I — конденсатор I ступени; K-II — конденсатор II ступени; K-III — конденсатор III ступени; 4 — эжектор IV ступени; BO — водоотделитель на выходе; KO — конденсатоотделитель на паропроводе рабочего пара; MB — мановакуумметр.

перед ventилем установлен водоотделитель с дренажным устройством. Установка водоотделителя (не входящего в комплект поставки ПЭВН) необходима в случаях питания эжекторов насыщенным влажным паром во избежание попадания в их сопла капельной влаги. Устройство для отвода конденсата из водоотделителя должно быть автоматическим и непрерывнодействующим.

Поддача рабочего пара в эжекторы регулируется вентилем, установленным после водоотделителя. Второй вентиль, установленный в начале паропровода, используется для отключения ПЭВН от магистрали при длительных остановках.

Охлаждающая вода подается в конденсаторы от общего напорного коллектора по отдельным трубопроводам с вентилями для регулирования количества воды. Общая запорная задвижка (или вентиль) установлена на подводящем трубопроводе перед коллектором. Исползованная охлаждающая вода из всех конденсаторов по отдельным барометрическим трубам самотеком поступает в барометрическую коробку, являющуюся гидрозатвором. На всех барометрических трубах, над барометрической коробкой, имеются фланцевые соединения для установки заглушек при испытаниях установок избыточным давлением.

На схеме показаны местные приборы — термометры и мановакуумметры на трубопроводах для воды и пара.

Насос ВН-20 отличается от рассмотренных ПЭВН наличием мощного пускового эжектора и давлением рабочего пара, равным только $3,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,35 \text{ Мпа/м}^2$).

Пусковой эжектор присоединен через запорный вентиль ($D_v = 80 \text{ мм}$) к всасывающему трубопроводу и работает при пуске до достижения давления $150-200 \text{ мм рт. ст.}$ ($20-26,7 \text{ кПа/м}^2$), потребляя при этом 200 кг/ч рабочего пара.

Все конденсаторы насоса ВН-20 имеют одинаковые размеры — наружный диаметр 325 мм и высоту около 2000 мм .

Пароэжекторный вакуум-насос фирмы «Виганд» (ГДР)

На рис. 31 показан общий вид и план современного четырехступенчатого ПЭВН фирмы «Виганд» (ГДР), используемого для создания глубокого вакуума в установке производства синтетических жирных кислот. Рассчитан он на удаление 15 кг/ч парогазовой смеси, состоящей из 10 кг водяного пара и 5 кг воздуха, при давлении 1 мм рт. ст. ($0,133 \text{ кПа/м}^2$). Два первых эжектора включены перед первым конденсатором, давление в котором составляет около 65 мм рт. ст. ($\sim 8,7 \text{ кПа/м}^2$). Оба промежуточных конденсатора — поверхностные ($18 \times 2 \text{ м}^2$), вертикальные. Парогазовая смесь поступает в верхнюю часть межтрубного пространства, а конденсат выходит вниз. Вода протекает по трубам. Первый конденсатор четырехходовый (по воде), второй — одноходовый. Охлаждающая вода в количестве около $29 \text{ м}^3/\text{ч}$ с начальной температурой до $+27^\circ\text{C}$ последовательно проходит через оба конденсатора, имея на выходе температуру 36°C , т. е. общее повышение температуры равно 9 град. Для выпуска воздуха из верхней части первого конденсатора на его крышке установлен специальный вентиль.

Так как отсасываемая парогазовая смесь содержит пары жирных кислот, обладающих коррозионными свойствами, все элементы ПЭВН, соприкасающиеся с ней, выполнены из хромоникельмолибденовой стали с титаном в основном путем сварки при минимальном количестве разъемных соединений. Все эжекторы присоединены к конденсаторам приварными штуцерами с конусными переходами. Такое выполнение, помимо компактности и снижения веса, обеспечивает лучшую плотность. Конструкция первого эжектора, имеющего всасывающий штуцер с $D_v = 250 \text{ мм}$, выполнена прямоточной, без обычной угловой формы приемной камеры. Паровое сопло устанавливают через боковой люк (на чертеже не виден). Расход рабочего пара на все эжекторы составляет 370 кг/ч при давлении 11 кгс/см^2 .

Конденсаторы и два первых эжектора соединены между собой системой креплений, обеспечивающей необходимую жесткость всего блока. Оба конденсатора с наружной стороны имеют по опорной лапе, которыми блок опирается на две стальные, сварные П-образные подставки.

Компактная конструкция ПЭВН позволяет устанавливать его в непосредственной близости от обслуживаемого технологического оборудования, и благодаря этому уменьшается длина соединительных вакуумных трубопроводов.

Четырехступенчатый ПЭВН фирмы «Вейнекк»

На рис 32 приведена схема четырехступенчатого ПЭВН фирмы «Вейнекк» (ФРГ), используемого в непрерывно действующей установке для фракционной дистилляции натуральных жирных кислот. Номинальная производительность по воздуху — 10 кг/ч при давлении всасывания 5 мм рт. ст. (0,67 кН/м²). Все конденсаторы — поверхностные, вертикальные. Эжектор и конденсатор первой ступени, соприкасающиеся с парами жирных кислот, выполнены из кислотостойкой стали. Эжектор I ступени, сжимающий парогазовую смесь до 50 мм рт. ст. (6,7 кН/м²), имеет степень сжатия $K^I = \frac{50}{5} = 10$.

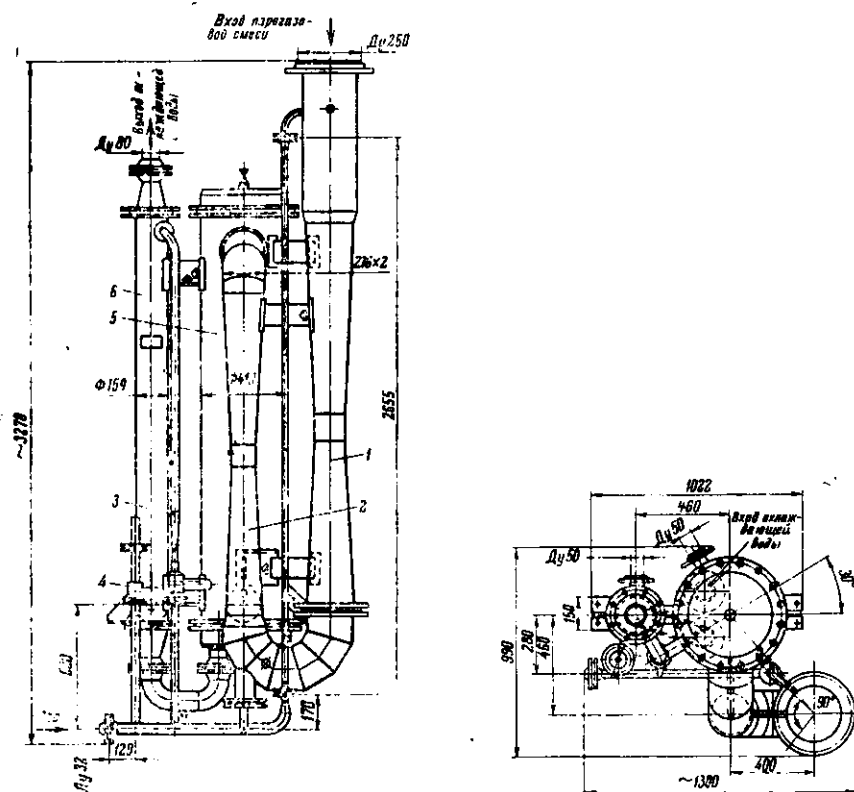


Рис. 31. Четырехступенчатый ПЭВН фирмы «Виганд». Общий вид:

1 — эжектор I ступени; 2 — эжектор II ступени; 3 — эжектор III ступени; 4 — эжектор IV ступени; 5 — конденсатор I ступени (18 м²); 6 — конденсатор II ступени (2 м²).

Во избежание налипания жирных кислот на стенках его приемной камеры и диффузора они оснащены паровыми рубашками, обогреваемыми паром с давлением до 4 кгс/см^2 ($0,4 \text{ Мн/м}^2$). Все остальные эжекторы — серийные, с корпусами из чугуна и соплами из нержавеющей стали. Второй и третий конденсаторы выполнены полностью из углеродистой стали. Ввод и вывод охлаждающей воды во всех конденсаторах (двухходовых) осуществляются внизу.

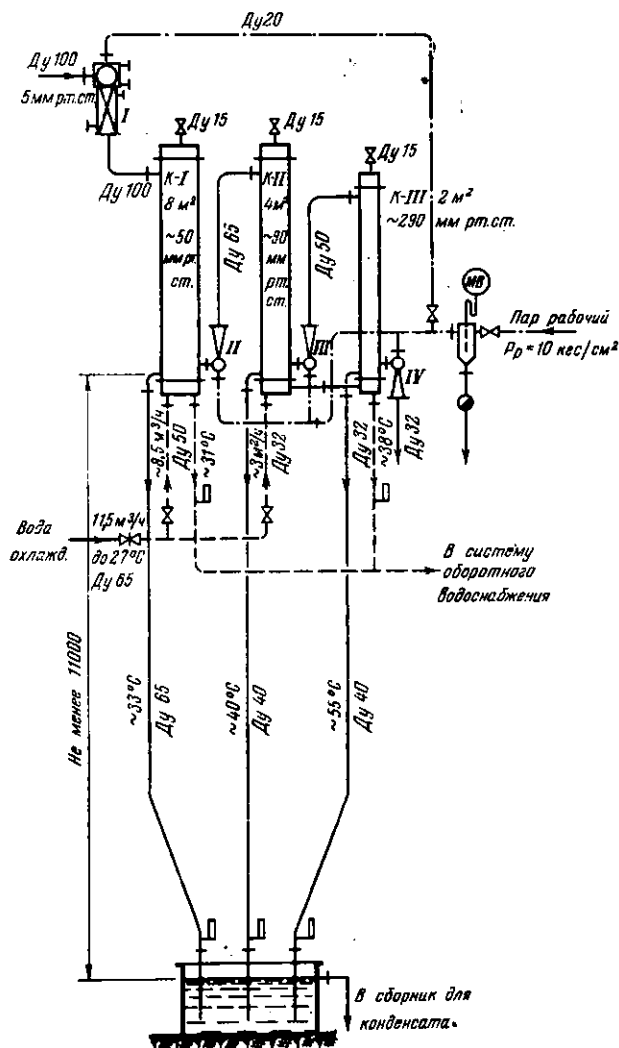


Рис. 32. Схема установки четырехступенчатого ПЭВН фирмы «Вейнекк».

Все соединения эжекторов с конденсаторами — разъемные, фланцевые, что обусловлено использованием серийных чугунных эжекторов II, III и IV ступеней (Ду 65, 50 и 32 мм) и серийных поверхностных конденсаторов.

Рабочий пар подводится от общего паропровода к эжекторам II, III и IV ступеней и отдельно к эжектору I ступени, который при пуске ПЭВН при отсутствии пускового эжектора включается после достижения в первом конденсаторе давления около 50 мм рт. ст. (6,7 кН/м²).

Во всех конденсаторах вода проходит по трубам, а парогазовая смесь в межтрубном пространстве. Сток конденсата — самотечный, барометрический, хотя возможен также сбор его в вакуум-емкость. Второй и третий конденсаторы по охлаждающей воде соединены последовательно. ПЭВН рассчитан на использование охлаждающей воды из оборотной системы с начальной температурой до 27°С.

*
*
*

Вертикальное положение эжекторов в описанных выше ПЭВН является общепринятым, связанным с требованием компактности. Однако первые эжекторы ПЭВН, имеющие значительные размеры, часто размещают горизонтально.

В эжекторах, работающих при давлениях всасывания 5 мм рт. ст. (0,67 кН/м²) и ниже, возможно образование льда на стенках камеры смешения. Здесь же могут также замерзать легкозастывающие жидкости, если их пары содержатся в отсасываемой среде. Во избежание этого первый эжектор снабжают обогревающей рубашкой, охватывающей камеру смешения и горло диффузора.

В последнее время вместо обогревающих рубашек на эжекторы навивают греющие змеевики. Это упрощает и удешевляет конструкцию эжекторов.

В зависимости от свойств отсасываемых сред соприкасающиеся с ними элементы ПЭВН выполняют из соответствующих материалов. При нейтральных средах используются чугун и углеродистая сталь. Для отсасывания агрессивных сред применяют легированные стали, ферросилид, фарфор и т. п., а также различные покрытия. В последние годы крупные эжекторы обычно выполняют сварными.

Пароструйные и газоструйные эжекторы нередко используются в комбинированных вакуум-насосных агрегатах.

Элементы пароежекторных вакуум-насосов

В зависимости от назначения и условий эксплуатации ПЭВН сопла эжекторов могут быть изготовлены из различных материалов. Сопла эжекторов первых ступеней ПЭВН, особенно при рабочем паре давления 10 кгс/см² (1 Мн/м²) и выше, работающие с большими степенями расширения ($E=1000$ и более), часто выполняют из высоколегированной стали, обладающей повышенным сопротивлением износу.

Приемная камера, или головка, эжектора может иметь форму: а) сферическую (при выполнении путем отливки); б) в виде отвода — колена; в) в виде тройника (камера цилиндрическая с приемным штуцером); г) цилиндрическую — прямоточную.

На рис. 33 показан эжектор I ступени ПЭВН типа ВН-10 со сферической приемной камерой. Это наиболее распространенная форма приемной камеры для серийных чугунных эжекторов с Ду до 100 мм.

На рис. 31 приведены эжектор I ступени с цилиндрической прямоточной приемной камерой и эжектор II ступени — с приемной камерой в виде сварного колена.

Форма приемной камеры не оказывает существенного влияния на работу эжектора. Однако размеры камеры должны обеспечивать нормальное поступление всасываемой среды к смесительной камере, а также скорость ее в приемном штуцере до 60 м/сек (при малых степенях сжатия $K < 2$ допустима скорость до 80 м/сек).

Камера смешения и диффузор по форме представляют собой конфузор и диффузор, обычно соединенные между собой цилиндрической горловиной.

Для эжекторов малого и среднего размеров камеру смешения и диффузор выполняют, обычно, в виде одной общей детали, называемой «диффузором». Эжекторы больших размеров встречаются с разъемом между камерой смешения и диффузором в виде фланцевого соединения. Последнее выполняется очень точно, с центрирующим выступом-впадиной.

Собственно камерой смешения, в которой происходит захват эжектируемой среды струей рабочего пара, является пространство от сопла до диффузора, т. е. конфузор и горловина. Обычно конусность конфузора равна $1:10$, но встречается она в пределах от $1:6$ до $1:16$.

Существенное значение имеет плавность входа среды в смесительную камеру, что достигается при помощи переходного конуса или перехода с закруглениями.

У большинства современных эжекторов длина горла диффузора равна или близка его диаметру. Некоторые фирмы выпускают эжекторы с длиной горла, равной 2—4 диаметрам, и даже более. Конусность диффузора наиболее часто принимается равной $1:10$. Встречаются диффузоры с конусностью в пределах от $1:6$ до $1:14$.

Соосность сопла, камеры смешения, горла и диффузора является одним из основных условий правильного выполнения эжектора.

Все соединения деталей эжекторов между собой и с трубопроводами должны обеспечивать необходимую плотность, предотвращающую подсосы воздуха.

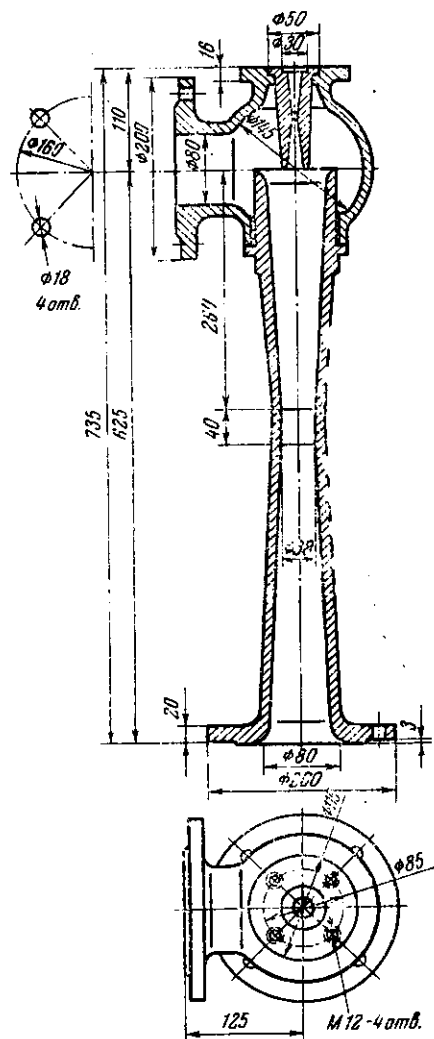


Рис. 33. Эжектор I ступени ПЭВН типа ВН-10.

3. ВОДОСТРУЙНЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ (ЭЖЕКТОРЫ)

Водоструйные эжекторы обычно применяют в одноступенчатом исполнении. Эти эжекторы обладают большей частью достоинств пароструйных эжекторов.

Вакуум, создаваемый водоструйными эжекторами, зависит от давления и температуры рабочей воды (при прочих равных условиях).

В настоящее время промышленное использование водоструйных ВН встречается редко, хотя опыт их применения в паротурбинных установках достаточно велик и положителен. Подобное положение отчасти объясняется отсутствием производства (даже мелкосерийного) водоструйных эжекторов, а также отсутствием осознанной потребности в их использовании для технологических установок. Изготовление их пока может быть выполнено только в индивидуальном порядке.

Исключение составляет водоструйный эжектор, которым оснащен двухсекционный вакуум-подогреватель машзавода им. Калинина.

Водоструйные эжекторы миниатюрных размеров находят широкое применение в лабораторных установках, где наличие водопроводной воды под давлением в $2-3 \text{ кгс/см}^2$ ($0,2-0,3 \text{ Мн/м}^2$) позволяет использовать все присущие им качества.

Водоструйные эжекторы в отличие от пароструйных при отсасывании сухого воздуха (или другой неконденсирующейся среды) практически имеют постоянную объемную производительность. При отсасывании парогазовой смеси или только пара их производительность резко изменяется пропорционально количеству рабочей воды, причем объемная производительность будет значительно выше, чем при отсасывании воздуха. Это, по-видимому, объясняется большой интенсивностью теплообмена между паром и водяной струей, приводящей к полной конденсации пара в струе еще в пределах камеры смешения. В связи с этим после водоструйного эжектора не требуется включать конденсатор. Однако повышение температуры рабочей воды, при прочих равных условиях, приводит к повышению давления всасывания $P_{\text{в}}$.

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЖЕКТОРОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ ВАКУУМ-НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ

Некоторые технологические установки пищевых производств оснащены комбинированными вакуум-насосными агрегатами. Наиболее часто встречаются агрегаты, состоящие из пароструйного эжектора (I ступень) и поршневого ВН (II ступень); такие агрегаты используются в многочисленных установках для сушки и обработки мыла под вакуумом, в установках для дистилляции натуральных жирных кислот периодического действия и некоторых других. Включение пароструйного эжектора перед поршневым ВН позволяет создавать в этих установках давления до $6-15 \text{ мм рт. ст.}$ ($0,8-2,0 \text{ кн/м}^2$).

Из перечисленных в главе I комбинированных насосов перспективно использование сочетаний пароструйного эжектора с водоструйным эжектором и газоструйного эжектора с водокольцевым ВН.

Последовательное соединение ВН различных типов в агрегат возможно при соответствии их объемных производительностей, которые должны быть обратно пропорциональны абсолютным давлениям отсасываемой среды перед ВН при одинаковой массовой производительности.

Комбинированные вакуум-насосные агрегаты применяют при: а) модернизации или реконструкции существующих технологических установок, при которых требуется увеличить глубину вакуума с использованием установленных ВН; б) повышении экономичности установок для создания вакуума путем наиболее целесообразного использования эксплуатационных преимуществ различных ти-

пов ВП; в) необходимости изменения величины вакуума в соответствии с требованиями технологического процесса.

Выбор схемы комбинированного вакуум-насосного агрегата зависит от конкретных условий его использования: от требований к величине создаваемого вакуума; от количества и температуры охлаждающей воды; энергетических возможностей; характеристики имеющихся ВП (при модернизации или реконструкции ВУ).

Сочетание пароструйного и водоструйного эжекторов, имеющих сходные принципы действия и устройство, позволяет получить простой, компактный и надежный агрегат.

Сочетание пароструйного эжектора с поршневым ВП в настоящее время может быть целесообразно в основном при модернизации или реконструкции действующих ВУ, оснащенных поршневыми ВП. При этом между пароструйным эжектором и суховоздушным поршневым ВП необходимо включение промежуточного конденсатора и ловушки для предохранения ВП от капельной влаги и гидравлического удара.

Сочетание газоструйного эжектора с водокольцевым ВП может быть применено при необходимости периодически или постоянно получать глубокий вакуум — до 8—30 мм рт. ст. (1,07—4,0 кн/м²), так как использование одних водокольцевых ВП для создания давлений ниже 75—120 мм рт. ст. (10,0—16 кн/м²) мало эффективно.

Опыт использования таких агрегатов как отечественный [39], так и зарубежный [34] подтверждает их эффективность.

5. УСТАНОВКИ СО СТРУЙНЫМИ И КОМБИНИРОВАННЫМИ ВАКУУМ-НАСОСАМИ

Установки с ПЭВН

Установки бесконденсаторные, в основном одноступенчатые, используются главным образом для кратковременной эпизодической работы, а также в качестве пусковых элементов в многоступенчатых ПЭВН. Их пуск и остановка заключаются в подаче и в прекращении подачи в эжектор рабочего пара (или сжатого воздуха).

Схемы ВНУ с многоступенчатыми ПЭВН показаны на рисунках 30 и 32. Эти установки описаны ранее. Следует, однако, учесть, что в обеих схемах после последнего эжектора, но до водоотделителя целесообразна установка арматуры для предотвращения обратного тока воздуха в установку при неожиданном (аварийном) прекращении действия ПЭВН. Это может быть кран, задвижка или другая арматура с ручным приводом. Иногда, когда проникновение воздуха внутрь установки угрожает ее состоянию или находящейся в ней продукции, целесообразна установка автоматической арматуры (обратный клапан, клапан-отсекатель и т. п.).

Возможна одновременная установка арматуры автоматической и арматуры с ручным приводом.

Последняя будет использована для отключения установки от атмосферного воздуха при испытаниях ее герметичности.

Установки с водоструйными вакуум-насосами

Водоструйные ВП (эжекторы), выполняемые, как правило, одноступенчатыми, имеют очень простую схему. В случаях, когда не исключена возможность попадания рабочей воды через всасывающий трубопровод в обслуживаемую

аппаратуру, необходима установка на нем обратного клапана (с минимальным сопротивлением). Выбирая запорную арматуру для установки на трубопроводе рабочей воды, следует учитывать необходимость постепенного ее открывания и особенно закрывания во избежание значительного повышения давления (гидравлических ударов) по причинам, изложенным ниже (см. стр. 131).

В случае использования рабочей воды, циркулирующей в открытой системе оборотного водоснабжения, в которой не исключено ее загрязнение предметами, могущими закупорить насос, арматуру или эжектор, обязательна установка на трубопроводе рабочей воды сетчатого фильтра.

Для контроля давления рабочей воды на ее трубопроводе устанавливают: перед запорной арматурой — манометр со шкалой на давление, равное двухкратному давлению воды или больше его; непосредственно перед эжектором — мановакуумметр с манометрической шкалой на давление, равное примерно полуторному давлению воды.

Установки с комбинированными вакуум-насосными агрегатами

Эти установки имеют схемы с особенностями, определяемыми конкретными условиями и учитывающими свойства их элементов. Не рекомендуется оснащать вакуумные трубопроводы излишней запорной арматурой. Например, на комбинированных агрегатах, обслуживающих установки по обработке мыла под вакуумом и состоящих из пароструйного эжектора (I ступень), конденсатора смешения и поршневого суховоздушного ВН (II ступень), единственной запорной арматурой является задвижка, установленная на вакуумном трубопроводе перед поршневым ВН.

Глава IV

КОНДЕНСАТОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНДЕНСАТОРАХ

Конденсаторы являются обязательными элементами многих установок для создания и поддержания вакуума в технологических установках. Конденсатор представляет собой теплообменный аппарат, в котором происходит охлаждение и конденсация паров, содержащихся в отсасываемой парогазовой смеси.

В пищевых производствах в большинстве случаев из технологических аппаратов приходится отсасывать парогазовые смеси, состоящие из паров (воды или каких-либо других веществ) и из газов, включая газы, выделившиеся из обрабатываемых продуктов и охлаждающей воды, а также из воздуха, проникшего через неплотности.

Во избежание излишних затрат энергии на сжатие указанных паров их конденсируют и удаляют в жидком состоянии как только появляется такая возможность. Процесс конденсации совершается путем отнятия от паров теплоты их образования при почти постоянном давлении, которое значительно ниже атмосферного. Охлаждающей средой обычно является вода или атмосферный воздух. Температура охлаждающей среды должна быть ниже температуры конденсации пара, соответствующей его парциальному давлению в парогазовой смеси. Пары могут конденсироваться при непосредственном смешении их с охлаждающей водой или при соприкосновении их с охлаждающей поверхностью. Конденсаторы, работающие по первому принципу, называются конденсаторами смешения, конденсаторы, работающие по второму принципу, — поверхностными.

В пищевой промышленности пока еще в значительном количестве используются конденсаторы смешения различных конструкций и размеров.

При рабочих давлениях в технологических аппаратах от 40 мм рт. ст. (5,7 кг/м²) и более, во всяком случае, когда начальная температура охлаждающей воды ниже температуры конденсации паров на несколько (5 и более) градусов, конденсатор является основным элементом установки для создания и поддержания вакуума; объясняется это тем, что непосредственно в конденсатор поступает парогазовая смесь из аппаратов и в нем происходит конденсация ее основной массы с удалением в виде жидкости. Никаких отсасывающих устройств между технологическими аппаратами и конденсатором не имеется. ВН отсасывает из такого конденсатора все неконденсирующиеся газы вместе с оставшейся частью (насыщающей) паров.

Схема такой ВНУ с конденсатором смешения и суховоздушным поршневым ВН приведена на рис. 24.

В трубопровод, по которому парогазовая смесь отсасывается к конденсатору КС, в зависимости от технологических требований могут быть включены различные вспомогательные устройства.

Обычно это бывают ловушки, газожидкостные сепараторы и подобные элементы, предотвращающие попадание в конденсатор жидких сред из обслуживаемых установок.

Парогазовая смесь поступает под нижнюю полку конденсатора КС и поднимается в промежутках между полками, пересекая текущие сверху вниз потоки охлаждающей воды. При этом парогазовая смесь охлаждается, а пары, содержащиеся в ней, смешиваются с водой и конденсируются. Конденсат паров вместе с охлаждающей водой по барометрической трубе БТ стекает вниз в барометрическую коробку КБ, являющуюся приемником этой смеси (барометрической воды), а также гидрозатвором для барометрических труб, предотвращающим проникновение в систему атмосферного воздуха. Неконденсирующиеся газы отсасываются вакуум-насосом (ВН) из верхней части конденсатора. На отсасывающем трубопроводе, на уровне верха конденсатора, установлена каплеуловка КЛ; она предназначена для отделения из отсасываемой парогазовой смеси захваченных капель и отвода их по отдельной барометрической трубе в барометрическую коробку. Благодаря этому предотвращается попадание капельной жидкости в ВН и его аварии.

Штуцер для отсасывания парогазовой смеси из конденсатора расположен в самом верху его, что снижает захват капельной влаги.

Высота барометрических труб обычно считается от нижнего штуцера конденсатора до уровня воды в барометрической коробке и, как правило, принимается не менее 11 м, чтобы обеспечить полный и бесперебойный отвод барометрических вод.

Охлаждающая вода поступает на верхнюю полку конденсатора, предварительно пройдя через воздухоотделитель ВО. В этом аппарате большая часть воздуха и газов, растворенных или эмульгированных в воде, должна выделяться из нее и через отдельный — верхний трубопровод перейти в самый верх конденсатора, чтобы затем быть отсосанной ВН вместе с парогазовой смесью.

Однако воздухоотделитель неэффективен [40], и в новых установках с успехом обходятся без него.

Конденсация большей части паров и непрерывное отсасывание неконденсирующейся части парогазовой смеси, поступающей в конденсатор, создают в нем пониженное давление (вакуум), величина которого несколько изменяющаяся по высоте конденсатора, в основном зависит от температуры охлаждающей воды.

Наименьшее возможное давление в конденсаторе может быть равно давлению насыщенного водяного пара при температуре охлаждающей воды.

2. КОНДЕНСАТОРЫ СМЕШЕНИЯ

Конденсаторы, в которых конденсация паров происходит при непосредственном смешении их с охлаждающей водой, получили преимущественное применение в пищевой промышленности, благодаря их достоинствам по сравнению с поверхностными конденсаторами. Но, несмотря на это, пока еще отсутствует официальная регламентация их параметров и основных размеров.

Преимущества конденсаторов смешения в основном следующие:

- а) простая конструкция;
- б) незначительная первоначальная стоимость;
- в) надежность в эксплуатации;
- г) возможность использования загрязненной охлаждающей воды;
- д) меньший расход охлаждающей воды (при прочих равных условиях по сравнению с поверхностными конденсаторами);
- е) незначительные расходы на обслуживание и ремонт.

Недостатками конденсаторов смешения являются:

а) загрязнение охлаждающей воды игонами из обрабатываемых веществ;

б) большая потребная производительность ВН из-за выделения из охлаждающей воды воздуха и других неконденсирующихся газов;

в) потеря конденсата, смешивающегося с охлаждающей водой.

Конденсаторы смешения встречаются различных типов, отличающихся иногда существенными деталями конструкции.

В зависимости от взаимного направления потоков рабочих сред (парогазовой смеси и охлаждающей воды) конденсаторы смешения разделяются на прямоточные и противоточные.

В настоящее время в промышленных ВУ находят применение только противоточные конденсаторы смешения.

Редкое исключение могут составлять только струйные — эжекторные и ротационные прямоточные конденсаторы, представляющие собой сочетание конденсатора с водоструйным ВН.

В зависимости от высоты установки различают конденсаторы низкого и высокого уровня. Последние обычно называют барометрическими. Охлаждающая вода удаляется из них самотеком через сливные — барометрические трубы.

Из конденсаторов низкого уровня охлаждающая вода удаляется насосами, работающими в условиях вакуума; поэтому эти насосы имеют специальную конструкцию и надежную систему уплотнений вала.

Условия протекания охлаждающей воды внутри конденсаторов смешения, а также характер контакта ее с парогазовой смесью зависят от конструкции их внутренних элементов.

По этому признаку конденсаторы смешения можно разделить на следующие типы.

1. Каскадные, сегментно-полощные (прямоточные и противоточные):

- а) с плоскими струями-завесами;
- б) с линейными струями;
- в) со смешанными струями.

2. Каскадные, тарелочные (прямоточные и противоточные):

- а) с цилиндрическими струями-завесами;
- б) со смешанными струями.

3. Разбрызгивающие — форсуночные (прямоточные и противоточные).

4. Струйные — эжекторные (прямоточные).

5. Ротационные — эжекторные (прямоточные).

Рассмотрим особенности этих конденсаторов.

На рис. 34 показан противоточный каскадный сегментно-полощный конденсатор смешения, оснащенный воздухоотделителем и каплеуловителем.

Парогазовая смесь поступает через штуцер *А* под нижнюю полку и поднимается вверх между полками, пересекая и омывая текущие навстречу водяные струи. Охлаждающая вода входит через штуцер *Б* в воздухоотделитель и затем попадает на верхнюю полку. Вода сливается с полки на полку, образуя струн-завесы, а при наличии в полках отверстий — линейные струи. По мере продвижения парогазовой смеси вверх и контакта ее со струями воды пар конденсируется, а конденсат его смешивается с водой. Смесь воды с конденсатом через штуцер *Г* отводится из конденсатора.

Наличие съемной крышки и двух люков обеспечивает доступ к внутренним частям конденсатора и полкам для выполнения ремонта и чистки их, хотя при плоских струн-завесах чистка полок не имеет существенного значения для работы конденсатора.

Условия теплоотдачи в каскадном конденсаторе со струн-завесами и линейными струями различны. Струн-завесы сохраняют свою цельность только в верхней части ступени, где толщина их еще достаточно велика, а скорость незначительна. В нижней части они обычно распадаются как под напором парогазовой смеси, так и под влиянием возрастания скорости и уменьшения их толщины.

Содержание в парогазовой смеси неконденсирующихся газов (в том числе воздуха) отрицательно влияет на теплоотдачу в конденсаторе. Наличие газов снижает (при том же давлении) температуру пара, а значит и температурный напор — разность между температурами парогазовой смеси и охлаждающей воды. Кроме того, неконденсирующиеся газы, концентрация которых у поверхностей конденсации бывает максимальной, задерживают приток к ним пара.

По мере движения парогазовой смеси в конденсаторе относительное содержание в ней неконденсирующихся газов повышается, а интенсивность конденсации уменьшается. По этим причинам в нижней части противоточного конденсатора смешения конденсация пара будет наибольшей, а в верхней — наименьшей.

Ряд опытов, проводившихся с противоточными каскадными конденсаторами смешения [12, 40], показал, что конденсация основной массы (95% и более) пара, содержащегося в поступающей парогазовой смеси, происходила в их ниж-

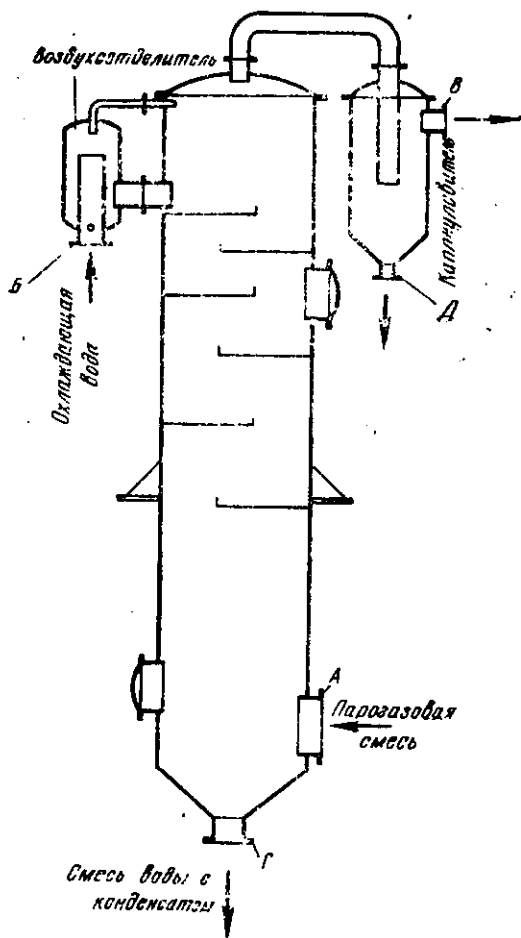


Рис. 34. Каскадный сегментно-полочный конденсатор смешения.

ней части, в пределах двух-трех полок. Это обстоятельство подтверждает тенденцию к сокращению в каскадных конденсаторах числа полок (тарелок) до трех-четырех.

Каскадные противоточные конденсаторы смешения с плоскими струями, подобные описанному (см. рис. 34) или несколько отличающиеся от него, весьма широко распространены на предприятиях пищевой промышленности СССР благодаря их надежности в работе, даже при использовании загрязненной воды. В течение многих лет они изготавливаются отечественной промышленностью.

Вопросы теории и расчета каскадных конденсаторов смешения наиболее полно изложены в работе И. А. Труб [12], базирующейся на результатах ряда опытов и исследований.

Для увеличения производительности сегментно-полочных конденсаторов предлагается [12] устройство в них (рис. 35) симметричных полок, позволяющих почти вдвое увеличить длину его водосливов, что, несомненно, целесообразно.

На рис. 36 схематически показан каскадный конденсатор смешения с кругло-кольцевыми тарелками, имеющий восемь ступеней.

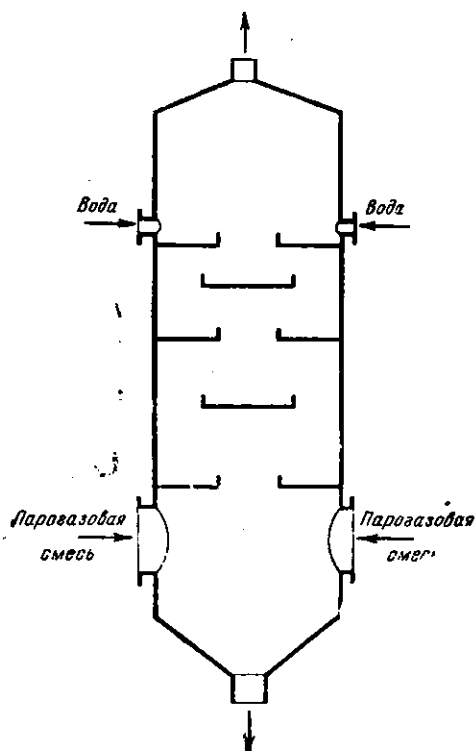


Рис. 35. Симметрично-полочный каскадный конденсатор смешения.

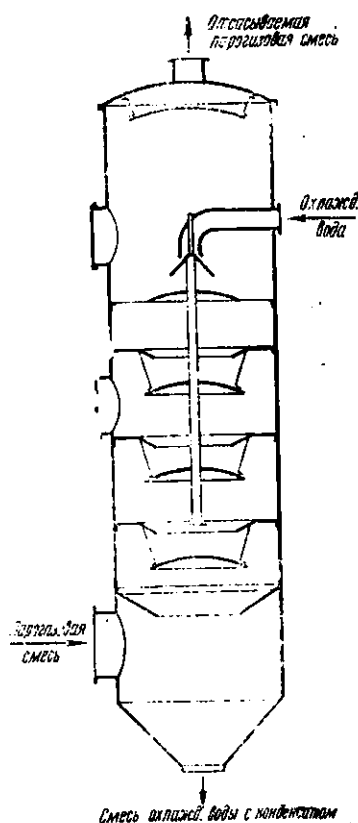


Рис. 36. Каскадный конденсатор смешения с кругло-кольцевыми тарелками.

Достоинствами таких конденсаторов являются большая длина водосливов и несколько меньшее гидравлическое сопротивление (при равных диаметре и числе ступеней) по сравнению с другими конденсаторами.

На рис. 37 приведен противоточный каскадный конденсатор смешения, корпуса которого имеют номинальный диаметр 400, 300, 250, 200 и 150 мм. Такие конденсаторы выполняются рядом европейских фирм, а также заводом Мелекесским для укомплектования ими серийных ПЭВН. Конструкция данного конденсатора очень проста, что, однако, не снижает его надежности, проверенной в течение многих лет.

На круглой штанге подвешены тарелки — две круглые и две кольцеобразные, разделенные отрезками трубок. На верхнем конце штанги навинчен рым для подвешивания всей системы на водоподводящей трубе. Под нижней тарелкой обычно приварены косынки, на которые может опираться система тарелок при демонтаже водоподводящей трубы. В последней в конце вварено доннышко, а в пределах верхней тарелки имеются отверстия, обеспечивающие поступление на нее охлаждающей воды. При серийном производстве тарелки выполняются литыми из чугуна.

Тарелки могут быть также выполнены из стали путем штамповки и сварки. У кольцеобразных тарелок внутренний борт имеет меньшую высоту и перелив воды происходит через него. Корпуса конденсаторов из углеродистой стали могут быть выполнены из труб соответствующего размера. При необходимости изготовления корпусов из легированной стали они обычно выполняются сваркой из листа. Корпуса могут иметь различные антикоррозионные покрытия из специальных сплавов, фарфора, пластмасс и т. п.

При комплектовании серийных ПЭВН в целях компактности их применяют сдвоенные конденсаторы диаметром 150, 200, 250 и 300 мм. Их внутреннее устройство аналогично устройству описанного конденсатора, а корпуса скреплены между собой фланцами, между которыми зажата заглушка, служащая дном для верхнего и крышкой для нижнего конденсатора. Штуцер для отвода воды из верхнего конденсатора выполнен в виде бокового отвода. Такой сдвоенный конденсатор показан на рис. 30, где представлен ПЭВН типа ВН-5.

Недостатками каскадных конденсаторов смешения являются:

- а) относительно небольшая поверхность теплообмена при струях-завесах;
- б) высокое гидравлическое сопротивление, особенно при струях-завесах и значительном числе ступеней.

Недостатком распространенных сплошных водосливов в конденсаторах является неравномерность толщины слоя переливающейся воды (по причинам неточности изготовления и монтажа), ухудшающая теплообмен.

В конденсаторах с линейными струями теплообмен более интенсивный, чем в конденсаторах с плоскими струями.

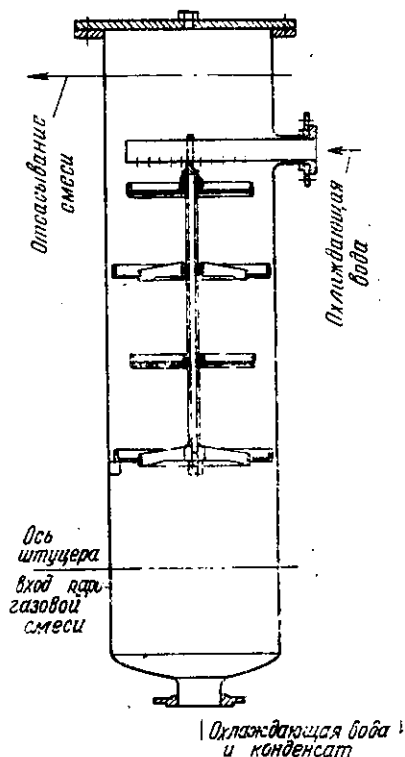


Рис. 37. Каскадный тарельчатый конденсатор смешения малого диаметра ($D_k = 150-400$ мм).

Ранее, когда для конденсаторов часто использовалась загрязненная вода из прудов или рек, применение дырчатых полок или тарелок затруднялось из-за необходимости частых чисток. В настоящее время неизбежный и повсеместный переход на закрытые системы оборотного водоснабжения, сочетающийся в необходимых случаях с промежуточной очисткой вод от различных примесей, позволит широко, без каких-либо особых осложнений использовать каскадные конденсаторы смешения с линейными струями, а также конденсаторы с разбрызгиванием охлаждающей воды.

На рис. 38 показаны два конденсатора смешения фирмы «Хик, Харгривс и К°» (Англия) с разбрызгиванием охлаждающей воды форсунками. Конденсаторы выполнены из чугуна. Внутри, в пространстве, где происходит конденсация паров, нет ни полок, ни перегородок. Поток парогазовой смеси, поступающий через штуцер А, внутри конденсатора пронизывается большим количеством мелких струй и отдельных капель охлаждающей воды, падающих вниз и удаляющихся через штуцер С. Несконденсированная часть парогазовой смеси удаляется через штуцер D. Охлаждающая вода поступает через штуцер В.

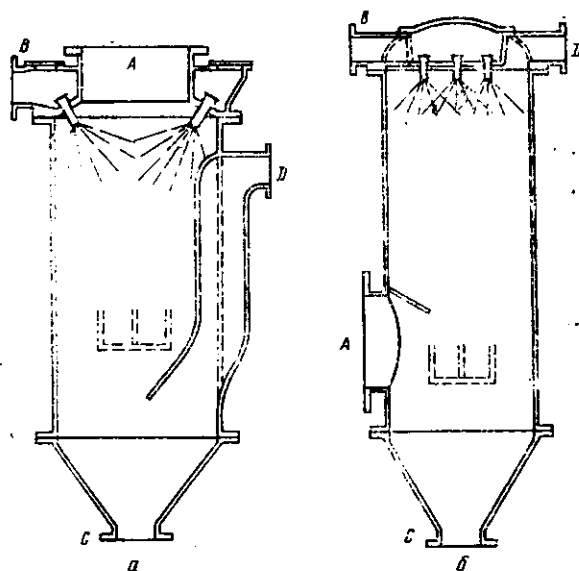


Рис. 38. Конденсаторы смешения с разбрызгиванием охлаждающей воды фирмы «Хик Харгривс»: а — прямоточный; б — противоточный.

При чистой охлаждающей воде эксплуатация таких конденсаторов не должна вызвать затруднений. Доступ к форсункам возможен даже при кратковременных остановках.

Достоинствами конденсаторов с разбрызгиванием воды являются незначительное гидравлическое сопротивление, простота устройства и доступность ко всем элементам.

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Поверхностные конденсаторы, в которых теплообмен — конденсация паров и охлаждение неконденсирующейся части парогазовой смеси происходят при соприкосновении их с охлаждаемой поверхностью, без непосредственного контакта с охлаждающей средой, пока имеют ограниченное применение; обычно,

они применяются в случаях, когда невозможно или неэкономично использование конденсаторов смешения.

Основное преимущество поверхностных конденсаторов перед смешивающими заключается в том, что получающийся в них конденсат не смешивается с охлаждающей водой. Это делает поверхностные конденсаторы незаменимыми в случаях, когда конденсат содержит вещества, подлежащие дальнейшему использованию, или когда недопустимо загрязнение охлаждающей воды продуктами конденсации. Усложнение вопросов с очисткой и удалением загрязненных вод в последнее время вынуждает предприятия шире использовать указанные преимущества поверхностных конденсаторов.

Так как в поверхностных конденсаторах газы из охлаждающей воды не выделяются, то при применении этих конденсаторов требуемая производительность ВН уменьшается.

Основные недостатки поверхностных конденсаторов: более сложное устройство и высокая стоимость; чувствительность к загрязнению поверхности при большей возможности загрязнения; повышенный расход охлаждающей воды и иногда высокое гидравлическое сопротивление.

Поверхностный конденсатор представляет собой горизонтальный или вертикальный кожухотрубный теплообменник, в котором обычно парогазовая смесь пропускается через межтрубное пространство, а охлаждающая вода — внутри труб. В большинстве случаев поверхностные конденсаторы по воде выполняются многоходовыми. Трубные решетки приваривают к корпусам конденсаторов, которые обычно выполняются без линзовых компенсаторов.

Необходимость в компенсации температурных удлинений возникает при разности температур парогазовой смеси и охлаждающей воды более 50 град, что бывает довольно редко. При необходимости паружной чистки трубной системы конденсаторы выполняют с плавающей головкой или с U-образными трубами. Последняя конструкция целесообразна только в случаях, когда не наблюдается появления трудно удаляемых отложений внутри труб.

Поверхностные вертикальные конденсаторы используются в качестве промежуточных в ПЭВН, показанном на рис. 31. Благодаря этому предотвращается загрязнение охлаждающей воды синтетическими жирными кислотами. Образующийся конденсат отводится из нижней части межтрубного пространства барометрической трубой в сборник.

Другим примером применения поверхностных конденсаторов является ПЭВН, схема которого приведена на рис. 32. В составе установки три вертикальных конденсатора с высотой 8; 4 и 2 м². Наружные диаметры их корпусов — 250, 180 и 159 мм. Высота (по трубным доскам) двух первых ~ 3000 мм и третьего ~ 2000 мм. (Описание ПЭВН см. на стр. 57).

Вертикальные поверхностные конденсаторы компактны и занимают значительно меньшую площадь по сравнению с горизонтальными поверхностными конденсаторами. Однако последние удобнее в обслуживании, чистке и ремонте и, кроме того, обладают лучшими условиями теплопередачи.

Поверхностные конденсаторы с большими поверхностями (700—1000 м² и более), в большинстве случаев применяемые в парожеткорных водоохлаждающих установках [13], как правило, бывают горизонтальными. Такой конденсатор представляет собой цилиндрический корпус с приваренными трубными досками, в которых закреплены концы труб. На фланцах трубных досок закреплены болтами крышки со штуцерами для подвода и отвода охлаждающей воды и перегородки, разделяющие трубы на отдельные ходы. На верхней части корпуса имеется паропроводящий штуцер; при необходимости присоединения нескольких эжекторов устанавливают пароприемник с необходимым количеством штуцеров. Отсюда парогазовая смесь поступает внутрь конденсатора. Часть охлаждающих труб (4—6%), расположенных у стенки корпуса, отделена от остальных перегородкой; она предназначена для дополнительного охлаждения неконденсирующихся газов, отсасываемых из конденсатора через штуцер, расположенный в верхней части отделенного пространства.

Некоторые зарубежные фирмы (в США и Англии) изготавливают ПЭВН, укомплектованные горизонтальными поверхностными конденсаторами, на кото-

рых на штуцерах вертикально установлены эжекторы. Часто один конденсатор используется для конденсации и охлаждения парогазовой смеси из нескольких ступеней ПЭВН. В этом случае межтрубное пространство конденсатора бывает разделено сплошными продольными перегородками на отдельные отсеки.

На рис. 39 приведены общий вид и поперечный разрез трехступенчатого ПЭВН с общим горизонтальным поверхностным конденсатором фирмы Хик, Харгривс. Эжектор I ступени, установленный на штуцере-отводе, нагнетает парогазовую смесь в нижнюю (более холодную) часть конденсатора, отделенную горизонтальной перегородкой от верхней, меньшей части. С другого конца конденсатора эжектор II ступени отсасывает из низа конденсатора несконденсированную часть смеси, сжимает ее и нагнетает в верхнюю часть конденсатора.

Эжектор III ступени отсасывает несконденсированные газы из верха конденсатора и удаляет их в атмосферу.

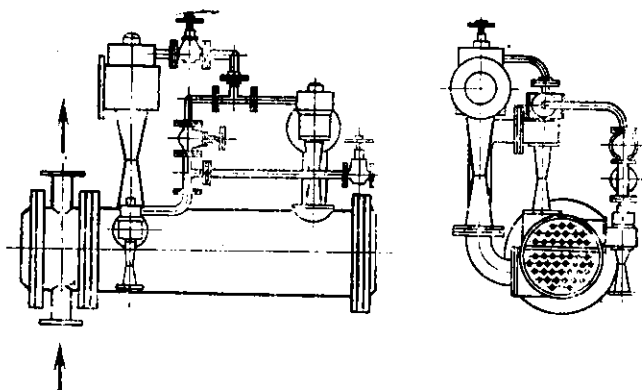


Рис. 39. Трехступенчатый ПЭВН с общим горизонтальным поверхностным конденсатором фирмы «Хик, Харгривс».

Затруднения с использованием охлаждающей воды стимулируют применять в качестве среды для охлаждения и конденсации атмосферный воздух как в комбинации с водой (в оросительных конденсаторах), так и самостоятельно (в воздушных конденсаторах). Применение таких конденсаторов, пока только на отдельных предприятиях пищевой промышленности, имеет благоприятную перспективу.

Гипронефтемашем в последние годы разработаны отдельные типы воздушных конденсаторов и холодильников в основном для нужд нефтехимической промышленности, а также типовые элементы аппаратов для воздушного охлаждения, серийно изготавливаемые отечественной промышленностью; последние позволяют использовать воздух для непосредственного охлаждения.

Применение конденсаторов с воздушным охлаждением наиболее эффективно при значительной разнице температур конденсируемой среды и охлаждающего воздуха. Имеющийся опыт показывает возможность и целесообразность использования воздуха при температурах конденсации от 30°C и выше [т. е. при давлениях в конденсаторах от 35 мм рт. ст. ($4,7 \text{ кН/м}^2$) и более]. Такие условия работы конденсаторов имеют место в ряде отраслей пищевой промышленности.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ВАКУУМ-УСТАНОВОК

Для обеспечения нормального действия установок по созданию и поддержанию вакуума в их составе, кроме ВН с конденсаторами и трубопроводами, необходимы также некоторые специальные вспомогательные устройства.

Ловушки для примесей из парогазовой смеси

Эти устройства предназначены для улавливания разного рода примесей из парогазовой смеси до ее поступления в ВН или в конденсатор. Такие ловушки предотвращают потери продукта или сырья, загрязнение охлаждающей воды или конденсата, аварии или порчи вакуумного оборудования (путем механического или коррозионного воздействия) и т. п.

Эти ловушки могут быть предназначены: а) для капель жидкости — продукта, растворов или воды; б) для паров или газов; в) для твердых частиц.

Конструкция ловушек зависит от количества и физико-химических свойств улавливаемых примесей. Для капель и твердых частиц используются в основном инерционные ловушки типа циклона или поворотные; в этих ловушках допустимы ограниченные гидравлические потери при значительных скоростях парогазовой смеси. В качестве ловушек для жидкостей используются разного рода водоотделители и сепараторы, включаемые перед водокольцевыми и другими ВН, описанные выше (см. стр. 42—44).

Для твердых примесей в качестве ловушек может быть использована, например, система циклонов для улавливания мыльной пыли в установках для производства мыла под вакуумом, состоящая из двух последовательно соединенных циклона-сепаратора и контрольного циклона. Для улавливания газообразных примесей из парогазовой смеси обычно требуются более сложные устройства, особенно, когда среда обладает агрессивными свойствами (например в установках для дистилляции жирных кислот, а также в установках для выгрузки и транспорта разного рода едких жидкостей и кислот под вакуумом).

Если улавливаемые примеси являются парами, температура конденсации которых значительно выше температуры конденсации водяных паров, как это имеет место при дистилляции жирных кислот, то применяют ловушки-конденсаторы. В противном случае используются аппараты, действующие по принципу поглощения или нейтрализации. Поглощение производится твердыми веществами (адсорбентами), из которых наиболее распространенными являются активированный уголь, силикагель, алюминогель, или жидкими веществами (абсорбентами)—обычно растворами щелочей, маслами, водой.

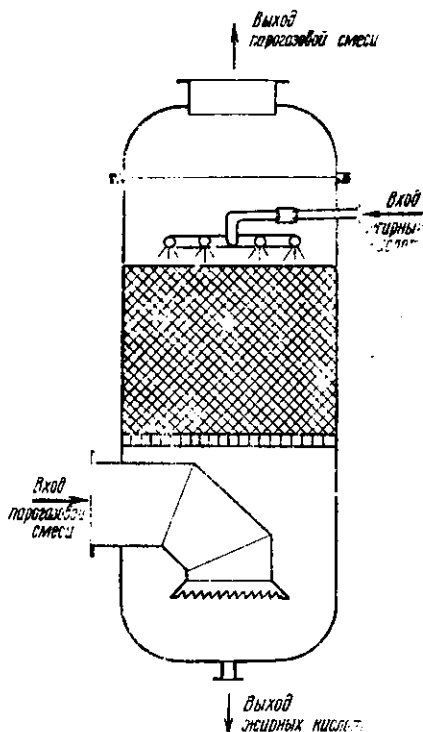


Рис. 40. Ловушка-конденсатор для паров жирных кислот.

На рис. 40 схематически показана ловушка для паров жирных кислот. Уловимых парогазовой смесью из поверхностного конденсатора для жирных кислот. Такая ловушка представляет собой конденсатор смешения, заполненный для увеличения поверхности контакта насадкой, состоящей из колец Раннига.

Охлаждение и конденсация паров производятся охлажденными жирными кислотами, циркулирующими через ловушку. Так как температура конденсации паров жирных кислот при давлении ~ 5 мм рт. ст. ($0,67$ кг/м²) составляет около 50°C , то водяные пары проходят через ловушку, не подвергаясь конденсации, а лишь слегка охлаждаясь. В результате в парогазовой смеси остаются только следы жирных кислот. Ловушка-конденсатор выполняется из кислотостойкой стали.

Если через аппарат описанной конструкции пропускать абсорбент в виде раствора щелочи, то он может быть использован в качестве абсорбера, улавливающего и нейтрализующего кислоты, содержащиеся в парогазовой смеси, про-сасываемой через аппарат.

При использовании адсорбентов для улавливания газообразных примесей при непрерывной работе установки регенерация или замена адсорбента обычно достигается параллельным включением двух адсорберов — рабочего и резервного.

Вакуум-ресиверы

Вакуум-ресивер — промежуточная емкость (накопитель вакуума) предназначен для ускорения снижения давления и уменьшения колебаний вакуума в вакуумных установках, состоящих из нескольких аппаратов небольшой емкости, периодически подвергающихся вакуумированию с использованием одного непрерывно работающего ВН. Этот аппарат включают между ВН и присоединяемыми аппаратами. Кроме того, вакуум-ресиверы иногда используются в установках с поршневыми ВН для снижения пульсации и колебания вакуума.

В необходимых случаях вакуум-ресивер может быть одновременно использован как ловушка или подобное устройство.

Вакуум-ресиверы являются обязательными элементами фильтрационных установок с барабанными и дисковыми вакуум-фильтрами. Их основное назначение — отделение жидкой фазы от отсасываемой газожидкостной смеси.

Вакуум-ресивер представляет собой стальной цилиндрический сосуд со сферическими днищами, имеющий штуцеры для присоединения: а) всасывающего трубопровода; б) вакуум-насоса; в) спускного (дренажного) трубопровода; г) предохранительной мембраны. Последнюю устанавливают в случаях, когда давление в ресивере может значительно превысить атмосферное.

Устройства для уменьшения содержания воздуха в охлаждающей воде

Увеличение количества воздуха и других неконденсирующихся газов в парогазовой смеси отрицательно влияет на работу конденсаторов и ВН, так как это ухудшает теплообмен в конденсаторах, и, следовательно, использование (за счет недогрева) охлаждающей воды, а также повышает нагрузку ВН, что обычно связано с ухудшением вакуума и перерасходом энергии.

Значительные количества воздуха и других газов попадают внутрь вакуумных систем с охлаждающей водой, из которой большая часть их выделяется в конденсаторах смешения. Воздух, поступающий с водой, содержится в ней в растворенном состоянии и в виде эмульсии. Количество растворенного воздуха зависит от давления воздуха и температуры воды. Оно повышается с увеличением давления и снижением температуры. При атмосферном давлении 760 мм рт. ст. (101325 н/м²) и 20°C в воде растворено воздуха $\sim 0,0241$ кг/м³.

Количество воздуха, механически захваченное водой и содержащееся в ней в виде эмульсии, в значительной степени зависит от условий водоснабжения системы. Захват и эмульгирование воздуха могут происходить в местах забора

воды насосами, в промежуточных и расходных баках и других местах. Расходные баки часто используются для питания охлаждающей водой вакуумных конденсаторов, так как питание их из водопровода в условиях изменяющегося давления неблагоприятно сказывается на их работе.

Нередки случаи, когда вода подается в баки сверху и падающая струя захватывает с собой значительное количество воздуха, который удаляется с водой в расходный трубопровод, если он не выделился до этого из воды. Обычно расходные баки имеют емкость, рассчитанную не менее, чем на 15—20-минутный расход воды. Этого времени достаточно для выделения из воды основной массы эмульгированного воздуха при рациональной конструкции бака.

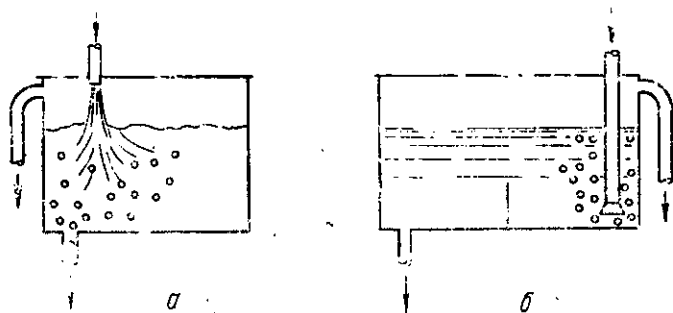


Рис. 41. Баки промежуточные, расходные для воды:
а — не рациональной конструкции; б — рациональной конструкции

На рис. 41 схематично показаны два промежуточных (расходных) бака для воды. Слева — бак не рациональной конструкции. В нем подающая труба расположена над расходной. Падающая струя воды захватывает много воздуха, подает его к расходной трубе, по которой он удаляется в конденсатор. Справа — бак, из которого значительные количества воздуха в расходный трубопровод попасть не могут. Подающая труба опущена на высоту 100—200 мм от дна бака и снабжена конусным раструбом, снижающим выходную скорость и обеспечивающим более равномерное распределение поступающей воды по баку. Поперечная перегородка (имеющая несколько небольших щелевидных отверстий у дна) заставляет основную массу воды подняться вверх, где происходит выделение эмульгированного воздуха. Описанная конструкция не исключает возможности подачи воды снизу или сбоку при условии спокойного выхода ее из трубопровода возле дна.

Открытые емкости — гидрозатворы для приема и отвода охлаждающей воды с конденсатом или конденсата

«Сниженные» вакуумные конденсаторы в настоящее время применяют главным образом для обслуживания вакуум-выпарных установок для томат-продуктов, оснащенных «полубарометрическими» конденсаторами, установленными на 5 м выше насосов, откачивающих отработанную охлаждающую воду. Поэтому отработанная (теплая) охлаждающая вода с конденсатом отводится из конденсаторов смешения, как правило, барометрическими трубами. Конденсат из поверхностных конденсаторов обычно также отводится барометрическими трубами. В любом случае барометрические трубы заканчиваются внутри специальной емкости, называемой «барометрической». В различных отраслях их называют по-разному: барометрическими коробками, ящиками, колодцами и т. п.

Основное назначение этих емкостей — создание гидравлического затвора для всех барометрических труб, а также объединение (сбор) всей выходящей из них

воды для дальнейшего организованного отвода ее в систему оборотного водоснабжения или же в канализацию. При загрязнении барометрических вод барометрическая коробка может быть удобным местом для наблюдения и контроля.

Конструкция барометрических коробок обычно очень проста. Такая коробка представляет собой прямоугольную или цилиндрическую металлическую емкость с вертикальными боковыми стенками, плоским днищем и откидными или съемными крышками. Обычно барометрические коробки устанавливают на полу первого этажа или вне помещения, на подставке высотой 100—200 мм. Когда же недостает барометрической высоты, коробки заглубляют в пол или в землю на глубину, обеспечивающую сток из них воды; в этих случаях коробки целесообразно выполнять из бетона, железобетона, кирпича и других материалов.

Размеры барометрических коробок в основном определяются размещением барометрических труб, расстоянием от их нижних концов до днища и до зеркала воды, а также рабочей емкостью коробок. Последняя должна быть равна

1,5 объемам воды, содержащейся во всех барометрических трубах, опущенных в коробку. При этом расстояние от низа любой барометрической трубы до днища коробки должно быть равно ее диаметру, но не менее 100 мм. При низшем уровне высота слоя воды над нижним концом наибольшей из барометрических труб должна быть не менее 300 мм. Площадь сечения переливного штуцера приблизительно равна сумме площадей сечений всех барометрических труб. Коробки, устанавливаемые выше пола или уровня земли, обязательно должны иметь штуцер для полного опорожнения их при ремонте и промывке.

На рис. 42 схематично показана барометрическая коробка для чистых вод. Коробка предназначена для четырехступенчатого ПЭВН с тремя конденсаторами смещения. Если несколько вакуум-установок расположены рядом, иногда делают для них общую барометрическую коробку. Это допустимо, но не всегда целесообразно.

Для получения более горячей барометрической воды иногда барометрическую коробку делают на части, имеющие обособленные сливы. На рис. 43 схематически показаны установка с двойным конденсатором, применяемая в сахарной промышленности с целью получения горячей воды для питания диффузии, и установка с отводом горячей воды из конденсаторов последних ступеней ПЭВН.

В первом случае [41] в предконденсатор вода подается в количестве, достаточном только для частичной конденсации пара; благодаря этому отработанная вода выходит из него горячей (50—55°С). Во втором — основном конденсаторе конденсация пара завершается. Температуру воды, выходящей из предконденсатора, в небольших пределах можно регулировать изменением количества воды. Во втором случае процесс конденсации в конденсаторах ПЭВН протекает нормально. Так как в конденсаторе последней ступени давление обычно бывает в пределах 190—300 мм рт. ст. (25—40 кн/м²), что соответствует температуре конденсации водяного пара 65—76°С, то выходящая из конденсатора вода может иметь температуру в пределах 60—70°С. Воду с такой температурой можно использовать для различных производственных нужд.

Когда барометрические воды загрязнены (примеси имеют плотность, меньшую, чем вода, т. е. всплывают), в барометрической коробке иногда улавливают примеси, загрязняющие воду; для этого увеличивают время пребывания воды в коробке. При этом слив воды производится из нижней зоны коробки, где вода в значительной степени освободилась от примесей. Такое комбиниро-

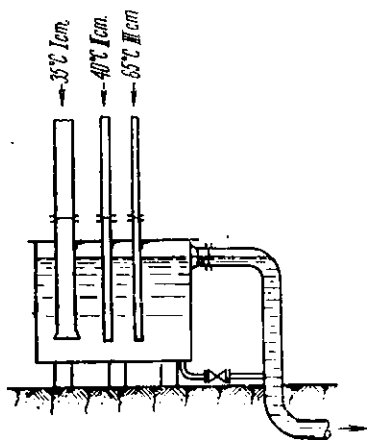


Рис. 42. Барометрическая коробка для чистых вод.

ванное использование барометрических коробок распространено на предприятиях масложировой, маргаритовой и парфюмерно-косметической промышленности.

На рис. 44 показана коробка-жироловушка. В ней имеются две перегородки. Нижняя, направляющая поток воды вверх, и верхняя, задерживающая всплывшие частицы жира. В нижней перегородке обычно делают одно-два небольших отверстия для спуска воды или же выполняют ее съемной (в пазах). Верхнюю перегородку приваривают сплошными швами к обеим боковым стенкам коробки. Снизу перегородка не доходит до дна на 100—200 мм. Для удаления всплывшего жира имеется специальный штуцер.

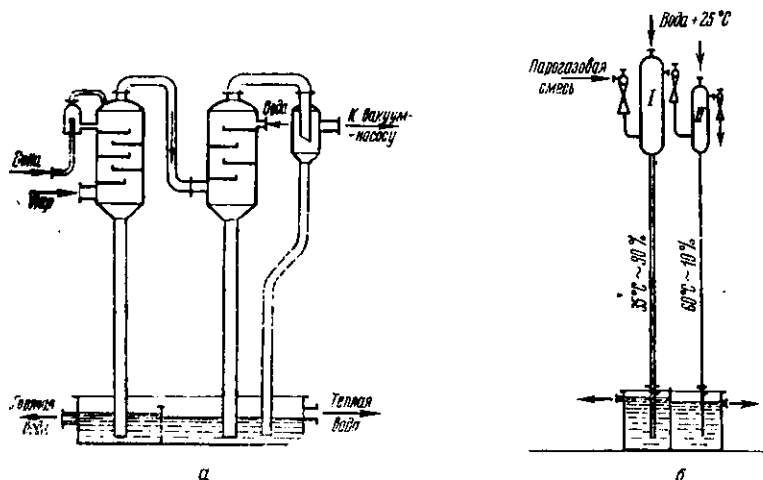


Рис. 43. Барометрические коробки с выделенными отсеками для горячей воды.

Так как условия улавливания в зависимости от свойств примесей различны, эти особенности должны быть учтены в конструкции коробки-ловушки. При значительных количествах примесей и барометрических вод более целесообразно организовать их очистку в специальном отстойнике.

При спуске конденсата из поверхностных конденсаторов с помощью барометрических труб устройство барометрических коробок остается в принципе таким, как было описано. Учитываются при этом наличие, свойства и количество примесей в конденсате, необходимость отделения примесей в коробке, количество конденсата и т. п.

В случае установки барометрических коробок вне помещения они оснащаются обогревающими устройствами, необходимыми при пуске и остановке установок в морозный период.

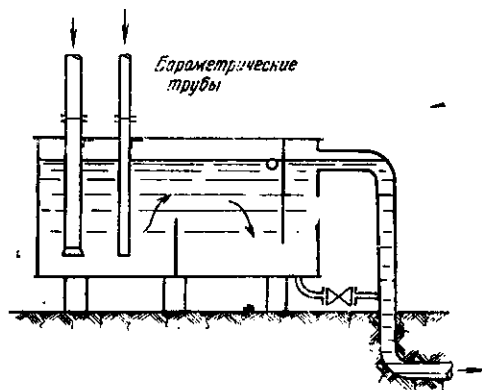


Рис. 44. Барометрическая коробка-жироловушка.

Из выхлопных труб многих вакуум-насосов или из последних ступеней вакуум-агрегатов вместе с парогазовой смесью, выбрасываемой в атмосферу, вылетают также капли смазочного масла и горячего конденсата, загрязняющие здания и прилегающую территорию. Кроме того, выходящая с большой скоростью из труб парогазовая смесь нередко производит неприятный шум, беспокоящий людей. Недопустимость таких явлений очевидна. Чтобы избежать их, на выхлопных трубопроводах устанавливают шумоглушители или отделители жидкости. Последние обычно одновременно являются и шумоглушителями.

Сухие шумоглушители по устройству напоминают автомобильные глушители. Это обычно участок трубы значительно большего размера, чем выхлопной трубопровод, с перегородками.

Более распространенные шумоглушители — отделители жидкости — обычно представляют собой вертикальные циклоны с тангенциальным входом и осевыми выходами: вверх — для осушенной парогазовой смеси и вниз — для жидкости. Выходные штуцеры рассчитывают на умеренные скорости. Трубы для парогазовой смеси выводятся наружу, а труба с жидкостью в зависимости от ее свойств отводится в канализацию, барометрическую коробку или в отдельный сборник.

Глава V

ТРУБОПРОВОДЫ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРУБОПРОВОДАХ

1. Трубопроводы ВНУ пищевых производств, относящиеся к внутризаводным технологическим трубопроводам, в основном можно разделить на:

- а) трубопроводы для парогазовой смеси — вакуумные, начиная от технологических аппаратов до выхлопа из ВН в атмосферу;
- б) трубопроводы для воды (рабочей и охлаждающей) и технологического конденсата;
- в) трубопроводы для водяного пара (рабочего и обогревающего) и его конденсата;
- г) трубопроводы прочих назначений.

На указанные трубопроводы распространяются требования, приведенные в действующих Правилах и Нормах [16, 17], а также в литературе [20, 21]. В дальнейшем излагаются, главным образом, вопросы, касающиеся специфических особенностей трубопроводов ВУ.

Основными условиями, определяющими размеры и материал элементов трубопроводов, являются: количество протекающей среды; ее физико-химические свойства; рабочие параметры — давление и температура. Для характеристики трубопроводов и их элементов пользуются термином «условный проход», обозначаемый D_u и называемый также условным диаметром.

Трубы стальные из цветных металлов и некоторых пластмасс изготавливают с рядом постоянных наружных диаметров при различной толщине их стенок. Поэтому при одинаковом наружном диаметре внутренние размеры труб будут различными, часто отличающимися от номинальных размеров, приведенных в ГОСТ 355—67.

Условные проходы фланцев, прочих соединительных и фасонных частей, а также компенсаторов принимают в зависимости от условных проходов труб, с которыми они должны быть соединены.

В зависимости от рабочих параметров протекающей среды — давления и температуры — трубопроводы, а также их элементы подразделяются по условному

давлению P_y . Условное давление зависит от рабочего давления P_p , и от последнего зависит пробное давление $P_{пр}$.

Условные, пробные и наибольшие допустимые рабочие давления в зависимости от температуры транспортируемой среды (рабочего продукта) для арматуры и соединительных частей трубопроводов из сталей (углеродистых и легированных), чугуна (серого и ковкого), бронзы и латуни установлены ГОСТ 356—68.

Для стальных труб ГОСТ 356—68 является рекомендуемым, но на монтируемые трубопроводы он не распространяется.

2. ОСОБЕННОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ВАКУУМ-УСТАНОВОК

Трубопроводы для парогазовой смеси (вакуумные)

Трубопроводы предназначены для отсасывания парогазовой смеси из технологических аппаратов и конденсаторов. Эти трубопроводы работают в условиях вакуума. Их размеры (D_y) могут быть в зависимости от потребной пропускной способности от нескольких миллиметров до метра и более. Температуры отсасываемых сред обычно редко превышают 200°C . В парогазовой смеси могут содержаться вещества с самыми разнообразными физико-химическими свойствами. Скорости среды в основных трубопроводах в зависимости от их размера, давления и состава среды, а также допустимой потери давления колеблются в пределах от 20 до 80 м/сек.

Основные требования к трубопроводам — простота их схемы, герметичность, надежность и возможно малое гидравлическое сопротивление. Поэтому стремятся выполнять их короткими, с минимальным количеством арматуры, поворотов, разветвлений и соединений.

Все участки трубопровода по возможности должны иметь уклон в сторону движения среды; «мешки» в них крайне нежелательны. В случае неизбежности «мешка» он должен быть оснащен надежным дренажом. Расположение трубопроводов должно обеспечивать свободный доступ к ним.

От эксплуатационных качеств системы вакуумных трубопроводов в значительной степени зависит работоспособность ВУ в целом. Это вызывает необходимость в повышенных требованиях к качеству их изготовления и монтажа, а также их приемки.

При выборе труб, соединительных деталей и арматуры для агрессивных сред необходимо учитывать недопустимость использования изделий, футерованных пластмассами, резиной и свинцом (если такая возможность не указана в ТУ или ГОСТе на данное изделие), так как в условиях вакуума подобная футеровка может отслаиваться и закрывать проходы. Кроме того, футерованные трубы и фасонные детали обычно вызывают необходимость в применении многочисленных разъемных соединений, усложняющих и удорожающих трубопровод, а также ухудшающих его герметичность и надежность. Как правило, стремятся выполнять вакуумные трубопроводы сварными, при минимальном количестве разъемных соединений.

При неагрессивных и малоагрессивных и даже среднеагрессивных средах обычно применяют трубы из углеродистой стали, в последнем случае с повышенной толщиной стенки. Когда же из-за высокой агрессивности отсасываемой среды невозможно использование труб из углеродистой стали, применяют трубы из легированных сталей, из цветных металлов, а также из некоторых неметаллических материалов.

На вакуумных трубопроводах устанавливают минимально необходимое количество арматуры. При индивидуальных ВУ часто отпадает необходимость в запорной арматуре. При групповом присоединении технологических аппаратов к ВУ, особенно при переносных процессах, невозможно обойтись без отключающей, и иногда регулирующей арматуры.

На трубопроводах с D_y до 50 мм обычно устанавливают проходные пробковые края или вентили. При диаметрах трубопроводов от 50—80 до 200 мм при-

почтительна установка задвижек, которые являются единственным видом запорной арматуры при трубопроводах больших размеров.

Наиболее ненадежным местом по герметичности в обычной арматуре являются сальники, и такую арматуру следует применять только при давлениях, превышающих 75 мм рт. ст. (10 кг/м²). При меньших давлениях предпочтительно использование бессальниковых сильфонных вентилей, а также крапов, вентилей и задвижек, имеющих гидравлические затворы в сальниках.

В некоторых случаях на вакуумных трубопроводах необходима установка обратных клапанов, препятствующих быстрому повышению давления в технологических аппаратах, работающих под вакуумом, а также проникновению в них больших количеств воздуха или воды при внезапной остановке ВН, когда это может вызвать аварию или порчу ценной продукции. Возможность этого наиболее вероятна при водокольцевых, водоструйных и парожеткорных ВН.

При водокольцевых и водоструйных ВН обратные клапаны нужно устанавливать на всасывающих трубопроводах, перед ВН. При ПЭВН обратные клапаны можно установить на всасывающих трубопроводах, если давление всасывания не менее 75 мм рт. ст. (10 кг/м²), и в любых случаях на выхлопных трубопроводах до вододелителя или шумоглушителя.

Во избежание случайного засасывания в ВН жидкости на всасывающем трубопроводе устраивают «предохранительную петлю», представляющую собой участок трубопровода высотой, превышающей барометрическую высоту для данной среды (см. стр. 119). После «петли» трубопровод может быть опущен на необходимый уровень.

Совершенно нежелательна установка на вакуумных трубопроводах предохранительных клапанов из-за возможных значительных подсосов воздуха через них. Для предохранения ВУ от опасного повышения давления используются предохранительные гидравлические затворы или предохранительные мембраны, разрывающиеся при повышении давления. Любая барометрическая труба (без запорной арматуры), отводящая воду или конденсат из конденсатора, является предохранительным устройством от повышения давления выше атмосферного (если исключено ее замерзание).

Трубопроводы для воды (рабочей и охлаждающей) и технологического конденсата

Эти трубопроводы предназначены для подачи рабочей воды к водоструйным эжекторам и охлаждающей воды в конденсаторы и ВН, а также конденсата из поверхностных конденсаторов до барометрических коробок, приемников, насосов или общесетевых коммуникаций. Часть этих трубопроводов — напорных — работает в условиях небольших (обычно не более 4 кгс/см²) избыточных давлений при температурах в пределах 5—40°С и небольшая часть в условиях вакуума. К подпиткам относятся все барометрические трубы и участки водоподающих трубопроводов, примыкающие к питаемым ими конденсаторам смешения. Температура воды в отводящих трубопроводах колеблется от 20 до 70°С.

Устройство и условия работы напорных участков такие же, как и любых других участков в системах промышленных водопроводов. Что же касается барометрических труб, отводящих из конденсаторов смешения охлаждающую воду вместе с конденсатом и конденсат из поверхностных конденсаторов, то их устройство и условия эксплуатации имеют ряд особенностей.

Барометрическая труба предназначена для обеспечения свободного стока жидкости из конденсатора, находящегося под вакуумом, в барометрическую коробку или в закрытый сборник. Одновременно она является гидравлическим затвором, и для этого ее нижний конец всегда должен находиться ниже уровня жидкости в коробке или в сборнике. Высота столба жидкости в барометрической трубе при ее работе должна уравниваться атмосферным давлением (или давлением сборника), а также обеспечивать создание необходимой скорости жидкости и преодоление сопротивления трубопровода. Скорость воды в бароме-

трической трубе в зависимости от условий принимают в пределах от 0,3 до 1,0 м/сек, причем большие значения принимаются для больших диаметров труб и при наличии избытка высоты.

Барометрические трубы прокладывают по возможности вертикально, с минимальным количеством поворотов, выполняемых с радиусом не менее четырех диаметров трубы. В случаях, когда по условиям размещения трубы имеют наклонные участки, их следует выполнять с возможно большим уклоном в сторону движения жидкости (не менее 1 : 10 или $\sim 6^\circ$). Совершенно недопустимо соединения между собой барометрических труб, выходящих из различных конденсаторов. Каждая барометрическая труба вниз, над барометрической коробкой, должна иметь фланцевое соединение с гладкими уплотнительными поверхностями для установки заглушек, необходимых при испытании вакуумной системы на плотность избыточным давлением. В остальной части, включая присоединение к конденсатору, устройство каких-либо разъемных соединений на барометрической трубе нецелесообразно. При скорости в барометрической трубе более 0,6 м/сек и при $D_y = 100$ мм и более окончание труб следует выполнить конусным для снижения выходной скорости и потери давления.

Водоподводящие трубопроводы, независимо от источника питания, должны быть рассчитаны так, чтобы при максимальном расходе охлаждающей воды ее избыточное давление у входа в конденсатор было не менее 0,2 кгс/см² [25] и, в всяком случае, обеспечивалась нормальная работа установки. Скорость воды в них принимается в пределах 1,0—2,0 м/сек. Для их выполнения используются водо-газопроводные трубы (ГОСТ 3262—62, D_y до 100 мм) и электросварные трубы (ГОСТ 10704—63, D_y от 25 мм и более).

На водоподводящей трубе к конденсатору должна быть установлена запорно-регулирующая арматура, а также мановакуумметр и термометр. При наличии в установке нескольких конденсаторов (обычно при ПЭВН) целесообразно устройство общего коллектора, перед которым на общем трубопроводе устанавливается запорная задвижка (см. рис. 30). От коллектора к каждому конденсатору проложен отдельный трубопровод, на котором установлена арматура, пригодная для регулирования количества подаваемой воды. При остановках ВУ закрывают только общую задвижку, оставляя неизменным положение отрегулированных вентилей на отдельных трубопроводах.

На рис. 30 и 32 приведены схемы двух ПЭВН (установленных в помещении), на которых показано устройство водоподводящих трубопроводов и барометрических труб при конденсаторах смещения и поверхностных конденсаторах. При размещении конденсаторов вне помещения на водоподводящем трубопроводе или на коллекторе охлаждающей воды устраивается дренажный трубопровод, по которому обычно через воронку вода спускается из трубопроводов к конденсаторам при остановках ВУ в морозное время во избежание их замерзания. Наружные участки этих трубопроводов, кроме того, покрывают теплоизоляцией. Все водяные трубопроводы должны иметь уклоны (не менее 0,002), обеспечивающие полный сток из них воды. Обычно уклоны направлены от конденсаторов.

В случаях использования воды с механическими примесями для их улавливания необходима установка сетчатых фильтров.

Если конденсат, отводимый из поверхностных конденсаторов, имеет температуру застывания, превышающую $20 \div 25^\circ \text{C}$, то трубопровод для такого конденсата оснащают греющим устройством (трубопроводом-спутником или рубашкой); трубопровод вместе с греющим устройством покрывают теплоизоляцией. При размещении трубопровода для конденсата в неотапливаемом помещении или вне помещения его обогрев и теплоизоляция выполняются при любой температуре застывания конденсата.

Трубопроводы для водяного пара и его конденсата

Эти трубопроводы встречаются в ВУ с ПЭВН и при наличии обогревающих устройств. Их назначение — подвод пара и отвод конденсата. Устройство и эксплуатация паропроводов рабочего пара для ПЭВН имеют некоторые особенности. Паропроводы для обогрева (пар давлением в $3\text{--}6$ кгс/см²) и все кон-

денсатопроводы не отличаются от аналогичных технологических трубопроводов.

Согласно нормам МН 1804-61 [25] для эжекторов ПЭВН нормировано: абсолютное давление рабочего пара в 6 и 10 кгс/см² (0,6 и 1,0 Мн/м²) при максимальной температуре пара соответственно в 210 и 250°С.

Указанные давления рабочий пар должен иметь при входе в эжектор, и это необходимо учитывать при установлении давления пара и при его регулировании путем «надбавки» на потерю давления в трубопроводах до эжекторов. Эта «надбавка» зависит от размеров, конфигурации и длины паропроводов и обычно бывает в пределах 0,1—1,0 кгс/см² (9,81—98,07 кн/м²).

Скорость рабочего пара в паропроводах к эжекторам принимается в пределах от 15 до 30 м/сек. Паропроводы с D_u менее 20 мм обычно для рабочего пара не применяют.

В зависимости от производительности, давления всасывания и конструкции ПЭВН и некоторых других условий схемы подачи рабочего пара к эжекторам бывают различными:

а) одновременное включение всех эжекторов ПЭВН; эта схема является наиболее простой и дешевой и используется обычно при небольшой и средней производительности ПЭВН (когда не требуется частично отключать эжекторы, см. рис. 30);

б) раздельное включение эжекторов по ступеням; эта схема самая сложная и дорогая и используется при значительной производительности и малом давлении всасывания ПЭВН и при потребности в постепенном или частичном включении эжекторов;

в) смешанное включение эжекторов, когда эжекторы первых ступеней имеют отдельное включение, а группа эжекторов последних ступеней — общее (см. рис. 32).

Одновременное включение всех эжекторов ПЭВН производится одним общим вентилем. Схемы с раздельным и смешанным включениями нередко требуют устройства коллекторов (гребенок) рабочего пара, от которых отходят паропроводы к отдельным эжекторам или к группе эжекторов. Коллекторы размещают в местах, удобных для управления ПЭВН, иногда удаленных от последних, как это всегда имеет место при размещении ПЭВН вне помещения, на крышах зданий. В таких случаях можно производить пуск и остановку ПЭВН, не выходя из основного рабочего помещения. Для этого вблизи от парового коллектора целесообразно разместить коллектор охлаждающей воды.

На паровом коллекторе, кроме вентилей паропроводов к эжекторам, устанавливают также мановакуумметр, термометр (при использовании перегретого пара) и устраивают дренаж. При перегретом паре дренаж выполняется в виде пускового дренажа. При использовании насыщенного пара коллектор используется в качестве водоотделителя, а дренаж выполняется постоянно действующим с автоматическим конденсатоотводчиком. На общем паропроводе, без коллектора, для удаления влаги из рабочего пара устанавливают специальный водоотделитель с постоянно действующим дренажом; причем такой водоотделитель следует установить перед общим пусковым вентилем, как это показано на рис. 30. Это предотвращает накопление конденсата в паропроводе при кратковременных остановках ПЭВН.

Паровые сопла эжекторов, имеющие небольшие размеры горловины, легко могут быть засорены твердыми частицами (грата, окалины и т. п.), увлеченными паром из паропроводов, если перед ними нет предохранительных сеток-фильтров для улавливания и задерживания таких частиц. Большинство эжекторов оснащено подобными сетками, являющимися элементами их конструкции. При отсутствии таких сеток и диаметре горловины сопел от 8 мм и менее на паропроводе непосредственно перед эжекторами должны быть установлены предохранительные сетчатые фильтры с размером отверстий в них не более 0,65 диаметра горла сопла. Во избежание ощутимой потери давления пара в сетке ее живое сечение должно превышать сечение горла сопла (или сопел, если в эжекторе их несколько) не менее чем в 10 раз.

Все паропроводы и конденсатопроводы покрывают теплоизоляцией.

На паропроводы и конденсатороводы с наружным диаметром 76 мм и более распространяется действие «Правил» Госгортехнадзора о паропроводах и трубопроводах горячей воды.

Для выполнения паровых и конденсатороводов применяются трубы из углеродистой стали — электросварные и бесшовные. Для конденсатороводов с $P_p \leq 10 \text{ кгс/см}^2$ (1 Мн/м^2) также допустимо применение водогазопроводных труб.

3. ТРУБЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Трубы для трубопроводов нужно выбирать в соответствии с указаниями СНиП. II—Г.14—62* и соответствующих отраслевых Н и ТУ. Для трубопроводов вакуум-установок в основном используются углеродистые трубы**.

Для вакуумных трубопроводов с неагрессивной парогазовой смесью применяются электросварные трубы (ГОСТ 10704—63) и бесшовные трубы (ГОСТ 8732—58 и 8734—58). Применение бесшовных труб целесообразно для слабоагрессивных сред и обязательно при $D_y < 450 \text{ мм}$ и давлениях 75 мм рт. ст. (10 кгс/м^2) или менее. Для установок с давлением 150 мм рт. ст. (20 кгс/м^2) и более с неагрессивной средой допустимо использование водогазопроводных труб (ГОСТ 3262—62).

Для средне- и высокоагрессивных сред правильный выбор материала трубопровода часто является довольно сложным вопросом, при решении которого следует ориентироваться на соответствующие рекомендации отраслевых научно-исследовательских институтов, а также на данные имеющегося опыта. В условиях пищевых производств для трубопроводов со средне- и высокоагрессивными средами при давлениях 75 мм рт. ст. (10 кгс/м^2) и менее обычно используются бесшовные трубы (ГОСТ 9940—62 и 9941—62), изготавливаемые отечественной промышленностью из высоколегированных сталей марок: X18H10T, 0X18H10T, X17H13M2T, 0X17H16M3T, 1X21H5T, 0X21H5T, 0X23H18, X17, X28 и X25T. Размеры этих труб выбирают согласно нормам МН4705-63 «Сортамент труб технологических трубопроводов из легированной стали на P_y до 100 кгс/см^2 ». При этом следует учитывать значительную стоимость и дефицитность таких труб, а также необходимость надлежащего обоснования.

Из легированных сталей некоторых марок изготавливают бесшовные трубы пока только небольших размеров. Трубы больших размеров изготавливают из листовой стали толщиной 3—6 мм путем вальцевания и сварки. В таких случаях всегда следует проверить наименьшую допустимую толщину стенки труб, чтобы при достаточно низком весе и небольшой стоимости последние могли применяться без риска смятия трубопровода атмосферным давлением. Особенно это необходимо при использовании для вакуума труб из менее прочных материалов (например, из алюминиевых сплавов, меди, винилпласта, полиэтилена).

При агрессивных средах и давлениях более 75 мм рт. ст. (10 кгс/м^2) целесообразно использование электросварных труб из нержавеющей стали (ГОСТ 11068—64) при наружном диаметре от 8 до 102 мм и толщине стенки от 1,0 до 4,0 мм.

Трубы тянутые (ГОСТ 1947—56) с наружным диаметром от 6 до 120 мм, изготавливаемые из алюминиевых сплавов марок Д1, Д6, Д16, АВ, АД, АД1, АМг (состав по ГОСТ 4784—65), с успехом могут быть использованы для удаления некоторых кислот сред при температурах от -196 до $+150^\circ\text{C}$.

При необходимости применения сварных алюминиевых труб с D_y более 100 мм их следует выполнять сваркой из листового алюминия или алюминиевого сплава марки, обеспечивающей антикоррозионную стойкость, с толщиной стенки, определяемой расчетом.

Медные трубы тянутые (ГОСТ 617—64) с наружным диаметром от 3 до

* См. Строительные Нормы и Правила — СНиП. II—Г.14—62 «Технологические стальные трубопроводы с условным давлением до 100 кгс/см^2 включительно. Нормы проектирования».

** См. нормалю МН 2566—61 «Сортамент труб технологических трубопроводов из углеродистой стали, P_y до 100 кгс/см^2 ».

360 мм, изготавливаемые из меди марок М1, М2 и М3 (ГОСТ 859—66) и из меди марок МЗС (ГОСТ 617—64), могут быть использованы в необходимых случаях для вакуумных трубопроводов при температурах от -196 до $+250^{\circ}\text{C}$.

Использование труб из винипласта и полиэтилена для вакуума ограничено из-за недостаточной механической прочности и допустимой температуры (до $40-60^{\circ}\text{C}$).

При давлениях, превышающих 150 мм рт. ст. (20 кн/м^2), можно использовать стеклянные и ситалловые трубы.

При необходимости применения гибких присоединений в вакуумных трубопроводах используются вакуумные шланги, изготавливаемые из резины 7889 (ТУ МХП 1472—54), с внутренними диаметрами 3, 6, 9, 12, 15 и 30 мм, с толщиной стенки, равной внутреннему диаметру. Эти рукава пригодны для использования при любом вакууме.

При давлениях, превышающих 160 мм рт. ст. ($21,3 \text{ кн/м}^2$), для временных или гибких присоединений используются рукава резино-тканевые с металлическими спиралями (ГОСТ 8496—57), в которых спирали служат для предохранения от смятия атмосферным давлением. Такие рукава типа КЩ для давлений 3; 5 и 10 кгс/см^2 изготавливают с внутренними диаметрами $D_{\text{вн}}$ от 16 до 325 мм; при длине от 2 до 18 м $D_{\text{вн}}$ до 125 мм и при длине от 2 до 8 м $D_{\text{вн}}=150 \text{ мм}$ и более. На концах рукавов имеются мягкие манжеты для присоединения к металлическим патрубкам.

Соединения труб вакуумных трубопроводов должны быть, как правило, неразъемными, обычно сварными, с выполнением швов специальными электродами и квалифицированными сварщиками. Разъемные соединения выполняют в местах присоединения трубопроводов к арматуре и аппаратам.

Фланцевые соединения вакуумных трубопроводов должны быть рассчитаны на давление P , не менее 10 кгс/см^2 (1 Мн/м^2), причем рекомендуются: для труб из углеродистых сталей — фланцы приварные в стык (ГОСТ 12830—67, 12831—67 и 12832—67) и для труб из легированных сталей, алюминиевых сплавов и меди — свободные фланцы на приварном кольце (ГОСТ 1268—67).

Уплотнительные поверхности фланцев трубопроводов должны иметь размеры и конструкцию, соответствующие фланцам арматуры или аппаратов. В случаях, когда необходимо выбрать тип уплотнительной поверхности фланцев вакуумных трубопроводов, рекомендуется применять всегда, когда это возможно, гладкую поверхность. При применении прокладок из мягких пластмасс — фторопласта, полиэтилена и т. п., а также уплотнителей в виде мастики применяются уплотнительные поверхности — «шип-паз».

Металл сварочных швов обладает пористостью. Это обстоятельство следует учитывать при монтаже вакуумных трубопроводов глубокого вакуума, так как при большой общей длине сварных швов подсос через их поры воздуха может быть довольно значительным. В таких случаях целесообразно всю поверхность трубопроводов или же только в местах швов окрашивать лаком или краской (за два или три раза), создающими плотную пленку. Материал для окрашивания нужно выбрать с учетом максимальной температуры трубопровода.

4. ПРОКЛАДКИ И САЛЬНИКОВЫЕ НАБИВКИ

Необходимую плотность фланцевым соединением придают прокладки, зажимаемые между их уплотнительными поверхностями. Материал прокладок должен соответствовать физико-химическим свойствам среды, а также ее температуре и давлению.

В зависимости от материала прокладки делятся на металлические, неметаллические и комбинированные. В соединениях трубопроводов ВУ в основном применяются неметаллические прокладки из резины, паронита, пластика полихлорвинилового, полиэтилена, фторопластов и некоторых других материалов.

Резину в настоящее время изготавливают со свойствами, позволяющими использовать резиновые прокладки при температурах в пределах от -60 до

+250°С. Они стойки ко многим агрессивным средам и растворителям, но азотная кислота и многие органические кислоты разрушают их.

Для изготовления плоских прокладок используется техническая листовая резина (пластина) без прокладок толщиной от 1 до 4 мм и резина с прокладками толщиной от 2 до 5 мм.

Кроме того, резиновые прокладки выполняются из шнура круглого, квадратного или прямоугольного сечения (ГОСТ 6467—69). Концы шнура, используемого для прокладок, срезаются под углом 30—45° и склеиваются резиновым клеем.

Паронит — прокладочный материал, изготавливаемый путем вальцевания композиции, состоящей из асбеста, каучука и наполнителей. Паронит — основной прокладочный материал для уплотнения фланцевых соединений, работающих при температурах от —182 до +450°С, при давлениях — от глубокого вакуума до 40—70 кгс/см² и более.

Для ВУ в основном используется вальцованный паронит (ГОСТ 481—58) толщиной 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 и 6,0 мм; листовой паронит (от 300×400 до 1200×1700 мм) или паронит в виде готовых прокладок. Плотность паронита в пределах 1500—2000 кг/м³. ГОСТ 15180—70 определяет размеры плоских эластичных прокладок из паронита.

Пластикат полихлорвиниловый (ТУ МХП 1374—46 и ВТУ МХП 2024—49) — эластичный материал, получаемый из смеси полихлорвиниловой смолы с пластификаторами и стабилизаторами. Он обладает высокой химической стойкостью к большинству кислот, органических растворителей, а также к перекиси водорода и сероуглероду. Выпускается в виде листов толщиной от 1 до 5 мм.

Полиэтилен (ВТУ МХП 4138—55) выпускается в виде пленки и листов. Обладает высокой химической стойкостью к различным агрессивным средам и водостойкостью.

Фторопласт-4 (ГОСТ 10007—62) — продукт полимеризации тетрафторэтилена. Выпускается в виде листа, пленки и готовых фасонных изделий. Обладает текучестью, зависящей от температуры и удельного давления, что необходимо учитывать при проектировании уплотнений. Наиболее химически стойкий материал из всех пластмасс. Крепкие и разбавленные кислоты (минеральные и органические), любые растворы щелочей, самые сильные окислители не оказывают действия на фторопласт-4 даже при высоких температурах. На него действуют только фтор, плавиковая кислота и расплавленные щелочные металлы.

Пленка из фторопласта-4 используется для обкладки асбестовых прокладок с целью придания им плотности.

Прокладочный материал фторопласт-4Д обладает хорошей эластичностью, выпускается в виде круглого или квадратного шнура.

Из фторопласта-4Д изготавливают фторопластовый уплотнительный материал ФУМ, содержащий смазку в количестве 20—25% (МРТУ6 № 870—62). Это химический и теплостойкий материал с временным сопротивлением растяжению ~1,96 Мн/м² (~20 кгс/см²) при относительном удлинении ~50%. Используется для уплотнения фланцевых соединений и в сальниках.

Металлические прокладки в ВУ применяются очень редко. Комбинированные прокладки в отдельных случаях могут быть с успехом использованы.

Набивки сальниковые, применяемые для уплотнения штоков ВН и трубопроводной арматуры, выпускаются согласно ГОСТ 5152—66 хлопчатобумажные, пенниковые и асбестовые. Представляют собой круглые или квадратные шнуры сквозного плетения (квадратные), с однослойным или многослойным оплетением (круглые и квадратные), сухие или пропитанные антифрикционными составами. Размер набивки (диаметр или сторона квадрата в мм) — 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 19; 22; 25; 28; 32; 35; 38; 42; 45 и 50.

Хлопчатобумажная и пенниковая набивки имеют предельную рабочую температуру до 100°С, а асбестовые пропитанные до 300°С. Набивки из фторопласта ФУМ характеризуются высокой стойкостью к различным агрессивным средам при температуре до 250°С, длительностью работы и могут эксплуатироваться

без дополнительной смазки. Из шнуровой набивки изготавливают разрезные кольца с косыми (30—45°) плотными стыками и укладывают их в салыники так, чтобы стыки колец были смещены между собой на 90—120°.

5. ТЕПЛОВЫЕ УДЛИНЕНИЯ И ИХ КОМПЕНСАЦИЯ

При изменении температуры трубопроводов изменяется их длина. Изменение длины трубопровода Δl может быть определено по формуле:

$$\Delta l = \alpha (t_k - t_n) \cdot L \text{ м}, \quad (15)$$

где α — температурный коэффициент линейного расширения; для углеродистой стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$; для легированной стали X18H10T $\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$; для алюминия $\alpha = 24 \cdot 10^{-6}$; для меди $\alpha = 16,5 \cdot 10^{-6}$ и для винипласта $\alpha = 70 \cdot 10^{-6}$;

t_k и t_n — конечная и начальная температура труб в °C;

L — длина трубопровода по его оси в м.

Во избежание нарушения прочности и конфигурации трубопроводов, а также их опорных конструкций требуется компенсировать их тепловые деформации. Наиболее целесообразным способом компенсации является использование изгибов трассы трубопровода. При отсутствии этой возможности используют специальные компенсаторы: гнутые (обычно П-образные), линзовые и волнистые. Гнутые П-образные компенсаторы применяются в основном в паропроводах и конденсаторпроводах, а также в вакуумных трубопроводах при $D_y = 100$ мм и менее. Линзовые компенсаторы нормализованы (МН 2894-62—МН 2908-62) для D_y от 100 до 1600 мм и $P_y = 0,2; 1; 2,5; 4$ и 6 кгс/см², с одной, двумя, тремя и четырьмя линзами, со стаканом и без стакана, с дренажными штуцерами и без них. Они предназначены для внутреннего давления, но без особых осложнений могут быть использованы для вакуума (на $P_y > 1$ кгс/см²).

Число линз компенсатора выбирается в соответствии с требуемой компенсирующей способностью. Стакан, устанавливаемый в компенсаторе, предназначен для снижения гидравлического сопротивления. Его установка возможна только при осевой деформации компенсатора. При необходимости или возможности изгиба оси используются линзовые компенсаторы без стакана, так называемые «шаририные». Линзовые компенсаторы изготавливают из штампованных заготовок, получение которых не всегда возможно в короткие сроки. В таких случаях возможно применение компенсаторов, подобных показанному на рис. 45.

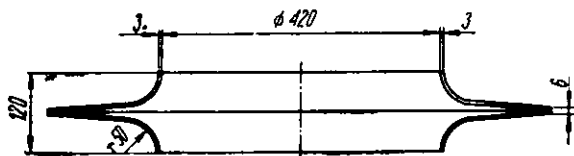


Рис. 45. Линзовый компенсатор с вогнутыми линзами.

Волнистые компенсаторы очень удобны для использования при вакууме, при D_y от 150 до 400 мм. В отличие от волнистых компенсаторов, предназначенных для давления, при вакууме они могут быть использованы без стяжек и без упорных и ограничительных колец, значительно их усложняющих и удорожающих. Число волн у гибкого элемента зависит от компенсирующей способности компенсатора. Гибкий элемент выполняется из легированной стали марки X18H10T. Волнистые компенсаторы пригодны для применения при температурах сред до 450° C.

В вакуумных трубопроводах компенсаторы, как правило, соединены с трубами с помощью сварки.

Большинство ВУ пищевой промышленности оснащены обычной сальниковой трубопроводной арматурой, внешняя плотность которой, как правило, недостаточна. В такой арматуре неплотности наблюдаются в сальниках штоков и в разъемных соединениях. В условиях эксплуатации арматуры при избыточном давлении в этих местах при недостаточной плотности появляются течи, сигнализирующие о нарушении плотности, но обычно не вызывающие особых осложнений в работе.

Совершенно по-иному происходит это при работе арматуры под вакуумом. Возникновение и существование неплотностей в сальниках и соединениях арматуры обычно не сопровождается явлениями и признаками, по которым можно было бы легко их распознать и устранить. В то же время через неплотность с площадью сечения 1 мм^2 в вакуумную систему проникает около $0,83 \text{ кг/ч}$ воздуха, который при давлении в системе 5 мм рт. ст. ($0,67 \text{ кг/м}^3$) занимает объем около 100 м^3 . Таким образом, значительные количества воздуха могут незаметно подсосываться через неплотности в вакуумную систему, нарушать ее технологический режим, ухудшать работу конденсаторов и загружать ВУ. По этим причинам к арматуре ВУ, находящейся постоянно или даже временно под вакуумом, предъявляются повышенные требования в отношении ее герметичности и общей надежности.

Запорная арматура, являющаяся основным типом арматуры ВУ, состоит из задвижек, вентиля и кранов.

Задвижки

Задвижки обычно применяются при D_u от 50 мм и более. Основное их преимущество — малое гидравлическое сопротивление: $\zeta = 0,08-0,2$. При относительно простой конструкции задвижки имеют корпуса меньшей длины по сравнению с вентилями и даже кранами, но, как правило, имеют значительную высоту, особенно при выдвижных шпинделях.

Обычные конструкции параллельных и клиновых задвижек не приспособлены для регулирования потока и применяются только в качестве затвора, который полностью открыт или полностью закрыт. Они применяются для этой цели в вакуумных трубопроводах, а также в трубопроводах охлаждающей воды и пара. В номенклатуре отечественных задвижек пока отсутствуют задвижки, специально предназначенные для работы под вакуумом.

При использовании в вакуумных трубопроводах задвижек с обычным сальником (без гидрозатвора) следует обращать самое серьезное внимание на состояние сальникового уплотнения, особенно на состояние поверхности штока, на применение соответствующей (по материалу и размеру) сальниковой набивки и тщательное ее содержание. Где только возможно, следует в сальниках устраивать гидрозатворы. Последние бывают наружные и внутренние. Наружный гидрозатвор обычно представляет собой чашу, охватывающую верх сальника и заполненную уплотнительной жидкостью, которая покрывает гребень штока.

Внутренний гидрозатвор осуществляют только при большой глубине сальниковой полости, так чтобы, кроме разделительного кольца (двухтаврового сечения с отверстиями в средней

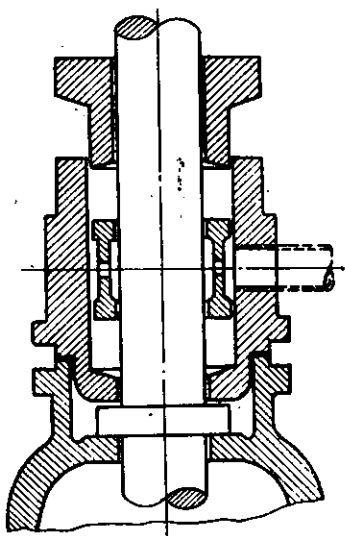


Рис. 46. Сальник задвижки с внутренним гидрозатвором.

части) в ней могли разместиться по обеим сторонам не менее чем по три-четыре кольца набивки. В середину сальника, к разделительному кольцу, трубкой подводится уплотнительная жидкость из стеклянного или металлического сосуда. По скорости снижения уровня в сосуде судят о необходимости его пополнения и о плотности сальника.

На рис. 46 показан сальник задвижки с внутренним гидрозатвором.

Уплотнительная жидкость выбирается в зависимости от технологических условий. Необходимо учитывать неизбежное попадание уплотнительной жидкости внутрь вакуумного трубопровода.

Вентили

Вентили представляют собой клапаны со шпинделями, снабженными резьбой и авинчиваемыми в гайки, размещаемые в крышках или бугелях. Использование резьбы, обладающей свойством самоторможения, позволяет оставлять тарелку клапана в любом положении без риска ее самопроизвольного перемещения. Это качество вентилей широко используется на практике для регулирования ими протекающих потоков, когда перепады давлений незначительны, что часто встречается в производственных условиях. Кроме того, постепенное перемещение тарелки клапана предотвращает гидравлические удары при капельных жидкостях.

Вентили имеют простую конструкцию и требуют незначительных усилий для управления. В качестве запорной и регулирующей арматуры они широко используются при небольших диаметрах (от $D_v=10$ до $D_v=100$ мм, а при значительных давлениях или необходимости регулирования и до $D_v=200$ мм). Вентили обычной конструкции оказывают большое гидравлическое сопротивление ($\zeta=3\div 5$ и более).

Вентили имеют относительно небольшой ход тарелки (обычно до $0,25 D_v$), необходимый для их полного открытия. Поэтому высота их значительно меньше по сравнению с задвижками одинаковых размеров.

Вентили бывают проходные, угловые и прямооточные. Угловые распространены мало. Прямоточные — имеют сравнительно малое гидравлическое сопротивление, но обладают большой величиной хода тарелки.

По условиям присоединения вентили разделяются на: а) фланцевые; б) муфтовые; в) цапковые; г) приварные (с концами под приварку).

По способу уплотнения шпинделя вентили делятся на сальниковые и сильфонные. В последних сальник заменен сильфоном, поэтому шпиндель движется поступательно. На рис. 47 показан сильфонный запорно-регулирующий вентиль ($D_v 25$ мм) для рабочего давления до 10 кгс/см^2 при температуре до 350°C , вакуумно-плотный относительно внешней среды при давлении до $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Такие запорные вентили (14с 17; 14нж 17п; 14нж 917п; 14с 917 нж, 14с 017 ст) изготавливаются отечественной промышленностью при $D_v=10\div 150$ мм. Эти вентили предназначены для использования в ответственных узлах установок глубокого вакуума с любым расположением их. Недостатком вентилей этого типа является несоосность присоединительных штуцеров, существенно усложняющая их установку на прямых участках трубопроводов.

В ВУ вентили используются:

а) на вакуумных трубопроводах в основном в качестве запорных устройств при малых диаметрах (обычно при D_v не более 100 мм); при необходимости в установке запорно-регулирующих устройств используются вентили с D_v до 200 мм; во всех этих случаях предпочтительно применение вентилей, предназначенных для вакуума, т. е. сильфонных или с гидрозатворами, однако при давлениях более 75 мм рт. ст. (10 км/м^2) применяются сальниковые вентили общего назначения, по возможности фланцевые, на $P_v=16 \text{ кгс/см}^2$ ($1,6 \text{ Мн/м}^2$) или более; сальники вентилей должны быть приведены в безукоризненное состояние;

б) на трубопроводах охлаждающей воды, где при D_v до 40 мм включительно вентили используются как запорные и как запорно-регулирующие; при $D_v=50$ мм и более вентили в основном используются в качестве запорно-регулирующих устройств на трубопроводах для подачи воды в конденсаторы и

ВН, так как при таких размерах трубопроводов в качестве только запорной арматуры предпочтительны задвижки;

в) на трубопроводах рабочего (ПЭВН) и греющего водяного пара в качестве запорных устройств; при необходимости регулирования давления со значительными перепадами необходима установка специальных регулирующих (дрессельных) или запорно-регулирующих вентилей, как это приходится делать на обводах регулирующих клапанов, или же устанавливать последовательно два вентиля, из которых один используется только в качестве запорного, а второй для регулирования.

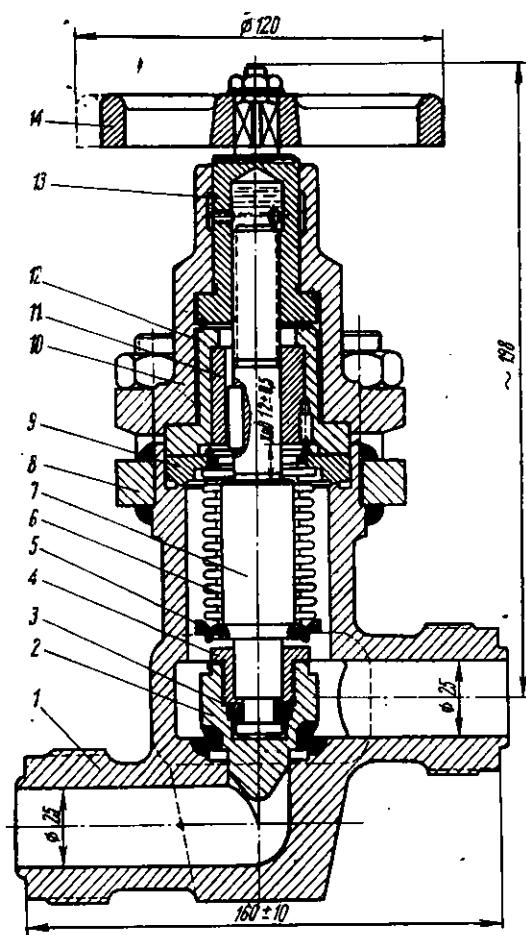


Рис. 47. Вентиль запорно-регулирующий, сильфонный, цапковый ($D_y = 25$ мм):

1 — корпус; 2 — игла регулирующая; 3 — кольцо разъемное; 4 — колпачок; 5 — кольцо сильфона нижнее; 6 — сильфон; 7 — шпindel; 8 — фланец; 9 — кольцо сильфона верхнее; 10 — крышка; 11 — втулка; 12 — втулка переходная; 13 — втулка резьбовая; 14 — маховик.

В установках, оснащенных ПЭВН, вентили, регулирующие подачу охлаждающей воды в конденсаторы смещения, а также вентили на паропроводах рабочего пара к эжекторам при внезапной или экстренной остановке вакуум-насоса и необходимости при этом сохранить вакуум в системе после закрытия общих запорных устройств попадают под вакуум; если сальники вентилей достаточно уплотнены, то вакуум в системе может «держаться» (постепенно снижаясь) достаточно долгое время.

Краны

Краны — запорная арматура, открывающаяся и закрывающаяся поворотом пробки со сквозным отверстием, расположенной внутри корпуса. При этом пробка скользит по уплотнительной поверхности без какого-либо перемещения вдоль ее оси.

Краны в качестве запорной арматуры имеют ряд положительных особенностей, благодаря которым они широко применяются на технологических трубопроводах при D_u в пределах 15—100 мм. Краны с конусными пробками выполняются с уплотнениями за счет притирки уплотнительных поверхностей или смазки их. Применение несмазываемых кранов возможно при давлениях не менее 150 мм рт. ст. (20 кн/м²).

Более целесообразно использование для вакуума кранов, уплотняемых смазкой. Смазка, заполняя зазоры между уплотнительными поверхностями, обеспечивает плотность между ними и предотвращает их заедание. Подобные краны можно использовать в вакуумных трубопроводах при давлениях до 35 мм рт. ст. (4,7 кн/м²) и более.

На современных установках для дезодорации жиров фирмы «Де-Смет» встречаются краны со смазкой и с гидрозатвором в сальнике (фирмы «Аудко»), удобные и надежные в эксплуатации при давлениях до 1 мм рт. ст. (0,133 кн/м²).

Обратные и предохранительные клапаны

Обратные клапаны, устанавливаемые на вакуумных трубопроводах, обычно бывают фланцевые поворотного типа (при $D_u = 50$ мм и более). Они могут быть установлены на горизонтальных, наклонных и вертикальных участках трубопроводов, причем в последних случаях только при направлении потока снизу вверх. Во всех случаях ось диска клапана должна быть горизонтальной.

Применение подъемных обратных клапанов обычной конструкции не может быть рекомендовано вследствие высокого гидравлического сопротивления.

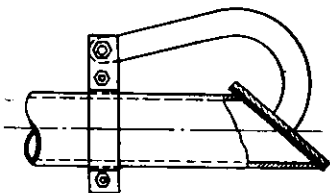


Рис. 48. Предохранительный клапан-хлопушка.

Предохранительные клапаны устанавливают обычно на трубопроводах водяного пара, после редуцирующих клапанов, в случаях редуцирования давления в значительных пределах. Целесообразно использование пружинных клапанов как более компактных.

При необходимости предохранения ВУ от избыточного давления избегают установки на них предохранительных клапанов из-за возможности значительных подсосов воздуха. Вместо предохранительных клапанов устанавливают предохранительные мембраны, разрывающиеся при чрезмерном повышении давления. Обычно мембрана — это тонкая пластина из листового алюминия, стали, меди,

пластмассы или другого материала, зажатая между фланцами штуцера. Во избежание разрыва атмосферным давлением мембрана опирается со стороны вакуума на металлическую решетку. При этом должны быть предусмотрены необходимые ограждающие конструкции и выхлопные трубы, обеспечивающие безопасность эксплуатации предохранительных мембран.

Для предотвращения незначительного повышения давления выше атмосферного на трубопроводах или оборудовании устанавливают предохранительные клапаны — хлопушки (рис. 48). Избыточное давление, при котором такой клапан открывается, обычно находится в пределах 5—20 кн/м².

При опасности засасывания жидкостей, обычно при переполнении ими аппаратов, находящихся под разрежением, на штуцерах, присоединяемых к источнику вакуума, устанавливают контрольно-предохранительные смотровые фонари. На рис. 49 показан такого рода фонарь с шаром-клапаном. В виде резинового мяча. Пока через такой фонарь отсасывается (снизу вверх) газ или парогазовая смесь, мяч лежит внизу на патрубке с прорезями, не мешая протеканию отсасываемой среды; как только фонарь заполняется жидкостью, мяч поднимается и, прижатый к верхнему патрубку, закрывает его; таким образом, автоматически прекращается доступ жидкости в вакуумный трубопровод.

Иногда в ВУ применяют обычные контрольные фонари с цилиндрическими и плоскими стеклами.

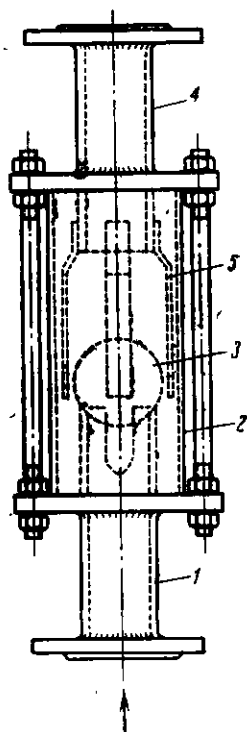


Рис. 49. Контрольно-предохранительный фонарь с шаром-клапаном:

1 и 4 — патрубки фланцевые; 2 — цилиндр стеклянный; 3 — шар (мяч) резиновый; 5 — направляющие планки.

Глава VI

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВАКУУМ-НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

1. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ

В данной главе приведены краткие сведения об эксплуатации ВНУ¹.

До включения в эксплуатацию новой ВНУ должен быть закончен монтаж всего оборудования и трубопроводов, все оборудование должно быть испытано и принято в эксплуатацию в соответствии с действующими Строительными Нормами и Правилами [17, 18], а также отраслевыми Нормами и Техническими указаниями.

Перед пуском ВНУ необходимо проверить:

1) состояние ВН, его привода и ограждений (подробная проверка производится только после длительного перерыва в работе или при наличии признаков неисправности);

¹ Данные о неисправностях и мерах их устранения, а также о планово-предупредительном ремонте нами не рассматриваются, так как они приведены в заводских инструкциях.

- 2) наличие смазки во всех смазочных устройствах;
- 3) обеспеченность охлаждающей водой и энергией;
- 4) готовность к работе обслуживаемой технологической установки, конденсатора, вспомогательных устройств и трубопроводов;
- 5) состояние арматуры на оборудовании и трубопроводах, которая должна быть установлена в положение, соответствующее пуску ВНУ;
- 6) наличие и состояние приборов для контроля и автоматического управления;
- 7) спущена ли жидкость из каплеуловителя (перед ВН).

Во время работы ВНУ контролю подлежат:

- а) состояние ВН (производимый им шум, температура основных частей, вибрация);
- б) наличие и нормальное поступление смазки;
- в) температура охлаждающей воды, выходящей из ВН и конденсаторов;
- г) величина создаваемого вакуума;
- д) состояние привода.

Разборка и сборка объемных ВН, связанные с осмотрами и ремонтами их, различны в отношении приемов и последовательности для ВН разных типов. Они изложены в инструкциях заводов-изготовителей. Однако при этом должны соблюдаться некоторые общие правила.

До начала разборки ВН необходимо:

- а) надежно отключить электродвигатель от электросети, исключив возможность его случайного пуска;
- б) отключить ВН от действующих трубопроводов;
- в) закрыть вентиль на подаче воды в ВН и слить из него всю воду.

Разборка ВН, как правило, производится в порядке, обратном сборке. Все болты, гайки, шайбы и прокладки, снятые при разборке, должны быть при сборке поставлены на свои прежние места. Прокладки, пришедшие в негодность, подлежат замене новыми таких же размеров.

Особое внимание должно быть уделено правильному установлению рабочих зазоров между деталями ВН.

2. ПОРШНЕВЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

Перед их пуском необходимо дополнительно проверить, нет ли воды в масляной ванне (картере) и, кроме того, у мокровоздушных ВН — наличие воды в цилиндре и в клапанной коробке; у суховоздушных ВН нужно проверить отсутствуют ли вода и масло в золотниковой коробке или в выпускном трубопроводе.

Во время работы ВН контролю подлежат:

- а) стуки в коренных подшипниках, крейцкопфе, кривошипной камере, эксцентрикe, в полостях цилиндра и золотника (при работе ВН стуки недопустимы);
- б) температура коренных подшипников, салыников, крейцкопфа, корпуса масляного насоса, цилиндра и золотника;
- в) давление масла по манометру.

Давление смазочного масла у ВН типов ВНК-3М, 2ВНК-3М, ВНП-3 и 2ВНП-3 должно быть в пределах $1,2\text{--}2,5 \text{ кгс/см}^2$ при крайних пределах от 1 до 5 кгс/см^2 . Повышенное давление масла порядка $3,5\text{--}5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,35\text{--}0,5 \text{ Мн/м}^2$), обычно имеет место при пуске и холодном масле.

Температура охлаждающей воды, выходящей из суховоздушных ВН (ВНП-3, 2ВНП-3), ориентировочно должна быть в пределах $35\text{--}40^\circ\text{C}$. Конденсат, удаляемый из цилиндров мокровоздушных насосов (ВНК-3М, 2ВНК-3М), должен иметь температуру в пределах $40\text{--}60^\circ\text{C}$. Температура парогазовой смеси в выпускном трубопроводе суховоздушных насосов не должна превышать $100\text{--}110^\circ\text{C}$. Во время работы ВН типа ВНП-3 находящийся под золотниковой коробкой спускной кран должен быть открыт для спуска попавших в нее воды и масла.

Надежность работы ВН в значительной степени зависит от условий их смазки. Для смазки приводного механизма применяется масло индустриальное 50 (ГОСТ 1707—51).

Смазку цилиндров и сальников суховоздушных насосов рекомендуется производить маслом компрессорным 19 (ГОСТ 1861—54). Цилиндры мокровоздушных насосов смазываются конденсатом, попадающим в них вместе с отсасываемой парогазовой смесью. Смазка универсальная С (пресс-солидол) (ГОСТ 4366—64) применяется для смазки сальников мокровоздушных насосов, а также некоторых узлов ВН.

Смену масла в масляной ванне (картере) следует производить после первых 50 ч работы ВН. В дальнейшем масло заменяется через каждые 300—500 ч работы, в зависимости от условий работы и состояния масла.

Для мокровоздушных ВН (ВНК-3М, 2ВНК-3М и других) рекомендуется:

а) осмотр поршня, цилиндра, крейцкопфа, крейцкопфного пальца, штока, шатуна, клапанов производить через каждые 1000 ч работы; в случае срабатывания резиновых поршневых колец (ВНК-3М) их следует подтягивать;

б) сальники штока держать всегда достаточно плотными; затяжка сальников должна быть равномерной — перекос не допускается; для набивки сальников используется хлопчатобумажная или пеньковая набивка, которую нужно заменять через 500—600 ч работы;

в) осмотр коренных подшипников и маслонасоса производить через каждые 1500—2000 ч работы;

г) очистку полости цилиндра и седел клапанов производить по мере необходимости.

При длительном бездействии ВН конденсат из клапанной коробки и цилиндра нужно удалять через пробки.

Для суховоздушных ВН (ВНП-3, 2ВНП-3 и других) рекомендуется:

а) осмотр поршня, поршневых колец, крейцкопфа, крейцкопфного пальца, золотника, шатуна, штоков и клапанов производить через каждые 1000 ч работы; при осмотре поршень и золотник тщательно очищают от нагара, а кольца промывают керосином; в случае загорания колец в канавках поршень или золотник нужно поместить в керосин и легкими ударами деревянного бруска по окружности колец привести их в подвижное состояние; затем снять кольца и хорошо очистить от нагара как сами кольца, так и канавки; появившиеся на кольцах и краях канавок заусенцы осторожно снимают, не притупляя кромок; поршневые кольца должны свободно ходить в канавках; их замки должны быть при установке на поршне смещены один относительно другого на 90—120°; прежде чем установить на место поршень или золотник, необходимо его тщательно протереть чистой сухой ветошью и смазать маслом; присутствие бензина или керосина на рабочих поверхностях цилиндра, поршня и золотника не допускается;

б) хорошее уплотнение сальников штоков без перекосов; для сальников нужно использовать хлопчатобумажную, просаленную набивку, заменяя ее через 400—600 ч работы;

в) осмотр коренных подшипников и зубчатых колес насоса для центральной смазки производить через каждые 1500—2000 ч работы;

г) чистку охлаждающих рубашек цилиндра и крышек производить по мере необходимости, в зависимости от их загрязнения.

До начала разборки ВН необходимо дополнительно:

а) слить масло из всей системы циркуляционной смазки, включая масляную ванну;

б) заметить положение штока поршня, штока золотника и других деталей насоса с тем, чтобы при сборке поставить их точно на свои места;

в) вынуть поршень и золотник вместе с их штоками после вскрытия крышек и отсоединения штоков со стороны привода;

г) вынуть крейцкопф после отсоединения его от штока и шатуна и демонтирования коленчатого вала; иногда крейцкопф можно демонтировать через боковые люки в станине (между направляющими), повернув его вокруг оси на 90°;

д) крышки, оснащенные отжимными болтами, снимать с их помощью.

При сборке особое внимание необходимо уделить правильному установлению положений поршня в мертвых точках, а также положению золотника. По окончании сборки насоса эти положения должны быть проверены.

Величина зазоров между крышками и поршнями в мертвых точках для современных ВН колеблется в пределах 1,2—2 мм и обычно указывается в инструкциях заводов-изготовителей.

Обслуживание, сборка и разборка двухступенчатых вакуум-насосов несколько сложнее, чем одноступенчатых, но в основном такие же.

3. РОТАЦИОННЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ С МАСЛЯНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

Перед пуском, если насос длительное время не работал, необходимо произвести полный внешний осмотр его, вручную повернуть на один—два оборота ротор насоса, чтобы убедиться в отсутствии внутренних повреждений, а также вытеснить из цилиндра избыток масла. После этого следует:

а) проверить, открыты ли вентили маслоуказателя и верхний вентиль (кран) маслоотстойника, а также наличие масла; при недостатке масла — добавить его до нормы;

б) открыть вентили для подачи охлаждающей воды в рубашку корпуса и маслоохладительный змеевик и убедиться в нормальном поступлении ее;

в) включить электродвигатель насоса, после чего немедленно открыть кран (вентиль) для подачи масла в насос;

г) максимально открыть дозатор газобалластного устройства;

д) после прогрева насоса во избежание конденсации в нем паров воды постепенно открыть запорную арматуру на всасывающем трубопроводе и наблюдать за изменением вакуума в течение нескольких минут; если величина вакуума находится в нормальных пределах и отсутствуют ненормальности в работе насоса, он оставляется в работе.

Во время работы ВН в первую очередь необходимо отрегулировать открытие дозатора газобалластного устройства в соответствии с инструкцией по эксплуатации, а также следить за:

а) состоянием насоса и его привода по производимому им ритмично-пульсирующему шуму;

б) температурой корпуса, сальника и подшипников;

в) температурой охлаждающей воды, выходящей из рубашки корпуса и маслоохладительного змеевика;

г) температурой парогазовой смеси на выхлопе насоса, которая не должна превышать 70—80°С при воздушном и 40—50°С при водяном охлаждении;

д) уровнем и температурой масла в маслобаке; уровень масла должен быть в пределах маслоуказательного стекла;

е) вакуумом во всасывающем трубопроводе.

Кроме того, необходимо периодически сливать воду из маслоотстойника под маслобаком.

Если при пуске насоса забыли подать воду в охлаждающие — рубашку и змеевик и при этом рабочая камера (корпус) насоса значительно нагрелась, его следует немедленно остановить и дождаться естественного охлаждения. Только после остывания насоса до 40—50°С в него подают охлаждающую воду и пускают в ход.

Перегрев деталей насоса приводит к заклиниванию их, задирам и другим повреждениям. Поэтому при обнаружении большого перегрева насоса следует внимательно проверить его состояние до пуска в ход. При наличии существенных повреждений необходим ремонт с разборкой насоса.

Повышение температуры парогазовой смеси в выхлопном трубопроводе является признаком недостаточного охлаждения ВН или несоответствия его условиям эксплуатации. В первом случае проверяют температуру воды и состояние охлаждающих поверхностей; во втором случае необходимо привести ВН в соответствие с условиями работы путем замены его или изменением условий эксплуатации.

Работа насосов в значительной степени зависит от свойств применяемого масла; в связи с этим данному вопросу в условиях эксплуатации необходимо уделять внимание.

Масло, применяемое для ВН с масляным уплотнением, должно обладать достаточной вязкостью при рабочей температуре (обычно в пределах 50—90° С) и хорошими смазывающими свойствами. В СССР для этих целей в основном применяется вакуумное масло марки ВМ-4.

Остановку ВН следует производить в следующем порядке:

- а) закрыть запорную арматуру на всасывающем трубопроводе;
- б) закрыть дозатор газобалластного устройства;
- в) закрыть кран (вентиль) для подачи масла в насос и немедленно выключить его электродвигатель;
- г) закрыть вентили для подачи охлаждающей воды.

Следует учитывать, что если при остановленном насосе кран (вентиль) для подачи масла в насос останется открытым, то масло из бака перетечет в насос и последний не сможет быть запущен без предварительного удаления из него избытка масла. Это обычно связано с проворачиванием насоса вручную на несколько (от 5 до 15) полных оборотов.

Продолжительность нормальной работы вакуум-насоса прежде всего зависит от правильного ухода за ним. Особенно необходимо предотвращать попадание в насос твердых предметов любого размера, так как они могут повредить его детали и вывести его из строя.

Следует своевременно менять вакуумное масло, которое загрязняется пылью и влагой, содержащимися в засасываемой среде. При смене масла производится также промывка маслобака. Периодичность смены масла зависит от свойств отсасываемой среды и обычно устанавливается опытным путем, но должна быть не реже двух раз в месяц. Первую смену масла рекомендуется произвести спустя 10—15 ч с начала эксплуатации. При отсасывании парогазовой смеси или паров воды нужно обязательно пользоваться газобалластным устройством во избежание обводнения масла. Периодически нужно промывать газобалластное устройство и чистить сетку дозатора.

Сведения о разборке и сборке ротационных ВН с масляным уплотнением, а также перечень возможных неполадок и способы их обнаружения и устранения приведены в инструкциях заводов-изготовителей.

4. ВОДОКОЛЬЦЕВЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

После длительного перерыва в работе перед пуском необходимо произвести полный внешний осмотр насоса, проверить наличие и состояние ограждений, а также убедиться в правильности направления вращения электродвигателя.

Предварительно необходимо заполнить корпус насоса водой и вручную провернуть на один—два оборота ротор, чтобы быть уверенным в отсутствии заеданий или повреждений.

Пуск в ход следует производить в следующем порядке:

- а) закрыть (или убедиться в полном закрытии) задвижку на всасывающем трубопроводе;
- б) открыть вентиль для впуска воздуха в вакуум-насос;
- в) открыть вентиль на трубопроводе, подающем воду в сальники;
- г) пустить в ход электродвигатель;
- д) закрыть вентиль для впуска воздуха и проверить величину вакуума, создаваемого ВН без нагрузки;
- е) медленно открыть задвижку на всасывающем трубопроводе.

После того, как ВН начнет нормально работать, отрегулировать подачу воды в сальники соответственно режиму его работы, проверить работу сальников (которые нормально должны работать с небольшим пропуском воды — каплями или тонкой струей), а также следить за показаниями приборов.

При установившемся режиме работы легко можно проверить количество воды, подаваемой в насос, измеряя количество воды, вытекающей из сливной трубы водосборника. Одновременно следует отмечать показания мановакуумметра.

установленного на водоподающем трубопроводе, с тем чтобы в дальнейшем пользоваться его показаниями при регулировании подачи воды в насос.

Остановку ВН следует производить в следующем порядке:

- а) закрыть задвижку на всасывающем трубопроводе;
- б) открыть вентиль для выпуска воздуха в ВН;
- в) закрыть вентиль на трубопроводе для подачи воды в сальники;
- г) остановить электродвигатель.

При остановке ВН на длительное время следует выпустить из него воду (из цилиндра, лобовин и водосборника) через спускные пробки.

В случаях применения других рабочих жидкостей в ВН или при отсасывании последним каких-либо сред с особыми свойствами последовательность операций при пуске и остановке в основном сохраняется (однако инструкции по эксплуатации таких установок разрабатываются с учетом всех необходимых специфических условий их работы).

Обслуживание вакуум-насоса заключается:

а) в периодическом поджатии сальников, и если поджатие не дает положительного результата, в замене сальниковой набивки; сальники не следует сильно затягивать; при рабочей жидкости — воде обычно для сальников применяется квадратная хлопчатобумажная просаленная набивка (ХБП по ГОСТ 69—67), устанавливаемая в виде отдельных колец, которые перед установкой следует сверху прографитить; при применении в качестве рабочей жидкости сред, существенно отличающихся от воды, выбор сальниковой набивки и условий эксплуатации сальников должен быть решен с учетом этих условий;

б) в наблюдении за работой и смазкой подшипников, температура которых при нормальных условиях может на 15—20 град превышать температуру окружающей среды, но не должна быть выше 55—60° С; для смазки шарико-роликоподшипников применяется смазка универсальная С (пресс-солидол) (ГОСТ 4366—64); при нормальной работе подшипников, что в первую очередь определяется по шуму и нагреву их, набивка смазкой их должна производиться через каждые 2000 ч их работы, причем через каждые 6000 ч необходимо производить полную смену смазки с одновременной промывкой и осмотром подшипников;

в) в наблюдении за состоянием трубопроводов ВН и особенно за его арматурой: задвижкой и обратным клапаном на всасывающем трубопроводе; воздухопускным вентилем и вентилем на трубопроводе для подачи воды в сальники; наибольшее внимание следует уделить соединениям и сальникам арматуры;

г) в наблюдении за контрольно-измерительными приборами ВН (обычно вакуумметром на всасывающем трубопроводе и мановакуумметром на трубопроводе для подачи воды в сальники); следует периодически проверять их, соединяя с атмосферой; при этом стрелки приборов должны устанавливаться на нулевом делении шкалы;

д) в наблюдении за общим состоянием ВН, включая его привод и ограждения.

Водокольцевые ВН при работе в условиях предельного вакуума издают треск, вызываемый физическими процессами, происходящими внутри насосов, без повышения расхода энергии. Если же треск в насосе сопровождается повышением расхода энергии, то это указывает на повреждение насоса, который в этом случае должен быть немедленно остановлен.

Набивка в сальниках ВН заменяется через 500—600 ч его работы.

Частичная разборка насоса для его ревизии производится через 3000—4000 ч. Полная разборка обычно производится не чаще одного раза в год и совмещается с остановкой цеха.

При попадании в ВН твердых частиц со всасываемой средой нужно регулярно спускать воду из цилиндра и лобовин и заменять воду до тех пор, пока из них будет вытекать вполне чистая вода.

Разборка ВН производится неполная для ревизии и чистки и полная для ремонта и замены деталей. До разборки насос полностью освобождается от воды через спускные пробки, а также принимаются меры, предотвращающие возможность пуска его электродвигателя. Должна быть снята труба (колено),

соединяющая выхлопной штуцер насоса с водосборником, а также трубопровод, подводящий воду в сальники, с мановакуумметром.

При разборке все прокладки должны быть аккуратно сняты и в случае повреждения заменены при сборке новыми такой же толщины.

Порядок и приемы разборки и сборки водокольцевых ВН содержатся в инструкциях заводов-изготовителей.

5. ПАРЭЖЕКТОРНЫЕ И ВОДОСТРУЙНЫЕ ВАКУУМ-НАСОСЫ

Проверяют обеспеченность установки рабочим паром, охлаждающей или рабочей водой с тем, чтобы их давление и температура соответствовали нормальным условиям эксплуатации {давление пара в коллекторе должно быть на $0,1-1,0$ кгс/см² больше расчетного; давление рабочей воды на $10-15\%$ более расчетного; избыточное давление охлаждающей воды - не менее $0,5$ кгс/см² ($49,03$ кн/м²) у входа в конденсаторы, и температура ее не должна быть выше расчетной}; затем приступают к пуску насоса.

Операции по пуску зависят от схемы вакуум-насоса, его размещения (в помещении или на открытом воздухе) и присоединения к технологической установке.

Приведенные далее содержание и последовательность операций по пуску подлежат уточнению для каждой конкретной установки.

Основное правило пуска любого ПЭВН - сначала подается охлаждающая вода в конденсаторы, и только после этого - рабочий пар в эжекторы.

Пуск ПЭВН небольшой и средней мощности (см. рис. 30) производится следующим образом:

а) проверяют положение запорной арматуры между технологической аппаратурой и ПЭВН и устанавливают ее в положение, соответствующее пуску;

б) открывают запорную арматуру на общем трубопроводе охлаждающей воды, после чего открывают вентили для подачи воды в отдельные конденсаторы (если они не были ранее отрегулированы и оставлены открытыми);

в) после того, как охлаждающая вода начала нормально протекать через конденсаторы, подают рабочий пар в эжекторы, предварительно производя прогрев и продувку паропровода от магистрали до водоотделителя. Пар в эжекторы подается путем медленного открытия вентиля;

г) наблюдают за созданием вакуума перед ПЭВН, температурой воды, выходящей из конденсаторов, и давлением рабочего пара; вакуум должен достигать нормальной величины в течение $10-30$ мин; в это время эжекторы издают более сильный шум, чем при нормальных условиях;

д) по мере достижения в установке нормального вакуума и пуска в работу технологических аппаратов корректируют подачу охлаждающей воды в отдельные конденсаторы, с тем чтобы температура воды, выходящей из их труб, соответствовала указаниям инструкции по эксплуатации данного ПЭВН.

При стабильном режиме работы ПЭВН запорно-регулирующие вентили на трубопроводах для подачи охлаждающей воды в отдельные конденсаторы регулируют и оставляют их в отрегулированном положении, с тем чтобы в дальнейшем подачу и прекращение подачи охлаждающей воды в эти конденсаторы производились задвижкой на общем трубопроводе.

Пуск ПЭВН большой производительности (без пускового эжектора) осуществляется следующим образом:

а) проверяют положение запорной задвижки между ПЭВН и технологической аппаратурой и устанавливают ее в положение, соответствующее пуску;

б) открывают задвижку на общем трубопроводе охлаждающей воды; после этого открывают запорно-регулирующие вентили на трубопроводах охлаждающей воды в отдельные конденсаторы, кроме конденсатора I ступени (если эти вентили не были ранее отрегулированы и оставлены в отрегулированном состоянии);

в) после установления нормального потока воды через конденсаторы (кроме первого) производят прогрев с одновременной продувкой паропровода рабо-

чего пара от магистрали до водоотделителя или коллектора и затем подают рабочий пар в эжекторы ПЭВН, включенные после конденсатора I ступени, путем медленного, но полного открытия вентиля;

г) наблюдают за постепенным нарастанием вакуума в конденсаторе I ступени, температурой воды, выходящей из конденсаторов, и давлением рабочего пара; вакуум нарастает постепенно, в продолжении некоторого времени, пока не достигнет нормального значения;

д) подают охлаждающую воду через конденсатор I ступени;

е) убедившись в нормальном проточе воды через конденсатор I ступени, подают рабочий пар в эжекторы, включенные перед этим конденсатором;

ж) по мере достижения в установке нормального вакуума и пуска технологических аппаратов корректируют подачу охлаждающей воды в конденсаторы с тем, чтобы температура воды, выходящей из конденсаторов, соответствовала инструкции по эксплуатации данного ПЭВН.

При устойчиво неизменном режиме работы ПЭВН запорно-регулирующие вентили на трубопроводах охлаждающей воды в отдельные конденсаторы регулируют на нормальное количество воды и оставляют их постоянно открытыми в отрегулированном положении, с тем чтобы подача и прекращение подачи охлаждающей воды в эти конденсаторы производились при помощи задвижки на общем трубопроводе. В случаях нежелательности одновременной подачи воды во все конденсаторы ПЭВН на трубопроводе к конденсатору I ступени устанавливают арматуру двух типов: запорную (обычно задвижку) и регулирующую.

Пуск ПЭВН с пусковым эжектором осуществляется следующим образом. Одновременно с пуском основных эжекторов ПЭВН включается в работу пусковой эжектор, работающий до снижения давления в системе до 100—150 мм рт. ст. (13,3—20 кН/м²); после этого он отключается сначала от всасывающего трубопровода и затем от рабочего пара. Все остальные операции по пуску осуществляются таким же образом как для ПЭВН без пускового эжектора.

Во время работы ПЭВН необходимо регулярно, в соответствии с инструкцией по эксплуатации, следить за показаниями контрольно-измерительных приборов: за вакуумом перед ПЭВН, в конденсаторе I ступени и в конденсаторе II ступени; за давлением рабочего пара; температурой охлаждающей воды перед конденсаторами и температурой воды, выходящей из каждого конденсатора.

При этом принимают необходимые меры по поддержанию нормальных условий работы.

Условия работы ПЭВН могут быть внезапно и резко нарушены по следующим причинам:

а) значительное снижение давления или прекращение поступления рабочего пара;

б) уменьшение или полное прекращение поступления охлаждающей воды в конденсаторы;

в) катастрофическое (чрезмерное) повышение нагрузки ПЭВН за счет нарушения герметичности установки, приводящее к срыву работы ПЭВН.

Если при работе ПЭВН имеют место указанные нарушения, необходимо принимать меры, характер, последовательность и срочность которых должны предотвращать возможность аварии установки и учитываться в инструкции по эксплуатации ПЭВН.

Остановка ПЭВН производится после соответствующей подготовки к остановке технологической аппаратуры, присоединенной к ПЭВН.

Основное правило остановки любого ПЭВН — сначала прекращается подача рабочего пара в эжекторы, и только после этого прекращается подача охлаждающей воды в конденсаторы.

При остановке ПЭВН:

а) запорная арматура между технологической аппаратурой и ПЭВН устанавливается в положение, соответствующее остановке;

б) прекращается подача рабочего пара в эжекторы и охлаждающей воды в конденсаторы в порядке, устанавливаемом инструкцией по эксплуатации ПЭВН.

При размещении ПЭВН (полностью или частично) вне помещения, при минусовых температурах воздуха, необходимо принять меры по предотвращению замерзания элементов ПЭВН и трубопроводов. Для этого при остановке из трубопроводов рабочего пара и охлаждающей воды, обычно покрытых теплоизоляцией, должны быть удалены конденсат и вода путем спуска их через дренажи, расположенные в помещении.

Пуск и остановка водоструйных ВН (эжекторов) в основном очень просты, так как заключаются в пуске рабочей воды в эжектор и в прекращении подачи ее. Что же касается операций по присоединению и отсоединению технологической аппаратуры, то в принципе они аналогичны вышеописанным.

Обслуживание рассматриваемых насосов очень простое. Пароэжекторные и водоструйные ВН, не имеющие движущихся частей, при правильном изготовлении и монтаже, а также нормальных условиях эксплуатации практически в продолжении длительных периодов времени могут нормально работать без какого либо обслуживания.

В таких условиях ревизия этих ВН, проводимая обычно не чаще одного раза в год в период ежегодной остановки на ремонт обслуживаемой технологической аппаратуры, позволяет своевременно выявить и устранить дефекты.

При наличии вибрации в установке требуется периодическая подтяжка разъемных соединений во избежание недопустимого ослабления их.

Некоторого обслуживания требует запорная и регулирующая арматура, установленная на трубопроводах ВН. Это выражается в основном в подтягивании и перебивке сальников, а также в своевременном добавлении запорной жидкости в их гидрозатворы. Плановая ревизия запорной и регулирующей арматуры обычно проводится один раз в год, одновременно с ревизией ВН. При этом выполняется необходимый ремонт арматуры, заключающийся в основном в доведении ее плотности до нормы.

Разборка и сборка пароэжекторных и водоструйных ВН производится редко, только при наличии явных дефектов или повреждений внутри диффузора или в приемной камере, а также при обоснованной необходимости их полного осмотра по иным причинам.

Обычно при ревизии эжектора демонтируют паровое сопло (или блок сопел), благодаря чему оказывается возможным осмотреть паровое сопло, приемную камеру и диффузор.

Так как паровое сопло является наиболее уязвимым элементом эжектора в отношении износа или засорения, то указанного объема ревизии бывает достаточно, чтобы судить о состоянии эжектора в целом. Такая ревизия часто может быть выполнена без демонтажа всего эжектора. При необходимости полной разборки эжектора почти всегда обязателен его демонтаж.

При разборке эжектора наиболее сложными и ответственными операциями являются вынимание парового сопла из гнезда в приемной камере и отсоединение от приемной камеры диффузора, особенно, когда он присоединен на резьбе.

Обязательным условием вынимания сопел является предохранение их от каких-либо повреждений, которые в дальнейшем могут ухудшить работу эжекторов.

Рассмотрим неполадки в работе, их причины и устранение.

Нормальным состоянием ВН при эксплуатации следует считать такое, при котором:

а) работа насоса обеспечивает создание и поддержание вакуума, необходимого для технологического процесса;

б) отсутствуют ненормальные колебания вакуума в установке;

в) отсутствуют удары, чрезмерная вибрация, ненормальный шум и т. п.

Причиной ненормальных условий работы ВН являются различные неполадки, которые необходимо обнаружить и устранить.

Когда возникает сомнения в исправности струйного ВН, целесообразна его проверка при нулевой производительности (на холостом ходу). Для этого заглушают или надежно отключают всасывающий трубопровод ВН. Если при этом развиваемое им абсолютное давление будет составлять 40—50% от давле-

ния при нормальной нагрузке, то можно полагать, что ВН исправен и неполадки нужно искать в других частях установки.

Для быстрого установления причин неполадок в многоступенчатых ПЭВН следует в первую очередь проверить давление во всасывающем трубопроводе и в отдельных конденсаторах и соответствие этих давлений нормальным условиям.

6. КОНДЕНСАТОРЫ СМЕШЕНИЯ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Пуск и остановка конденсаторов очень просты. Для ПЭВН, в состав которых конденсаторы входят в качестве неотделимых элементов, пуск и остановка конденсаторов связаны с пуском и остановкой ПЭВН.

Для установок с ВН других типов, в которых конденсаторы включены перед ВН, имеется основное правило, согласно которому пуск охлаждающей воды через конденсатор является обязательным предварительным условием пуска ВН.

При остановке сначала останавливают ВН и только затем останавливают конденсатор путем прекращения пропуска через него охлаждающей воды. Пуск и остановка воздушных конденсаторов непосредственно связаны с пуском и остановкой вентиляторов, обеспечивающих через них проток охлаждающего воздуха.

Обслуживание конденсаторов во время работы состоит в надзоре за их состоянием и в контроле их работы по приборам (давление — вакуум, температура охлаждающей среды перед конденсатором и после выхода из него). Кроме того, регулируют проток охлаждающих сред через конденсаторы. В настоящее время контроль и регулирование конденсаторов нередко выполняются автоматическими приборами и регуляторами.

Разборку и сборку конденсаторов смешения, как правило, производят при их вертикальном положении. Разборка конденсаторов обычно связана с обнаружением в них каких-либо ненормальностей или с выполнением ревизии их в соответствии с графиком планово-предупредительного ремонта (ППР). С конденсатора снимают крышку, удаляют водоподающую трубу (когда она входит внутрь конденсатора и мешает разборке), а также полки-тарелки и другие внутренние элементы. После чистки, осмотра и ремонта производят сборку в обратном порядке. Особое внимание при сборке уделяется правильной и надежной установке элементов водораспределения, так как от этого в значительной степени зависит работа конденсатора. Важно обеспечить правильное положение полок или тарелок, с тем чтобы их водосливы были строго горизонтальны, так как иначе при работе неизбежны гидравлические перекосы и ухудшение теплообмена.

Разборку и сборку поверхностных конденсаторов производят, как правило, в их рабочем положении. Ремонт вертикальных конденсаторов обычно производится при горизонтальном положении.

Разборка поверхностных конденсаторов вызывается в основном теми же причинами, что и разборка конденсаторов смешения. Кроме чистки, осмотра и ремонта, обязательным элементом каждой ревизии является проверка внутренней плотности конденсатора.

Основными причинами возникновения неполадок в работе конденсаторов являются:

- а) загрязнение различными отложениями элементов для распределения и протока охлаждающей воды внутри конденсаторов и их трубопроводов;
- б) покрытие накипью поверхностей теплообмена и коррозия;
- в) нарушение плотности различных соединений.

Загрязнение элементов водораспределения особенно опасно для конденсаторов с линейными струями, так как массовое засорение отверстий в полках или в тарелках может значительно ухудшить их работу. Подобные загрязнения неизбежны при использовании недостаточно чистых вод прудов, озер и рек. Если на трубопроводах для подачи воды отсутствуют фильтры с сетками необходимой густоты.

Возможно также забивание отверстий в полках или в тарелках окалиной, сварочным графом и другими частицами при недостаточно тщательном освобождении трубопроводов от них по окончании монтажа.

Парогазовые смеси, поступающие в конденсаторы, содержат иногда пары веществ, превращающиеся в конденсаторах в полутвердые и даже твердые частицы, засоряющие элементы водораспределения. Наиболее часто такое явление имеет место при дезодорации твердых жиров и дистилляции жирных кислот. Для предотвращения таких загрязнений их пары улавливаются в специальном конденсаторе (см. рис. 40 и описание в IV главе), включаемом в трубопровод парогазовой смеси до ее поступления в конденсаторы для водяного пара; такие отложения удаляются также при периодических пропарках конденсаторов, при которых они плавятся и стекают в барометрические коробки или в другие приемники.

Более трудно бороться с отложениями накипи, образующейся при нагреве охлаждающей воды в конденсаторах до 30—60°С и даже выше, за счет распада бикарбонатов. Присутствие в парогазовой смеси аммиака способствует образованию твердых отложений.

Основным методом борьбы с накипобразованием в конденсаторах является обработка охлаждающей воды. Наиболее распространены и эффективны различные способы обработки или стабилизации воды в системах оборотного водоснабжения. Кроме того, в последние годы появился новый метод — метод магнитной обработки воды, состоящий в предварительном пропуске воды через сильное магнитное поле; этот метод нередко дает хорошие результаты и применим даже в условиях однократного проточного водопользования. Иногда также используется ультразвуковой метод, предотвращающий отложения накипи.

Особенно важно предотвращение накипобразования в поверхностных конденсаторах, в которых отложения накипи на поверхности труб значительно ухудшают работу. Учитывая это обстоятельство, необходимо создавать условия безнакипной эксплуатации конденсаторов или, по крайней мере, сводить до минимума появление накипи и облегчать ее удаление. Последнее вызывает необходимость пропуска охлаждающей воды через прямые трубы конденсаторов, а парогазовой смеси через межтрубное пространство (см. рис. 31 и 32), так как в этом случае значительно облегчаются условия удаления накипи с поверхности труб, а также возможен визуальный контроль за их состоянием.

В зависимости от условий эксплуатации конденсаторы подвергаются ревизии один раз в 1—4 года. Плотность их проверяют одновременно с проверкой всей ВУ от одного раза в месяц до одного раза в год.

7. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Оборудование, в котором могут накапливаться загрязнения (барометрические коробки, ловушки, ресиверы, фильтры и т. п.), требует периодической очистки, иногда с предварительной пропаркой.

Открытые емкости — барометрические коробки и промежуточные расходные баки для охлаждающей воды — должны ежегодно, обычно в период ремонта, после чистки, подвергаться тщательному осмотру с последующим выполнением необходимых ремонтных работ, обеспечивающих их нормальную работу по крайней мере до следующего остановочного ремонта.

Для закрытого оборудования — ловушек, ресиверов, фильтров и т. п. периодичность ревизии со вскрытием определяется конкретными условиями эксплуатации. Испытание их на плотность производится после каждого вскрытия, а также при эксплуатации — одновременно со всей установкой.

8. ТРУБОПРОВОДЫ

Все основные операции по включению трубопроводов в работу, а также по их выключению указаны в инструкции по пуску и остановке ВН или всей ВНУ. Вспомогательными операциями по включению трубопроводов являются:

а) прогрев трубопровода путем пропуска пара через него или применения специальных обогревающих устройств (трубопровода — спутника или рубашки);

б) продувка трубопровода с целью освобождения его от среды, обычно заполняющей его, паром, сжатым воздухом, инертным газом или какой-либо специальной средой.

Необходимость выполнения тех или иных операций с трубопроводами определяется условиями их эксплуатации и в соответствии с требованиями технологических процессов.

При эксплуатации трубопроводов обычно контролируют их состояние и своевременно устраняют замеченные дефекты. К числу последних можно отнести:

а) коррозионные повреждения труб, фасонных частей, арматуры и соединений;

б) механические повреждения трубопроводов и их опор;

в) неплотности в трубах, арматуре и соединениях;

г) негерметичность затворов запорной арматуры;

д) дефекты в обогревающих устройствах и в теплоизоляции трубопроводов.

Коррозионные повреждения проявляются в основном в виде неплотностей (главным образом в сварных швах) и в уменьшении толщины стенок.

Причины механических повреждений — воздействие вакуума и тепловые удлинения. Снятие труб атмосферным давлением случается редко и только с трубопроводами диаметром 300 мм и более, выполненными из тонких листовых материалов.

Появление неплотностей наиболее распространенный вид неполадок трубопроводов, работающих под вакуумом, выявлению и устранению которых следует уделять повседневное внимание.

Неплотности, как правило, выявляются при испытании установки избыточным давлением воздуха или инертного газа, при котором значительные неплотности обнаруживаются по шуму (свисту), производимому выходящим воздухом или газом; остальные неплотности обнаруживаются при омыливании или при помощи галондных теческателей. При наличии внутри вакуумных трубопроводов вязких и особенно застывающих сред неплотности, пропускающие воздух в рабочем разогретом состоянии, при остановке и охлаждении уплотняются в такой степени, что их невозможно обнаружить. В таких случаях пневматическому испытанию должна предшествовать тщательная пропарка трубопроводов.

Источником неплотностей нередко являются сальники трубопроводной арматуры. Шпиндели сальниковой арматуры должны быть, по крайней мере в пределах сальников, точно цилиндрическими, без рисок и вмятин, хромированы или никелированы с полировкой. Набивка должна соответствовать среде и размеру сальника.

Фланцевые и прочие разъемные соединения трубопроводов и арматуры являются местами возможных неплотностей. При изменениях температуры и механических напряжений упомянутые соединения постепенно могут ослабляться, и по этой причине необходима их периодическая подтяжка. Особенно быстро может происходить ослабление соединений в условиях вибрации.

Отсутствие непосредственных признаков неплотностей, появляющихся в соединениях вакуумных трубопроводов, требует повышенного внимания к их уплотнению. При замене прокладок зачистка уплотнительных поверхностей фланцевых соединений должна быть выполнена очень тщательно, а качество устанавливаемых прокладок должно быть безукоризненным. Перед установкой поверхность прокладки следует тщательно натирать сухим графитом.

9. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Для обеспечения сохранности и работоспособности контрольно-измерительных приборов нужно соблюдать следующие условия:

а) не допускать толчков или ударов при выполнении ремонтных или других работ;

б) не подвергать приборы, измеряющие давление ниже атмосферного (вакуумметры, манометры для абсолютного давления и т. п.), действию избыточного давления при испытаниях, а также не ставить манометры для избыточного давления под вакуум;

в) избегать использования приборов для измерений, выходящих за пределы их шкал;

г) следить, чтобы приборы не подвергались воздействию недопустимой вибрации;

д) предохранять приборы от действия влаги и чрезмерной температуры.

Необходимо следить за правильностью показаний приборов и работы средств автоматизации; о замеченных неполадках ставить в известность соответствующих работников.

Местные рабочие приборы — технические манометры, мановакуумметры и вакуумметры — должны регулярно проверяться путем установки их на нуль. Все действующие приборы установки должны иметь не просроченные пломбы или клейма.

10. МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ И ПОДДЕРЖАНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВАКУУМ-УСТАНОВОК

Плотность (герметичность) является одним из основных условий нормальной работы ВУ, которая редко бывает стабильной и в процессе работы обычно ухудшается. Чтобы своевременно знать о состоянии герметичности ВУ и принимать меры к устранению выявившихся недостатков, необходимо регулярно ее проверять. Такие же проверки необходимы при возникновении обоснованных сомнений в плотности.

Всякая ВУ по окончании монтажа и обычных испытаний на прочность и плотность [17, 18] должна комплексно (т. е. оборудование вместе с трубопроводами) подвергнуться дополнительному пневматическому испытанию на плотность с определением изменения давления за время испытания. Испытания проводятся воздухом или инертным газом и могут начаться только после выравнивания температур внутри установки.

Начальное испытательное избыточное давление обычно принимается в пределах около $0,2\text{--}1,5 \text{ кгс/см}^2$ ($\sim 20\text{--}150 \text{ кН/м}^2$).

Длительность испытания τ колеблется в пределах от 8 до 24 ч в зависимости от общего объема установки, размеров и протяженности ее трубопроводов и требований к герметичности.

Изменение давления за время испытания определяется по формуле:

$$\Delta P = 100 \cdot \left(1 - \frac{P_k T_n}{P_n T_k}\right) \%, \quad (16)$$

где ΔP — изменение давления в процентах от начального давления;

P_n и P_k — абсолютное давление в начале и в конце испытания;

T_n и T_k — абсолютная температура в начале и в конце испытания.

Давления и температуры определяют как средние арифметические показания всех установленных манометров и термометров.

Ориентировочные изменения давления за 1 ч испытания, т. е. $\frac{\Delta P}{\tau} \%$, могут быть следующими:

при глубоком вакууме [давление не более 35 мм рт. ст. ($4,7 \text{ кН/м}^2$)]	0,2;
при давлении от 35 до 150 мм рт. ст. (от 4,7 до 20 кН/м^2)	0,4;
при давлении, превышающем 150 мм рт. ст. (20 кН/м^2)	0,6.

Пневматическое испытание ВУ избыточным давлением в период их эксплуатации является трудной задачей, так как при этом требуется выполнить ряд операций: отглушивание ряда участков ВУ, присоединение к ВУ источника избыточного давления, отсоединение всех вакуумметров. Кроме того, при обработке в ВУ застывающих или вязких сред места неплотностей при охлаждении уплотняются

этими средами и не всегда могут быть обнаружены. Последнее вынуждает прибегать к длительным и тщательным пропаркам ВУ перед испытаниями.

По изложенным причинам наиболее простым, быстрым и эффективным способом определения плотности ВУ в условиях эксплуатации является испытание ВУ под вакуумом на повышенные давления (на натекание).

Испытание производится при нормальном вакууме в ВУ или близком к нему, причем для создания вакуума обычно используются ВН, присоединенные к ВУ. После достижения необходимого вакуума в испытываемой системе ее надежно отключают во избежание попадания в нее атмосферного воздуха.

При эксплуатационных проверках плотности обычно отключение производят запорной арматурой, которая не должна вызывать сомнений в ее плотности. В иных условиях, а также при испытаниях по окончании монтажа, реконструкции или капитального ремонта отключение следует производить заглушками. Барометрические трубы конденсаторов и аппаратов обычно не отключают заглушками, так как они надежно предохранены от попадания атмосферного воздуха своими гидравлическими затворами.

При испытании к ВУ должны быть подключены достаточно точные приборы для измерения вакуума (абсолютного давления) и по возможности термометры.

Состояние плотности ВУ определяют по повышению давления ΔP в ней за время испытания по формуле

$$\Delta P = P_k \frac{T_n}{T_k} - P_n \text{ мм рт. ст. (кн/м}^2\text{)}, \quad (17)$$

где ΔP — повышение давления за время испытания.

Длительность испытания принимается от 8 до 24 ч, обычно пропорционально общему объему аппаратов и трубопроводов испытываемой ВУ.

Ориентировочные повышения давления при испытании за 1 ч, т. е. $\frac{\Delta P}{\tau}$ могут быть следующими:

а) при рабочем давлении не более 35 мм рт. ст. (4,7 кн/м²) — от 1,0 до 1,5 мм рт. ст./ч [от 0,133 до 0,20 кн/м² · ч];

б) при рабочем давлении от 35 до 150 мм рт. ст. [от 4,7 до 20 кн/м²] — от 1,5 до 3,0 мм рт. ст./ч [от 0,2 до 0,4 кн/м² · ч];

в) при рабочем давлении более 150 мм рт. ст. [20 кн/м²] — от 3 до 5 мм рт. ст./ч [от 0,4 до 0,67 кн/м² · ч].

Если при испытании плотность окажется достаточной, то установка сейчас же может продолжать работу. Если же выявится значительное нарушение плотности, то в этом случае необходимо найти места неплотностей и устранить их. При работе установки под вакуумом, особенно при значительной поверхности аппаратов и трубопроводов, сделать это можно следующим способом. К выхлопному патрубку ВН присоединяют датчик галонидного теческателя и производят обдувание мест возможных неплотностей газом, содержащим галониды. При попадании газа к месту неплотности он вместе с воздухом проникает внутрь системы и далее через ВН попадает в датчик теческателя, подающего сигнал. Обязательными условиями использования этого способа являются отсутствие галонидов в содержимом системы и доступность всех мест, где возможны неплотности.

Если же этот способ почему-либо неприемлем, то установку испытывают давлением воздуха или нейтрального газа [17].

После установления места и характера неплотности принимают меры к ее ликвидации, обычно носящие ремонтный характер. Неплотности в разъемных соединениях и в сальниках, как правило, устраняются быстро. Однако для устранения таких неплотностей, как например трещины в сварном шве аппарата, иногда может потребоваться много времени, что связано с длительным простоем установки.

В условиях эксплуатации, несмотря на наличие неплотности, бывает необходимо продолжать работу установки. В таких случаях производители прибегают к временным мерам для прекращения подсосов через обнаруженные неплот-

ности путем временной заделки, используя различные замазки-уплотнители (тицелин, замазку Менделеева, мыло, битум и т. п.), с обязательным соблюдением полной безопасности таких мер.

11. УСЛОВИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ НАДЕЖНУЮ И ЭКОНОМИЧНУЮ РАБОТУ ВАКУУМ-УСТАНОВОК

Надежность и экономичность производственных установок являются их главными эксплуатационными качествами. В основном они определяются соответствием используемого оборудования технологическим требованиям и условиям эксплуатации.

В настоящее время в промышленности проявляется тенденция к созданию технологических ВУ, оснащенных индивидуальными ВН. Это делает установки компактными, с короткими вакуумными трубопроводами, независимыми от действия других установок и достаточно экономичными. Естественно, что к индивидуальным ВН предъявляются повышенные требования в отношении надежности. Их производительность должна быть несколько выше, чем необходимо для обеспечения нормальной работы обслуживаемых установок, чтобы располагать резервом в случае отклонений от режима.

Экономичность работы установки в значительной степени зависит (при прочих равных условиях) от эксплуатационных расходов:

- 1) обслуживание и ремонт;
- 2) стоимость энергии (электроэнергии, пара) и воды;
- 3) амортизационные отчисления.

1. Обслуживание и ремонт в основном зависят от типа ВН и условий его эксплуатации. Струйные ВН по этой статье расходов, как правило, требуют минимальных затрат.

2. Для привода всех современных объемных ВН используются электродвигатели. Водоструйные ВН также следует считать потребителями электроэнергии, поскольку подача воды в них производится насосами с электроприводом.

Удельное потребление электроэнергии на создание вакуума зависит от типа и производительности ВН, от рабочего давления всасывания и ряда других факторов. Обобщенные сравнительные данные по этому вопросу пока отсутствуют.

В ПЭВН начальное давление рабочего пара влияет на его удельный расход. С повышением давления пара удельный расход снижается. С уменьшением расхода рабочего пара снижается также расход охлаждающей воды, но в меньшей степени.

Существенное значение для надежности и экономичности работы ПЭВН имеет стабильность давления рабочего пара. При неизменной производительности ПЭВН с понижением давления рабочего пара снижастся его расход с одновременным уменьшением перепада давлений за счет повышения давления всасывания. Значительное снижение давления пара (более 10%) может привести даже к срыву вакуума. Повышение давления пара, наоборот, увеличивает расход рабочего пара и развиваемый перепад давления.

Колебания давления рабочего пара, особенно частые и значительные, крайне нежелательное явление при эксплуатации ПЭВН.

Стоимость охлаждающей воды среди эксплуатационных расходов ВУ занимает далеко не последнее место. Это особенно ощутимо при эксплуатации установок с большим количеством паров, отсасываемых из технологической аппаратуры (например, выпарные, сушильные, дезодорационные и другие аппараты).

Подсосы воздуха являются неизбежным злом при эксплуатации ВУ, когда их величина не превышает определенных норм, обычно учитываемых расчетом. Они становятся нетерпимым явлением при значительном превышении этих норм в результате ухудшения плотности установок.

Увеличение содержания воздуха в отсасываемой парогазовой смеси вызывает ряд отрицательных последствий:

а) загроужаются ВН и конденсаторы, что приводит к излишнему расходу энергии;

б) ухудшается вакуум и, следовательно, технологический режим установки;
в) ухудшается работа конденсаторов, что приводит к излишнему расходу охлаждающей воды.

Борьба с подсосами воздуха или, что то же самое, с неплотностями имеет очень важное значение для обеспечения нормальной и экономичной работы ВУ.

Для установок для дезодорации жиров и дистилляции жирных кислот, работающих при глубоком вакууме, важное значение имеет обеспечение нормального режима в отношении количества барботирующего пара, вводимого внутрь и составляющего основную часть (85—95%) отсасываемой парогазовой смеси.

Различные причины (недостаточная температура в аппарате, неэффективная система барботажа и т. п.) нередко осложняют и ухудшают работу рассматриваемых установок. Это иногда пытаются компенсировать чрезмерным увеличением количества барботирующего пара; компенсируя в некоторой степени упомянутые недостатки, это одновременно вызывает значительную загрузку ВН и повышение давления в аппаратах. В конечном итоге снижается экономичность установок.

12. ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Безопасность современных производственных установок неразрывно связана с технологией и организацией их эксплуатации.

Уровень технологии, состав оборудования и его размещение, трубопроводы, средства контроля и автоматизация должны быть выбраны и выполнены с учетом и обеспечением всех условий для высокопроизводительного и безопасного труда. Большое значение для бесперебойной и безопасной эксплуатации современных ВУ, являющихся комплексами сложных технологических аппаратов, машин, трубопроводов, электрооборудования, приборов, имеет квалифицированное техническое обслуживание и хорошо организованный планово-предупредительный ремонт.

Аппараты и трубопроводы, работающие под вакуумом, как правило, являются значительно менее опасными по сравнению с аппаратами, работающими под избыточным давлением. Тем не менее и при обслуживании ВУ необходимо выполнение ряда условий, повышающих безопасность работающих.

Общие вопросы техники безопасности излагаются в специальных руководствах [28]. В данном разделе рассмотрены отдельные вопросы, тесно связанные с работой ВУ.

1. Шум, вредное действие которого общеизвестно. Источниками шума иногда могут быть некоторые элементы ВУ. Это прежде всего места выхлопа из ВН при большой скорости (более 30 м/сек) парогазовой смеси. Для устранения шума необходимо уменьшить скорость смеси или установить шумоглушители.

Иногда резкий и неприятный шум производят редуцирующие устройства на паропроводах рабочего пара к ПЭВН. Характер мер для снижения этого шума зависит от конкретных условий.

2. Вибрация и сотрясения при большой интенсивности и продолжительности вредно влияют на организм человека. Кроме того, они нередко разрушительно действуют на оборудование и трубопроводы установок.

Явления вибрации и сотрясений возникают по ряду причин: неправильная балансировка или центровка ВН; недостаточная виброизоляция оснований ВН (особенно поршневых); пульсация потоков в трубопроводах и др.

Мероприятия по борьбе с вибрациями и сотрясениями (если они не были предусмотрены проектом или не выполнены при строительстве и монтаже) обычно заключаются в ликвидации их источников или в их локализации и во многом зависят от конкретных условий.

3. Взрывы аппаратов и трубопроводов, работающих под вакуумом, возможны при:

а) вводе в них острого пара для барботажа находящихся там жидкостей или для пропарки;

б) высокотемпературном обогреве аппаратов с водными растворами или с другими жидкостями с высокой упругостью паров;

в) подаче в закрытый аппарат, содержащий воду, продуктов, температура которых превышает 110°C ;

г) попадании (аварийном) воздуха внутрь разогретых дистилляционных аппаратов для жирных кислот.

В первых трех случаях опасность взрыва возникает при прекращении отвода из них паров и возрастании давления до опасных пределов.

Попадание воздуха в дистилляционные аппараты, заполненные парами жирных кислот при температурах выше 150°C , может привести к их взрыву и к тяжелым последствиям.

Установка предохранительных клапанов на аппаратах, работающих под вакуумом (особенно глубоком), нежелательна из-за недостаточной плотности их (а значит возможности подсосов через них воздуха) и недостаточного их быстрого действия.

По этим причинам на вакуум-аппаратах устанавливают взрывные мембраны, разрывающиеся при повышении давления в них не более чем на 25% по сравнению с допустимым — расчетным.

Взрывные мембраны обладают следующими преимуществами по сравнению с предохранительными клапанами:

а) чрезвычайная быстрота разрыва (действия) может достигать 0,002 сек;

б) конструкция предотвращает подсосы воздуха в аппараты, находящиеся нормально под вакуумом;

в) мембраны могут иметь любую рабочую площадь поперечного сечения, позволяющую при минимальном перепаде давлений быстро отводить из аварийных аппаратов большие объемы газов или паров;

г) возможность любого пространственного расположения в зависимости от требований;

д) невозможность произвольного изменения обслуживающим персоналом давления, при котором происходит разрыв мембраны;

е) большая степень надежности из-за чрезвычайной простоты устройства.

При небольших давлениях (до $0,5 \text{ кгс/см}^2$) мембраны можно выполнять из мягкой жести (толщиной до 0,5 мм) или из листового алюминия (толщиной до 1 мм) с крестообразными надрезами с наружной стороны, углубленными не менее, чем на половину толщины мембраны.

Мембраны из бумаги (кальки или промасленного ватмана) или фольги (алюминиевой) применяют при давлениях до $0,1 \text{ кгс/см}^2$.

Взрывные предохранительные мембраны необходимого размера устанавливают на штуцерах аппаратов или трубопроводов. Во избежание повреждения мембраны атмосферным давлением (при вакууме внутри) она опирается на решетку, предотвращающую ее прогиб внутрь штуцера. Во избежание несчастных случаев при разрывах мембраны газы, выбрасываемые через них, следует отводить по трубопроводам соответствующих размеров в безопасные места.

4. Электробезопасность при эксплуатации ВКУ имеет большое значение, так как весь обслуживающий персонал в той или иной степени соприкасается с электроустановками как силовыми, так и осветительными.

Для безопасной эксплуатации этих установок применяются:

а) механические ограждения всех оголенных частей электрооборудования, находящихся под напряжением;

б) изоляция электропроводов и установок в соответствии с напряжением и условиями эксплуатации;

в) защитное заземление металлических частей электрооборудования (электродвигателей, пускателей, щитов и т. п.), которые случайно могут оказаться под напряжением;

г) переносные светильники и электрофицированный инструмент на безопасное напряжение (12 в в особо сырых помещениях и при производстве работ внутри металлических аппаратов и резервуарах и 36 в в сырых помещениях);

д) различные индивидуальные защитные средства (перчатки, галоши, коврики и т. п.).

5. Подготовка к проведению ремонтно-монтажных работ в действующих производствах должна выполняться в установленном порядке.

Персонал цеха, обслуживающий аппараты и оборудование с трубопроводами, обязан соответственно подготовить их к ремонту. Давление в них доводят до атмосферного, полностью удаляют из них технологические среды и охлаждают. Передаваемые в ремонт установки надежно отключают от действующих путем установки заглушек между фланцами. Производят необходимые операции по нейтрализации, дегазации, промывке, пропарке или продувке в продолжение времени, необходимого (или установленного) для полного удаления из аппаратов и трубопроводов опасных веществ (в этом убеждаются на основании результатов химических или иных анализов). Особо тщательно должна производиться подготовка к ремонту аппаратов и трубопроводов в огне и взрывоопасных производствах.

Оборудование и арматуру с электроприводами надежно отключают от источников питания электроэнергией, пусковые устройства пломбируют и на них вешивают плакаты с надписью «Не включать, аппарат ремонтируется».

По окончании подготовки руководитель ремонтных работ (механик, мастер или бригадир) обязан получить письменное разрешение-наряд от начальника цеха, в котором указываются установки, подлежащие ремонту, работы, подлежащие выполнению, сроки выполнения, а также меры безопасности.

Если при выполнении ремонтных работ требуется производить электро-газосварочные работы, на них нужно получить специальное разрешение — допуск в соответствии с установленным порядком на предприятии.

Глава VII

РАСЧЕТ И ВЫБОР ВАКУУМ-НАСОСНЫХ УСТАНОВОК И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

При создании новой или реконструкции существующей ВУ возникает необходимость в решении многочисленных и разнообразных вопросов: выбор вакуум-насоса и принципиальной схемы вакуум-установки; расчет и выбор основного и вспомогательного оборудования; выбор системы охлаждения; расчет и выбор трубопроводов; компоновка оборудования.

Эти решения и расчеты могут быть правильно выполнены только на основании точных и полных исходных данных:

- а) назначение и характер вакуум-установки;
- б) состав, свойства и параметры отсасываемой среды;
- в) величина давления (вакуума) в установке;
- г) производительность (массовая или объемная) по отсасываемой среде из обслуживаемой технологической установки;
- д) условия обеспечения вакуум-насосов энергией и ее параметры;
- е) условия охлаждения конденсаторов и вакуум-насосов;
- ж) условия размещения установки и прочее.

При реконструкции ВНУ нужно иметь данные о необходимых изменениях.

Назначение и характер вакуум-установки

Назначение и характер вакуум-установок определяются технологическими условиями:

- 1) технологическое назначение (для какого технологического процесса и в какой аппаратуре требуется создать вакуум);
- 2) индивидуальное и групповое обеспечение вакуумом технологических установок;

3) режим работы: непрерывный, периодический или эпизодический; сроки, продолжительность и характер остановок;

4) продолжительность работы установки в течение года.

Состав, свойства и параметры отсасываемой среды

Отсасываемая среда может быть:

- а) газом (или смесью различных газов, как например, воздух);
- б) паром (или смесью различных паров);
- в) парогазовой смесью (это имеет место в большинстве случаев).

Свойства отсасываемой среды зависят от свойств ее составных частей. Эти среды могут быть:

- а) сухими (без капельной влаги);
- б) влажными (с примесью капельных жидкостей);
- в) с примесью твердых частиц (с пылью);
- г) нейтральными;
- д) агрессивными (по отношению к конструктивным материалам);
- е) взрывоопасными, токсичными и т. п.

Параметрами отсасываемой среды, как и любой газообразной среды, являются:

а) давление абсолютное P ; б) температура абсолютная T ; в) удельный объем v .

Давление среды может быть от 760 до 1 мм рт. ст. (от 101,3 до 0,133 кН/м²) и менее, но всегда ниже атмосферного давления.

Когда указана величина вакуума в процентах (с отсчетом от атмосферного давления) и необходим перевод ее в эквивалентное абсолютное давление, могут быть использованы формулы:

$$p = 760 \left(1 - \frac{B}{100} \right) \text{ мм рт. ст.}; \quad (18)$$

$$p = 101,3 \left(1 - \frac{B}{100} \right) \text{ кН/м}^2, \quad (19)$$

где p — давление абсолютное в мм рт. ст. или в кН/м²;
 B — вакуум в %.

Пример 1. В аппарате вакуум $B=75\%$. Определить давление в аппарате p_a :

$$p_a = 760 \left(1 - \frac{B}{100} \right) = 760 \left(1 - \frac{75}{100} \right) = 190 \text{ мм рт. ст.}$$

Абсолютная температура измеряется по термодинамической температурной шкале в градусах Кельвина (°K). Однако до настоящего времени большинство измерений температур производится в градусах Цельсия. В этих случаях абсолютная температура может быть определена по формуле:

$$T = t + 273,15 \text{ } ^\circ\text{K}, \quad (20)$$

где t — температура в градусах Цельсия (°C).

Температура среды, обычно отсасываемой из аппаратов, может быть в пределах от -20°C до $+200^\circ\text{C}$, причем эти пределы могут расширяться с появлением в промышленности новых технологических ВУ, отличных от существующих.

Удельные объемы зависят от состава, давления и температуры сред.

Нередко задаются массой или массовыми долями составных частей отсасываемой среды, и в этих случаях требуется определить действительный объем составных частей, соответствующий рабочим параметрам.

Пример 2. ПЭВН отсасывает из дезодоратора (для жиров) парогазовую смесь, состоящую из 85% водяного пара, 10% воздуха и 5% паров различных погоннов при температуре смеси $t_n = 150^\circ \text{C}$ и давлении $p_n = 5 \text{ мм рт. ст.}$

Определить удельный объем смеси v_n при рабочих параметрах.

Решение. 1. Удельный объем смеси при нормальных условиях, т. е. при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 0°C .

$$v_0 = 22,4 \left(\frac{g_{в.п.}}{M_{в.п.}} + \frac{g_v}{M_v} + \frac{g_n}{M_n} \right) = 22,4 \left(\frac{0,85}{18} + \frac{0,10}{29} + \frac{0,05}{280} \right) = 1,139 \text{ м}^3/\text{кг},$$

где $g_{в.п.}$ — массовое содержание в смеси водяного пара; $g_{в.п.} = 0,85 \text{ кг/кг}$;

g_v — массовое содержание в смеси воздуха; $g_v = 0,10 \text{ кг/кг}$;

g_n — массовое содержание в смеси паров погоннов; $g_n = 0,05 \text{ кг/кг}$;

$M_{в.п.}$ — молекулярная масса водяного пара; $M_{в.п.} = 18,0$;

M_v — молекулярная масса воздуха; $M_v = 29,0$;

M_n — молекулярная масса погоннов; $M_n = 280$.

2. В соответствии с объединенным законом Бойля—Марриотта — Гей-Люссака удельный объем смеси

$$v_n = v_0 \cdot \frac{760}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T_0} = v_0 \cdot \frac{760}{p_n} \cdot \frac{273 + t}{273} = 1,139 \cdot \frac{760}{5} \cdot \frac{273 + 150}{273} = 268 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (22)$$

Иногда существенное значение имеет влажность отсасываемого воздуха. Абсолютная влажность воздуха (или газа) [7] (влагосодержание) d — это весовое количество водяных паров, содержащихся в 1 м^3 воздуха при данной температуре. Относительная влажность воздуха φ равна отношению абсолютной влажности к максимально возможному содержанию водяных паров в 1 м^3 воздуха при данной температуре, т. е.

$$\varphi = \frac{d}{d_n}. \quad (23)$$

Обычно относительную влажность воздуха выражают в процентах. В этом случае

$$\varphi = 100 \cdot \frac{d}{d_n} \%, \quad (24)$$

$$\text{или} \quad d = \frac{\varphi \cdot d_n}{100} \text{ кг/м}^3. \quad (25)$$

Максимальное содержание водяного пара в воздухе (или в любом газе) d_n равно массе 1 м^3 водяного пара при давлении насыщения его, соответствующем температуре влажного воздуха, т. е. равно его плотности ρ_n при этой температуре:

$$d_n = \rho_n = \frac{1}{v_n} \text{ кг/м}^3. \quad (26)$$

При сжатии влажного воздуха (или другого любого газа) в суховоздушных ВН следует опасаться конденсации водяного пара. Если же конденсация происходит, необходимо применение ВН, способного нормально отсасывать влажную среду, или конденсатора для охлаждения среды и частичной конденсации содержащегося в ней водяного пара.

Пример 3. Параметры всасываемого воздуха: температура $t_1=25^\circ\text{C}$; $p_1=0,1\text{ кгс/м}^2$; $\varphi_1=50\%$. Параметры сжатого воздуха (на выходе из ВН): $t_2=60^\circ\text{C}$ и $p_2=1,05\text{ кгс/см}^2$. Установить, будет ли происходить конденсация пара.

Решение 1. Наибольшая абсолютная влажность воздуха при $t_1=25^\circ\text{C}$

$$d_{\text{н}}' = \frac{1}{v_{\text{н}}'} = \frac{1}{43,40} = 0,0230\text{ кг/м}^3,$$

где $v_{\text{н}}' = 43,40\text{ м}^3/\text{кг}$ (см. прилож. 2).

2. Абсолютная влажность всасываемого воздуха

$$d' = \varphi_1 d_{\text{н}}' = 0,5 \cdot 0,023 = 0,0115\text{ кг/м}^3.$$

3. Наибольшая абсолютная влажность воздуха при его температуре $t_2=60^\circ\text{C}$

$$d_{\text{н}}'' = \frac{1}{v_{\text{н}}''} = \frac{1}{7,678} = 0,1302\text{ кг/м}^3,$$

где $v_{\text{н}}'' = 7,678\text{ м}^3/\text{кг}$ (см. прилож. 2).

4. Объем всасываемого воздуха, необходимый для получения 1 м^3 сжатого воздуха,

$$V_1 = V_2 \cdot \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} = 1 \cdot \frac{1,05 (25 + 273)}{0,1 (60 + 273)} = 9,4\text{ м}^3,$$

где V_2 — объем сжатого воздуха; $V_2=1\text{ м}^3$.

5. Содержание водяного пара в 1 м^3 сжатого воздуха

$$d = d' V_1 = 0,0115 \cdot 9,4 = 0,1081\text{ кг/м}^3.$$

Так как $0,1081 < 0,1302$, т. е. $d < d_{\text{н}}''$, то конденсации при сжатии происходить не будет.

Давление (вакуум) в установке

Давление (вакуум) в установке, необходимое для обеспечения нормального хода технологического процесса, задается с учетом подсосов и потерь давления в промежуточных трубопроводах (от технологических аппаратов до всасывающего штуцера ВН). Учитываются возможные колебания давления, их величина, продолжительность и причины. Тип выбираемого ВН зависит, в первую очередь, от рабочего давления.

Существенное значение имеет также противодействие на выходе из ВН, так как при значительном повышении его производительность некоторых насосов ощутимо снижается. При выходе в атмосферу противодействие обычно находится в пределах от 760 до 810 мм рт. ст. (от 101,3 до 108,0 кН/м²).

Производительность (массовая или объемная)

Производительностью и рабочим давлением всасывания определяются тип и размер выбираемого ВН.

Если производительность изменяется в процессе работы, должны быть указаны пределы этих изменений, как часто они происходят и их продолжительность. Обычно производительность задается в массовых единицах измерения.

В общем случае начальная масса среды, отсасываемой вакуум-насосом,

$$G_{\text{н}} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5\text{ [кг/ч или кг/сек]}, \quad (27)$$

где G_1 — неконденсирующиеся газы (отсасываемые из технологической аппаратуры);
 G_2 — пар водяной и пары других сред, конденсирующиеся с водяным паром (отсасываемые из технологической аппаратуры);
 G_3 — воздух, подсосываемый через неплотности установки;
 G_4 — воздух, выделяющийся из охлаждающей воды;
 G_5 — все прочие составные части.

G_1 и G_2 обычно указываются в задании на основании практических данных или определяются расчетом. Ниже приведены ориентировочные данные о потребной производительности ВН для различных типов вакуум-сушилок и для барабанных и дисковых вакуум-фильтров (стр. 113).

Количество подсосываемого воздуха через неплотности при отсутствии проверенных опытных данных определяется по табл. 8, а также рассчитывается по сумме периметров разъемных соединений оборудования и трубопроводов, причем величина подсоса принимается [3, 13] в пределах от 0,05 до 0,25 кг/м периметра соединения в час в зависимости от качества уплотнений, типа соединений и условий их монтажа.

Таблица 8

Расчетные значения подсосов воздуха через неплотности [11]

Эжектор (пароструйный)		Конденсатор смешения		Конденсатор поверхностный	
Диаметр горловины в мм	G_3 в кг/ч	диаметр корпуса в мм	G_4 в кг/ч	диаметр корпуса в мм	G_4 в кг/ч
10—20	0,2	300	0,6	300	0,7
25—32	0,3	400	0,8	400	1,0
40—50	0,5	500	1,0	500	1,5
64—80	1,0	600	1,2	600	2,0
100—152	1,5	800	1,5	800	3,0
200 и более	2,0	1000	2,0	1000	4,0

Масса воздуха, выделяющаяся из охлаждающей воды в конденсаторах смешения,

$$G_4 \approx q \cdot G_{0,в} \cdot 10^{-3} \text{ кг/ч}, \quad (28)$$

где q — масса воздуха, выделяющаяся из воды, принимаемая в пределах от 0,050 до 0,100 мг/кг (большие значения принимаются при наличии в воде повышенного количества эмульсированного воздуха);

$G_{0,в}$ — количество охлаждающей воды в кг/ч.

При использовании поверхностных конденсаторов $G_4=0$.

Все прочие составные части среды G_5 обычно включают элементы отсасываемой среды, отличные от перечисленных. Это может быть капельная жидкость (как это имеет место при эксплуатации некоторых мокровоздушных ВН) или твердые частицы, увлеченные отсасываемой средой.

Воздух, как и все неконденсируемые газы, отсасываемые из конденсаторов смешения, всегда насыщен парами воды, причем паросодержание парогазовой смеси [3]

$$d_H = \frac{0,622 \cdot \frac{p_H}{p_K - p_H}}{1 + 0,622 \cdot \frac{p_H}{p_K - p_H}} \text{ кг пара/кг смеси}, \quad (29)$$

где p_k — общее давление в конденсаторе;

$p_{\text{п}}$ — парциальное давление водяного пара при температуре отсасываемой парогазовой смеси t_2 .

Температура парогазовой смеси на выходе из конденсатора обычно определяется по эмпирической формуле

$$t_2 = t_{\text{в.н}} + 4 + 0,1 (t_{\text{в.к}} - t_{\text{в.н}}) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (30)$$

где $t_{\text{в.н}}$ — начальная температура охлаждающей воды в $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{в.к}}$ — конечная температура охлаждающей воды в $^\circ\text{C}$.

Общая масса парогазовой смеси, насыщенной водяным паром и отсасываемой из конденсатора,

$$G_{\text{см}} = \frac{G_{\text{в}}}{1 - d_{\text{п}}} \text{ кг/ч}, \quad (31)$$

где $G_{\text{в}}$ — масса воздуха и других неконденсирующихся газов в кг, содержащихся в парогазовой смеси, отсасываемой в течение 1 ч.

Для вакуум-сушилок требуемая производительность ВН зависит от парогазовыделений из продукта и от подсосов воздуха. Если производительность отнести к 1 м^2 поверхности нагрева сушилки, то рекомендуется принимать ее (при давлении всасывания) [2]: для вакуумных шкафов — 0,9—1,1; для вальцевых вакуум-сушилок — 3,0—4,5 и для гребковых вакуум-сушилок — 3,5—8 $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.

Потребная производительность ВН для вакуум-фильтров при вакууме 70% составляет: для барабанных [27] от 0,5 до 2 и для дисковых [26] — от 0,4 до 1,0 $\text{м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 поверхности фильтрации. Большие значения принимаются для суспензий, образующих пористый или сильно растрескивающийся слой осадка.

При создании вакуума в системе значительной емкости объемная производительность $V_{\text{в.н}}$ отсасывающего ВН может быть определена по формуле

$$V_{\text{в.н}} = 2,3 c \frac{V_{\text{с}}}{t} \lg \frac{p_1}{p_2} \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (32)$$

где $V_{\text{с}}$ — свободная емкость системы в м^3 ;

t — продолжительность работы вакуум-насоса в мин;

c — коэффициент запаса, учитывающий подсосы воздуха, величина которого в зависимости от конкретных условий колеблется в пределах от 1,1 до 2;

p_1 и p_2 — начальное и конечное абсолютное давление.

При данном расчете принимают, что температура отсасываемой среды близка к температуре помещения, т. е. составляет 15—25 $^\circ\text{C}$.

Пример 4. Определить производительность ВН для создания вакуума в приемной емкости $V_{\text{с}} = 3,5 \text{ м}^3$; $p_1 = 101,3 \text{ кПа}$; $p_2 = 20 \text{ кПа}$; $t = 10 \text{ мин}$; $c = 1,20$.

Необходимая минимальная производительность ВН [формула (32)]

$$V_{\text{в.н}} = 2,3 \cdot 1,2 \cdot \frac{3,5}{10} \cdot \lg \frac{101,3}{20} = 0,9661 \lg 5,067 = 0,68 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

К установке может быть принят суховоздушный ВН типа ВНП-0,75 с номинальной производительностью 0,75 $\text{м}^3/\text{мин}$.

Продолжительность работы ВН, при которой достигается требуемый вакуум, может быть определена по формуле:

$$t = 2,3 c \cdot \frac{V_c}{V_{в.н}} \cdot \lg \frac{p_1}{p_2} \text{ мин} \quad (33)$$

Для ориентировочного определения производительности ВН, создающего вакуум в установке, внутри аппаратов которой не выделяются газы и пары из продуктов, фирма «Виганд» (ГДР) дает следующую таблицу (табл. 9).

Таблица 9

Общий объем аппаратов в м ³	Всасывающая производительность агрегата в кг/ч	Общий объем аппаратов в м ³	Всасывающая производительность агрегата в кг/ч
0,2	0,2—0,5	25	4—8
1,0	0,5—1	50	6—12
3	1—2	100	9—18
5	1,5—3	200	15—30
10	2,5—5	500	20—40

Производительность ВН, обслуживающего ВУ, которая осуществляет укупорку, присос этикеток или аналогичные операции, с учетом подсосов воздуха через неплотности определяется по формуле

$$V_{в.н} = 2,3 c V_0 n \lg \frac{p_1}{p_2} \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (34)$$

где c — коэффициент запаса производительности; в зависимости от условий $c=1,5—3,0$;

V_0 — объем воздуха, попадающий в вакуумируемое пространство машины при каждой операции, в м³;

n — производительность установки в шт./мин;

p_1 — начальное давление, обычно равное атмосферному, т. е. 760 мм рт. ст. (101,3 кН/м²);

p_2 — давление, создаваемое в вакуумируемом пространстве машины, в мм рт. ст. (кН/м²).

Пример 5 [9]. Определить производительность ВН — $V_{в.н}$, обслуживающего вакуум-закаточную машину производительностью $n=120$ банок в минуту.

$$V_0 = 2,5 \text{ дм}^3 = 0,0025 \text{ м}^3; \quad p_2 = 50 \text{ мм рт. ст.}; \quad c = 2,5$$

Производительность вакуум-насоса

$$V_{в.н} = 2,3 \cdot 2,5 \cdot 0,0025 \cdot 120 \cdot \lg \frac{760}{50} = 2,04 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

* * *

Проектом должно предусматриваться обеспечение ВНУ энергией, средствами охлаждения, кроме того, должны предусматриваться также условия размещения.

Данные об обеспечении ВН проектируемой установки энергией должны давать полное и ясное представление об условиях получения, параметрах и стоимости энергии.

Условия охлаждения конденсаторов, а также объемных ВН определяются ресурсами водоснабжения предприятия, возможностями удаления стоков и, главное, технико-экономическими расчетами.

Кроме данных о располагаемых количествах воды, необходимы также сведения об ее качестве (жесткость, наличие взвешенных примесей, агрессивность и т. п.), а также о стоимости воды и удаления стоков в канализационную систему.

Условия размещения ВНУ играют существенную роль при выборе ее схемы и оборудования. В основном это касается возможности и целесообразности размещения ВНУ на открытом воздухе или в зданиях с облегченной конструкцией (защищающих установки только от ветра и осадков).

2. ВЫБОР ТИПА ВАКУУМ-НАСОСА И СХЕМЫ УСТАНОВКИ

Вакуум-насос и схема вакуум-установки в первую очередь должны удовлетворять требованиям технологического режима обслуживаемой производственной установки, заключающимся в основном в создании и непрерывном поддержании вакуума требуемой глубины в аппаратах. Это связано с отсасыванием из последних соответствующего количества газообразной среды с учетом всех ее свойств и особенностей, о которых упоминалось выше (см. стр. 109).

Выбранные ВН и схема ВНУ должны обеспечить простоту и компактность в устройстве и надежность в работе ВНУ. Расходы по ее эксплуатации должны быть минимальными. Практически очень трудно дать в общем виде зависимость выбора ВН и схемы установки от различных факторов, имеющих сложную и иногда противоречивую взаимосвязанность.

Назначение вакуум-насосной установки и режим ее работы

По давлению в технологических аппаратах p_a легко определить ориентировочное давление всасывания ВН p_n . Давление p_n будет меньше давления в аппаратах p_a на величину потери давления в трубопроводах и в конденсаторах Δp . В первом приближении эту потерю можно принять в пределах 10—20% от давления в аппаратах (системе), т. е.

$$\Delta p = (0,1 : 0,2) p_a \quad (35)$$

или начальное давление отсасываемой среды

$$p_n \approx p_a - \Delta p = 0,8 : 0,9 p_a \quad (36)$$

ВН низкого вакуума, предназначенные для создания абсолютных давлений в пределах от 760 до 1 мм рт. ст. (от 101,3 до 0,133 кн/м²), имеют различные области применения (рис. 50). Пределы давлений даны для нормальной (или близкой к ней) производительности ВН, и это необходимо учитывать при их выборе для работы.

Выбирая ВН по рис. 50, определяют типы ВН, удовлетворяющие условиям создания и поддержания необходимого давления. Затем проверяют возможность использования этих ВН по их объемной производительности; после этого проверяют, подходят ли они для данного режима работы. Режимы работы зависят от технологических процессов и бывают: непрерывные; периодические; эпизодические.

Для двух первых режимов пригодны все типы ВН. Для эпизодической работы, характеризующейся редкими и непродолжительными периодами работы,

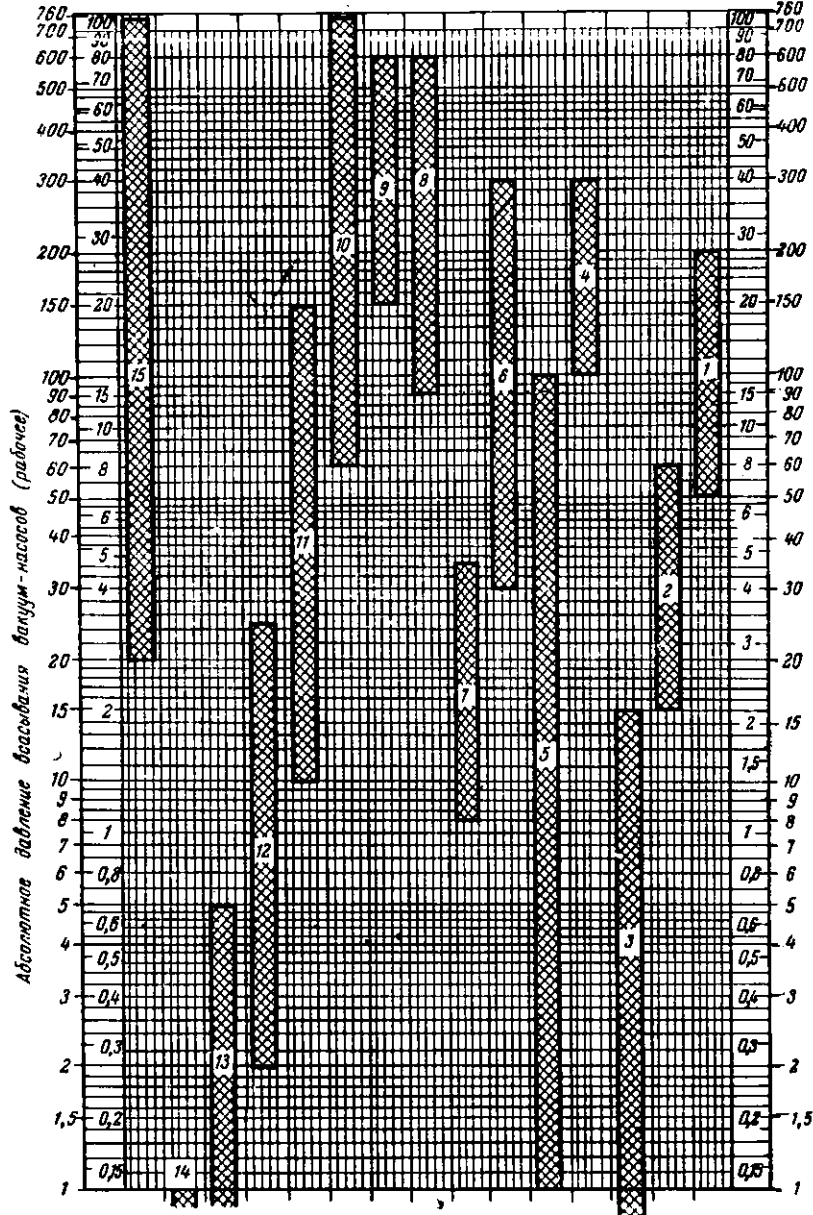
мм рт.ст. кН/м²кН/м² мм рт.ст.

Рис. 50. Области применения вакуум-насосов по создаваемому давлению:

1 — поршневой, клапанный, суховоздушный; 2 — поршневой, с принудительным распределением, суховоздушный, одноступенчатый; 3 — то же, двухступенчатый; 4 — поршневой, мокроевоздушный; 5 — ротационный, с масляным уплотнением, газобалластный; 6 — ротационный, многопластинчатый, одноступенчатый; 7 — то же, двухступенчатый; 8 — водокольцевой простого действия; 9 — то же, двойного действия; 10 — ПЭВН — одноступенчатый; 11 — ПЭВН — двухступенчатый; 12 — ПЭВН — трехступенчатый; 13 — ПЭВН — четырехступенчатый; 14 — ПЭВН — пятиступенчатый; 15 — водоструйный, одноступенчатый.

обычно связанной с эксплуатацией различных вспомогательных устройств и установок (например, для вакуумной разгрузки автоцистерны с кислотой — один раз в трое суток с продолжительностью работы ВН 40—60 мин и т. п.), наиболее подходит парожеткаторные вакуум-насосы (особенно бесконденсаторные) и водоструйные. В этих условиях можно также использовать поршневые мокро-воздушные и водокольцевые ВН (при установке их в отепленных помещениях).

Состав, свойства и температура отсасываемой среды

Все типы ВН, кроме поршневых мокровоздушных, пригодны для отсасывания сухих, нейтральных и чистых газов с температурой до 60°C. Однако газообразные среды, отсасываемые из технологических аппаратов, иногда имеют состав, свойства и температуру, отличные от указанных. Эти газообразные среды (обычно парогазовые смеси) могут содержать:

- а) значительное количество водяных или иных паров;
- б) пары в состоянии насыщения и некоторое количество капельной жидкости;
- в) твердые частицы (обычно в виде пыли).

Кроме того, эти среды иногда отличаются агрессивными (коррозионными), взрывоопасными и токсическими свойствами; имеют очень неприятный запах и температуру выше 60°.

В таких условиях работа одних типов ВН вполне возможна (х), вторых — возможна в определенных (ограниченных) условиях (о) и третьих — недопустима (—). В табл. 10 приведены данные о возможности использования ВН различных типов в зависимости от основных факторов.

На основе выбранной схемы производят расчет ВНУ в целом, а также ее отдельных частей.

3. УСТАНОВКИ С ОБЪЕМНЫМИ ВАКУУМ-НАСОСАМИ

Объемная производительность поршневого ВН в зависимости от его размеров определяется по формуле

$$V_{в.н} = \lambda \frac{\pi D_{ц}^2}{4} i s n \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (37)$$

где λ — коэффициент подачи; $\lambda = a \cdot \lambda_0$;

λ_0 — объемный к. п. д., определяемый по номограмме (рис. 51, а);

a — коэффициент, учитывающий сопротивление всасывающего тракта ВН, переток через неплотности между полостями, нагрев всасываемой среды от стенок цилиндра и т. п.; значение a колеблется от 0,8 до 0,95;

$D_{ц}$ — диаметр цилиндра в м;

s — полезный ход поршня; для насосов с всасывающими щелями $s = l - x$;

l — ход поршня и x — длина щели; для насосов без щелей $s = l$;

i — число полостей в цилиндре;

n — число оборотов коленчатого вала в 1 мин.

Мощность электродвигателя для привода поршневого сухого ВН

$$N_{в.н} = C \frac{0,44 N_1 V_{в.н}}{\tau_{м} \cdot \eta_{пр}} \text{ кВт}, \quad (38)$$

где $V_{в.н}$ — производительность ВН в м³/мин;

N_1 — мощность, потребляемая для отсасывания 100 м³/ч среды; (принимается по номограмме, см. рис. 51, б);

C — коэффициент запаса; $C = 1,1—1,15$;

$\tau_{м}$ — механический к. п. д. ВН; $\tau_{м} = 0,8—0,9$;

$\eta_{пр}$ — к. п. д. привода; $\eta_{пр} = 0,95—0,98$.

Таблица 10

Условия эксплуатации		Вакуум-насосы										Сочетание пароструйного эжектора		Сочетание газоструйного эжектора		
		поршневые			ротационные											
		ступенчатые	ступенчатые	мокро-воздушные	с масляным уплотнением	пластинчатые	лабхотопные	волокна-цевые	парожек-торные	струйные	воластруйные					
Состав и свойства откачиваемой среды	Сухая нейтральная среда	×	×	—	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	Нейтральная среда с содержанием конденсирующихся паров	0	0	—	0	0	0	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	Присутствие капельной жидкости	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Присутствие твердых частиц (пыли)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Агрессивность (коррозионная)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Взрывоопасность	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Условия размещения установок и обслуживания	Токсичность	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Высокая температура (более 60° С)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Размещение вне помещений	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Установка без специальных фундаментов	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Возможность длительной работы без обслуживания	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Таблица 10 предназначена для ориентировки при выборе вакуум-насосов. Данные таблицы являются ориентировочными, и это необходимо учитывать.

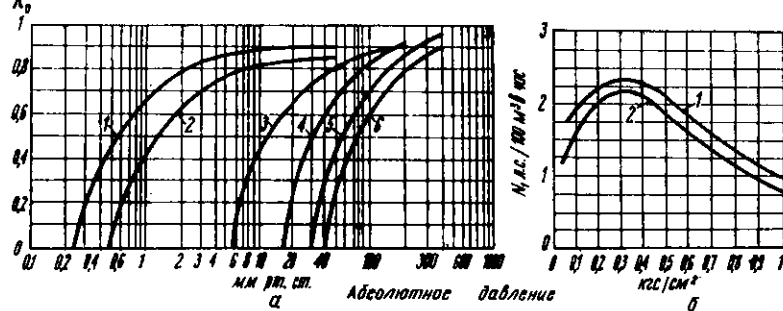


Рис. 51. Зависимости для поршневых суховоздушных вакуумнасосов:

а — зависимость объемного к. п. д. λ_v от рабочего давления:

1 и 2 — для двухступенчатого сжатия с выравниванием давления; 3 и 4 — для одноступенчатого сжатия с выравниванием давления; 5 и 6 — для одноступенчатого сжатия без выравнивания давления;

б — зависимость удельной мощности N_1 , потребляемой для вакуум-насосов, от рабочего давления:

1 — для мелких вакуум-насосов, 2 — для крупных вакуум-насосов.

Формулами (37) и (38) практически приходится пользоваться только при применении ВН, по которому нет данных о производительности и потребляемой мощности.

Одной из особенностей схемы, приведенной на рис. 25, является использование предохранительной (барометрической) петли 16 на вакуумном трубопроводе от вакуум-приемника с целью автоматического предотвращения засасывания в ВН кислоты. Это достигается тем, что высота петли $H_{п.п}$ от наивысшего уровня жидкости в цистерне $H_ж$ должна быть больше барометрической высоты H_6 разгружаемой жидкости, которая должна быть равна:

$$H_6 = \frac{10,33}{\rho_{ж} \cdot 10^{-3}} \text{ м}, \quad (39)$$

где $\rho_{ж}$ — наименьший возможный объемный вес (плотность) выгружаемой жидкости в кг/м^3 .

Высота предохранительной петли

$$H_{п.п} = H_6 + H_3 \text{ м}, \quad (40)$$

где H_3 — запас петли, принимаемый в 2—3 м.

Пример 6. Определить H_6 и $H_{п.п}$ для установки, предназначенной для вакуумной выгрузки крепкой серной кислоты концентрацией 94—92% (см. рис. 25).

Принимаем наименьшую возможную концентрацию сливаемой кислоты 90% и $\rho_{ж} = 1630 \text{ кг/м}^3$.

Тогда барометрическая высота жидкости

$$H_6 = \frac{10,33}{1630 \cdot 10^{-3}} = 6,3 \text{ м.}$$

Высота предохранительной петли

$$H_{п.п} = 6,3 + 2,0 = 8,3 \text{ м.}$$

Предохранительные (барометрические) петли нашли широкое распространение благодаря их простоте и надежности в установках, связанных с пересасыванием под вакуумом жидкостей, особенно едких и агрессивных.

Пример 7. Для создания вакуума, необходимого для работы выпарки (четырёхкорпусной с концентратором) и вакуум-аппаратов (при трехпроводной схеме) овеклосахарного завода производительностью $A = 25000$ ц/сутки, требуется выбрать вакуум-насос.

При этом необходимо учитывать, что:

а) количество пара, поступающего в общий барометрический конденсатор, $a = 24\%$ от A ;

б) охлаждающая вода поступает в конденсатор из оборотной системы водоснабжения при начальной температуре $t_{в.н} = 25^\circ\text{C}$ и выходит из него при температуре $t_{в.к} = 45^\circ\text{C}$;

в) разрежение перед вакуум-насосами составляет 670 мм рт. ст. ($89,3$ кн/м²);

г) количество паровоздушной смеси, отсасываемой вакуум-насосами из конденсатора при разрежении 670 мм рт. ст. ($89,3$ кн/м²), $g_{п.в} = 5,58$ м³ на 1 ц перерабатываемой свеклы.

Решение. 1. Температура паровоздушной смеси, поступающей в вакуум-насосы из конденсатора (по формуле 30),

$$t_2 = t_{в.н} + 4 + 0,1 (t_{в.к} - t_{в.н}) = 25 + 4 + 0,1 (45 - 25) = 31,0^\circ\text{C}.$$

2. Общая производительность вакуум-насосов

$$V_{в.н} = \frac{A \cdot g_{п.н}}{24 \cdot 60} = \frac{25000 \cdot 5,58}{24 \cdot 60} \approx 96,2 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

3. Учитывая количество отсасываемой паровоздушной смеси и возможность наличия в ней капельной влаги, в соответствии с данными, приведенными на рис. 50 и в табл. 10 для данных условий, наиболее подходящим типом будет водокольцевой вакуум-насос ВВН-50, имеющий объемную производительность $V_{в.н}$ около 43 м³/мин при разрежении 670 мм рт. ст., $p = 590$ об/мин и температуре воды 15°C (см. рис. 22).

Так как температура воды, подаваемой в вакуум-насос, $t_{в.н} \leq 25^\circ\text{C}$, то объемная производительность ВВН типа ВВН-50 при этой температуре

$$V_{в.н\ 25} = V_{в.н\ 15} \frac{P - P_{25}}{P - P_{15}} = 43 \cdot \frac{90 - 23,75}{90 - 12,8} = 43 \cdot 0,858 = 36,9 \text{ м}^3/\text{мин},$$

где $V_{в.н\ 25}$ и $V_{в.н\ 15}$ — объемная производительность ВВН при температуре воды 25°C и 15°C ;

P — общее абсолютное давление перед ВВН; $P = 90$ мм рт. ст.;

P_{25} — давление насыщенного водяного пара при температуре 25°C ; $P_{25} = 23,75$ мм рт. ст.;

P_{15} — давление насыщенного водяного пара при температуре 15°C ; $P_{15} = 12,8$ мм рт. ст.

4. Число рабочих вакуум-насосов будет

$$\frac{V_{в.н}}{V_{в.н\ 25}} = \frac{96,2}{36,9} = 2,6,$$

т. е. возможна одновременная работа двух-трех ВВН; к установке принимаем три рабочих и один резервный ВВН.

5. Для сравнения определяем число требуемых ВН типа РМК-4, имеющих при указанных давлениях и температурах производительность 18,9 м³/мин.

Число рабочих ВН составит $\frac{96,2}{18,9} = 5,1$. При одном резервном общее число ВН будет равно шести.

Этот вариант менее выгоден, так как при менее глубоком вакууме требуется больший расход электроэнергии, больше места для размещения ВН и большие расходы на их эксплуатацию.

4. КОНДЕНСАТОРЫ

Конструктивные и эксплуатационные особенности конденсаторов изложены в главе IV, в которой также даны общие оценки различных типов и конструкций их.

Полный тепловой расчет здесь не приводится. Наиболее подробно расчет каскадных конденсаторов смещения освещен в книге И. А. Труба [12], а по поверхностным конденсаторам имеются данные в специальной литературе [1, 13, 14].

В конденсаторах ВНУ в общем случае протекают следующие основные тепловые процессы:

- а) охлаждение перегретых паров до температуры их насыщения;
- б) конденсация насыщенных паров, т. е. сжижение их при постоянной температуре;
- в) охлаждение полученного конденсата;
- г) охлаждение неконденсирующейся части парогазовой смеси, поступающей в конденсатор.

Иногда в состав парогазовой смеси, поступающей в конденсатор, могут одновременно входить пары нескольких веществ с различными свойствами (обычно в перегретом состоянии). Это обстоятельство должно быть учтено при определении количества тепла, отводимого в конденсаторе, Q_k .

В наиболее простом и часто встречающемся случае, когда парогазовая смесь состоит из водяного пара и воздуха,

$$Q_k = G_{в.п} (i_{в.п} - c_{т.в.к}) + G_{в} c_{в} (t_1 - t_2) \text{ ккал/ч (вт)}, \quad (41)$$

где $G_{в.п}$ и $G_{в}$ — количество водяного пара и воздуха в кг/ч;

$c_{т.в.к}$ и $c_{в}$ — теплоемкость воздуха и воды в ккал/(кг · град) [кдж/(кг · град)];

t_1 и t_2 — начальная и конечная температура парогазовой смеси.

Расход охлаждающей воды через конденсатор

$$G_{о.в} = \frac{Q_k}{c (t_{в.к} - t_{в.н})} \text{ кг/ч}. \quad (42)$$

Приводимые ниже данные могут быть использованы для ориентировочного определения основных размеров конденсаторов смещения при необходимости проверки существующих или подбора новых конденсаторов, а также для установления расчетной температуры охлаждающей воды при выходе ее из конденсатора.

Расчетная температура $t_{в.к}$ охлаждающей воды, выходящей из противоточного конденсатора смещения, обычно принимается на 1÷3 град ниже температуры конденсации:

$$t_{в.к} \approx t_k - 1 \div 3^\circ \text{C}. \quad (43)$$

При использовании охлаждающей воды из оборотной системы водоснабжения рассчитывать на значительную разность $t_{в.к} - t_{в.н}$ нельзя, особенно в летний период. Для установок глубокого вакуума эта величина будет находиться в пределах 4÷10 град.

Расчетная температура парогазовой смеси, выходящей из конденсатора, t_2 определяется по формуле (30).

Внутренний диаметр корпуса конденсатора D_k (оснащенного полками или тарелками) определяется по условной скорости парогазовой смеси $W_{см} = 12 - 20$ м/сек в его поперечном сечении без учета сужений тарелками или полками (большие значения используются для конденсаторов диаметром от 800 мм и более).

При расчете конденсаторов для свеклосахарных производств принято указывать расчетные скорости парогазовой смеси внутри конденсаторов с учетом сужения их сечения полками, причем коэффициент сужения составляет 2,7, а скорости составляют: для конденсаторов выпарных установок и вакуум-аппаратов 55 м/сек и для конденсаторов вакуум-фильтров 40 м/сек. Условные скорости соответственно будут равны:

$$\frac{55}{2,7} = 20,4 \text{ м/сек} \quad \text{и} \quad \frac{40}{2,7} = 14,8 \text{ м/сек.}$$

Таким образом, диаметр конденсатора

$$D_k = 18,78 \sqrt{\frac{G_{см} v_{см}}{w_{см}}} \text{ мм.} \quad (14)$$

где $G_{см}$ — количество парогазовой смеси, поступающей в конденсатор, в кг/ч;
 $v_{см}$ — удельный объем парогазовой смеси при давлении в конденсаторе p_k в м³/кг.

Для конденсаторов смешения (форсуночных, с разбрызгиванием охлаждающей воды) при отсутствии внутри них полок, тарелок или т. п. устройств, внутренний диаметр их корпусов может быть определен по формуле (14) при скорости парогазовой смеси в нем $w'_{см} = 14 \div 22$ м/сек.

Приведенные расчетные скорости относятся к конденсаторам, работающим при давлениях $p_k = 45 \div 120$ мм рт. ст. ($6 \div 16$ кн/м²). Для конденсаторов, работающих при давлениях, превышающих 150 мм рт. ст. (20 кн/м²), принимаются более низкие расчетные скорости, в пределах $6 \div 12$ м/сек.

Выбор оптимального типа конденсатора зависит от конкретных условий его эксплуатации.

При давлениях p_k от 35 до 75 мм рт. ст. (от 4,7 до 10 кн/м²), при оборотной системе водоснабжения, т. е. при $t_{в.к} - t_{в.п} = 10$ град, целесообразно применение форсуночных конденсаторов смешения с распыливанием охлаждающей воды или каскадных конденсаторов смешения со смешанными струями, с 3÷4 полками (тарелками), т. е. с незначительным гидравлическим сопротивлением.

При больших давлениях в конденсаторах и при перепадах температур $t_{в.к} - t_{в.п} > 10$ град целесообразно применение каскадных конденсаторов с числом полок (тарелок) 4÷5.

Скорости в штуцерах конденсаторов можно ориентировочно принимать в следующих пределах:

а) при входе парогазовой смеси в конденсаторы с давлением p_k не более 75 мм рт. ст. (10 кн/м²) от 50 до 75 м/сек; большие значения относятся к большим размерам штуцеров и меньшим давлениям p_k ; при давлениях в конденсаторах более 75 мм рт. ст. (10 кн/м²) скорости будут меньше (см. раздел 7 настоящей главы);

б) при входе охлаждающей воды — от 1,0 до 2,0 м/сек;

в) при выходе отсасываемой парогазовой смеси — от 30 до 50 м/сек;

г) при выходе охлаждающей воды — от 0,4 до 0,9 м/сек; при избытке высоты барометрической трубы скорость может увеличиться до 1—1,1 м/сек.

Скорости в штуцерах конденсаторов вторых и третьих ступеней: для охлаждающей воды на 20—30% ниже указанных значений; для парогазовой смеси они принимаются в соответствии с данными табл. 11.

В поверхностных конденсаторах промышленных ВПУ расчетная температура охлаждающей воды, выходящей из конденсаторов, обычно ниже температуры конденсации t_k водяного пара при давлении в конденсаторах p_k на $3 \div 5$ град:

$$t_{в,к} \approx t_k - 3 \div 5^\circ \text{C}. \quad (45)$$

Поверхность конденсатора, определяемая по наружной поверхности трубок,

$$F_k = \frac{Q_k}{\bar{k} \Delta t_{ср}} = \frac{G_{о,в} c \Delta t_b}{\bar{k} \Delta t_{ср}} \text{ м}^2, \quad (46)$$

где $\bar{k}$ — средний коэффициент теплопередачи для всей поверхности конденсатора в $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$ [$\text{вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$];

$\Delta t_{ср}$ — средняя разность между температурами конденсируемого пара и охлаждающей воды (средний температурный напор, град);

$\Delta t_b = t_{в,к} - t_{в,н}$ — повышение температуры охлаждающей воды в конденсаторе в град.

Из-за отсутствия аналитического метода теплового расчета поверхностных конденсаторов [14] пользуются эмпирическим методом расчета, в котором средний коэффициент теплопередачи $\bar{k}$ определяется на основе опытных данных.

Для определения величины $\bar{k}$ при конденсации водяного пара в конденсаторах с латунными трубками при $t_{в,н} < 35^\circ \text{C}$ и скорости воды в трубках $w_b = 0,9 \div 3$ м/сек рекомендуется пользоваться эмпирической формулой Л. Д. Бермана [14]:

$$k = 3500 a \left(\frac{1,1 w_b}{\sqrt[4]{d_{вн}}} \right)^x \left[1 - \frac{0,42 \sqrt{a}}{1000} (35 - t_{в,н})^2 \right] \Phi_z \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}); \quad (47)$$

$$x = 0,12 a (1 + 0,15 t_{в,н}), \quad (48)$$

где a — коэффициент, учитывающий влияние загрязнения поверхности охлаждения, принимаемый в пределах от 0,65 до 0,85;

w_b — скорость воды в трубках в м/сек;

$d_{вн}$ — внутренний диаметр трубки в мм;

Φ_z — множитель, учитывающий влияние числа ходов z воды в конденсаторе; значение Φ_z определяется по приближенной формуле

$$\Phi_z = 1 + \frac{z-2}{10} \left(1 - \frac{t_{в,н}}{35} \right). \quad (49)$$

Влияние изменения паровой нагрузки конденсатора в формуле (47) не учитывается.

На рис. 52 приведен график [14] $\bar{k} = f(B, t_{в,н})$, составленный по формуле (47) для двухходового конденсатора.

При применении поверхностных конденсаторов со стальными или алюминиевыми трубками средний коэффициент теплопередачи $\bar{k}$ или коэффициенты теплопередачи по отдельным зонам следует определять по данным специальных руководств.

Средняя разность между температурами (средний температурный напор) охлаждающей воды и охлаждаемой среды при упрощенных расчетах определяется по формуле:

$$\Delta t_{ср} = \frac{t_{в,к} - t_{в,н}}{\ln \frac{t_k - t_{в,н}}{t_k - t_{в,к}}} = \frac{\Delta t_b}{2,3 \lg \frac{t_k - t_{в,н}}{t_k - t_{в,к}}} \text{ град}; \quad (50)$$

$$t_k - t_{в,н} = (t_k - t_{в,к}) + (t_{в,к} - t_{в,н}) = \delta t + \Delta t_b \text{ град}, \quad (51)$$

где t_k — средняя температура конденсации при давлении p_k .

Скорость воды в трубках каждого хода конденсатора

$$w_{\text{в}} = \frac{G_{0.\text{в}}}{0,9 \pi d_{\text{вн}}^2 n_z} = \frac{0,3537 G_{0.\text{в}}}{d_{\text{вн}}^2 n_z} \text{ м/сек.} \quad (52)$$

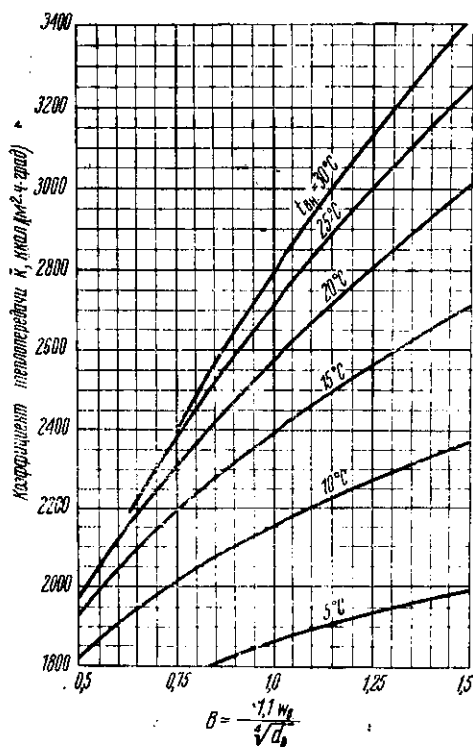


Рис. 52. График значений $\bar{k} = f(B, t_{\text{в.н}})$ по формуле (47) для двухходового конденсатора.

Отсюда число трубок в одном ходе конденсатора

$$n_z = \frac{0,3537 G_{0.\text{в}}}{d_{\text{вн}}^2 w_{\text{в}}} \text{ шт.}, \quad (53)$$

где $G_{0.\text{в}}$ — количество охлаждающей воды в кг/ч (л/ч);

$d_{\text{вн}}$ — диаметр внутренних трубок.

Скорость воды в трубках $w_{\text{в}}$ выбирается в пределах 1,0 ÷ 2,5 м/сек в латунных и 1,5 ÷ 2,5 м/сек в алюминиевых.

Поверхность охлаждения конденсатора

$$F_{\text{к}} = \pi d_{\text{н}} l n_z z \text{ м}^2, \quad (54)$$

где $d_{\text{н}}$ — наружный диаметр трубок в м;

l — длина одной трубки в м.

Размеры трубной доски, определяющие диаметр корпуса конденсатора $D_{\text{к}}$ зависят от общего числа трубок $n = z n_z$, от компоновки трубного пучка и от числа ходов воды z .

Условный диаметр трубной доски (ориентировочный)

$$D_y = d_n \sqrt{\frac{n}{u_{тр}}} \text{ м}, \quad (55)$$

где $u_{тр} = n \left(\frac{d_n}{D_y} \right)^2$ — коэффициент использования трубной доски; при $z=2$

$u_{тр} = 0,25-0,32$; при $z=3-4$ $u_{тр} = 0,30-0,35$.

При конденсаторе с корпусом цилиндрической формы $D_y \approx D_k$.

Пример 8. Определить основные размеры поверхностного двухходового ($z=2$) конденсатора для пароежекторной водоохлаждающей установки при условии:

- а) количество водяного пара, поступающего в конденсатор, $G_{в.п} = 2400 \text{ кг/ч}$;
- б) давление в конденсаторе $p_k = 50 \text{ мм рт. ст.}$ при $t_k = 38,1^\circ \text{C}$;
- в) начальная температура охлаждающей воды (при оборотной системе водоснабжения) для летнего периода года $t_{в.п} = +27^\circ \text{C}$;
- г) трубы в конденсаторе латунные, размером $d_n = 22 \times 1 \text{ мм}$ ($d_{вн} = 20 \text{ мм}$);
- д) скорость охлаждающей воды в трубках $w_b = 2,0 \text{ м/сек.}$

Решение. 1. По формуле (47) определяем величину $\bar{k}$:

$$\begin{aligned} \bar{k} &= 3500 \cdot 0,85 \left(\frac{1,1 \cdot 2}{\sqrt[4]{20}} \right)^{0,5151} \left[1 - \frac{0,42 \sqrt{0,85}}{1000} (35 - 27)^2 \right] = \\ &= 2960 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}, \end{aligned}$$

где $x = 0,12 \cdot 0,85 (1 + 0,15 \cdot 27) = 0,5151$; $\Phi_2 = 1$.

2. Температуру выходящей охлаждающей воды определяем по формуле (45), приняв величину ее недогрева $t_k - t_{в.к} = 4,1 \text{ град}$:

$$t_{в.к} = t_k - 4,1 = 38,1 - 4,1 = 34^\circ \text{C}.$$

3. Нагрев охлаждающей воды в конденсаторе

$$\Delta t_b = t_{в.к} - t_{в.п} = 34 - 27 = 7 \text{ град.}$$

4. Температурный напор

$$\bar{t} = t_k - t_{в.к} = 38,1 - 34,0 = 4,1 \text{ град.}$$

5. Средняя логарифмическая разность температур [формула (50)]

$$\Delta t_{ср} = \frac{7}{2,3 \lg \frac{4,1 + 7}{4,1}} = \frac{7}{0,995} \approx 7,03 \text{ град.}$$

6. Количество охлаждающей воды [формула (41 и 42)]

$$G_{о.в} = \frac{G_{в.п} (i_{в.п} - c t_{в.к})}{c (t_{в.к} - t_{в.п})} = \frac{2400 (614 - 1 \cdot 34)}{1 (34 - 27)} = 199\,857 \approx 200\,000 \text{ кг/ч}$$

при $i_{в.п} = 614 \text{ ккал/кг}$.

7. Поверхность охлаждения конденсатора [формула (46)]

$$F_k = \frac{G_{o.b} c \Delta t_b}{k \Delta t_{cp}} = \frac{200\,000 \cdot 1.7}{2960 \cdot 7.03} = 67.2 \text{ м}^2.$$

8. Число трубок в каждом ходе [формула (53)]

$$n_z = \frac{0.3537 G_{o.b}}{d_{вн}^2 w_b} = \frac{0.3537 \cdot 200\,000}{202 \cdot 2} = 88.$$

9. Длина трубок определяется на основании формулы (54)

$$l = \frac{F_k}{\pi d_n n_z z} = \frac{67.2}{\pi \cdot 0.022 \cdot 88 \cdot 2} \approx 5.52 \text{ м}.$$

10. Общее количество трубок

$$n = z n_z = 2 \cdot 88 = 176.$$

11. Условный диаметр трубной доски при $u_{тр} = 0.28$ (55)

$$D_y \approx 0.22 \sqrt{\frac{176}{0.28}} \approx 0.55 \text{ м}.$$

Так как $D_k \approx D_y$ принимаем $D_k = 0.6 \text{ м} = 600 \text{ мм}$.

5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Основные сведения о назначении и конструкции вспомогательных устройств изложены в главе IV, где также частично приведены расчетные данные. В настоящем разделе освещены отдельные вопросы по выбору и расчету некоторых типов вспомогательного оборудования.

Определение размеров барометрических коробок нередко вызывает затруднения. Для облегчения практического решения этого вопроса разберем его на примере.

Пример 9. Определить размеры барометрической коробки, показанной на рис. 53 и предназначенной для двух ПЭВН, обслуживающих дезодозаторы периодического действия. Длина каждой барометрической трубы $l = 16.0 \text{ м}$ из-за наличия на них наклонных участков. Общий расход охлаждающей воды $G_{o.b} = 2 (66.3 + 5.9) = 144.4 \text{ т/ч}$. (66.3 и 5.9 — количество воды, протекающее через конденсаторы каждого ПЭВН).

Решение. 1. Расстояние от нижних концов барометрических труб до дна должно быть равно диаметру барометрической трубы, но не менее 100 мм. Для труб размером 194×5 мм это расстояние принимаем равным $h_1 = 200 \text{ мм}$; для труб размером 60×3.5 мм — 100 мм.

2. Площади сечения барометрических труб

$$f'_{6.т} = \frac{\pi 0.184^2}{4} = 0.02659 \text{ м}^2;$$

$$f''_{6.т} = \frac{\pi 0.053^2}{4} = 0.0022 \text{ м}^2.$$

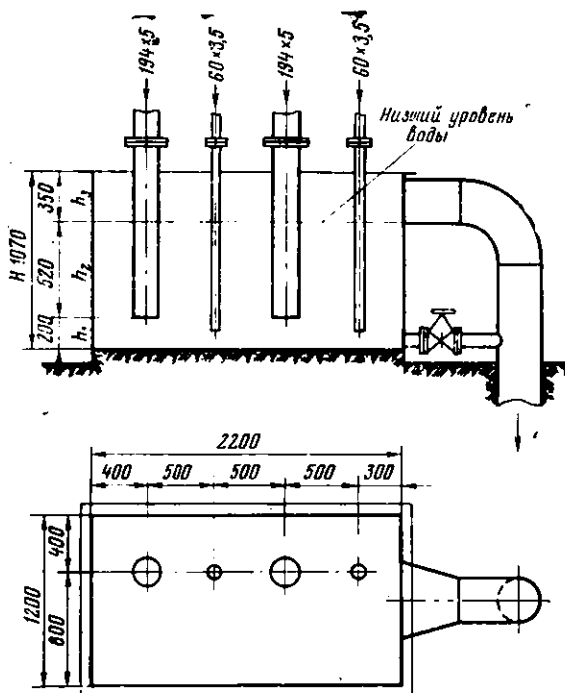


Рис. 53. Барометрическая коробка (к примеру 9).

3. Объем воды, содержащийся во всех барометрических трубах,

$$V_{6.т} = 2l (f'_{6.т} + f_{6.т}) = 2 \cdot 16 (0,02659 + 0,0022) = 0,92 \text{ м}^3.$$

4. Объем воды в барометрической коробке, уровень которой выше нижних концов больших труб, должен быть равен 1,5 объема воды, содержащейся во всех барометрических трубах:

$$V_2 = 1,5 V_{6.т} = 1,5 \cdot 0,92 = 1,38 \text{ м}^3.$$

5. Объему воды V_2 при площади барометрической коробки $F = 2,2 \cdot 1,2 = 2,64 \text{ м}^2$ соответствует высота слоя

$$h_2 = \frac{V_2}{F} = \frac{1,38}{2,64} = 0,52 \text{ м}.$$

6. Площадь сечения $f_{отв}$ трубопровода, отводящего воду из барометрической коробки в отстойник-жироловушку, должна быть, как правило, не менее суммы площадей сечений всех барометрических труб:

$$f_{отв} = 2 (f'_{6.т} + f_{6.т}) = 2 (0,02659 + 0,0022) = 0,05758 \text{ м}^2.$$

Эта площадь соответствует трубе с внутренним диаметром около 270 мм. Так как такие трубы отсутствуют в сортаменте, сливной трубопровод должен быть выполнен из трубы ближайшего большего размера, т. е. размером

325×9 мм, с площадью сечения, равной 0,074 м². Размер сливного трубопровода обычно предусматривается проектом.

Для улучшения стока в месте присоединения сливного трубопровода к коробке сделан плавный переход.

7. Высота от низшего уровня в коробке до ее верха $h_3 = \frac{h_2}{1,5} = 350$ мм. Тогда общая высота коробки $H = h_1 + h_2 + h_3 = 200 + 520 + 350 = 1070$ мм (см. рис. 53).

8. Коробку устанавливают на бетонной подставке высотой около 100 мм. Для спуска воды из коробки при чистке и ремонте у ее низа делается штуцер с задвижкой ($D_y = 100$ мм).

6. ТРУБОПРОВОДЫ

Размер трубопровода определяется его внутренним диаметром $d_{вн}$, вычисляемым по формуле

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4Gv}{3600\pi\omega}} = \sqrt{\frac{4V}{3600\pi\omega}} = 0,0188 \sqrt{\frac{V}{\omega}} \text{ м}, \quad (56)$$

$$\text{или } d_{вн} = 18,8 \sqrt{\frac{V}{\omega}} \text{ мм}, \quad (57)$$

где G — массовый расход протекающей среды в кг/ч;

V — объемный расход протекающей среды в м³/ч;

v — удельный объем протекающей среды в м³/кг;

ω — скорость протекающей среды в м/сек.

Необходимая скорость протекания среды зависит от физических свойств среды и условий работы трубопровода, причем она должна быть в определенных пределах, установленных на основе имеющегося опыта.

Ориентировочно скорость среды можно принять из табл. 11.

Особенно тщательно следует относиться к выбору размеров и условий выполнения барометрических трубопроводов, у которых недопустимы горизонтальные участки и особенно участки с обратными уклонами, так как в них создаются «воздушные мешки», затрудняющие нормальное протекание жидкости. Кроме того, в этих местах при прекращении работы конденсатора остается жидкость, из которой на стенках труб могут выделяться твердые осадки, создающие суженные участки, значительно повышающие гидравлическое сопротивление барометрических труб, что может привести к остановкам и авариям.

При незначительной скорости воды в барометрической трубе (менее 0,6 м/сек), небольшой длине, отсутствии изгибов и при избытке барометрической высоты (более 11 м) правильно выполненный барометрический трубопровод обычно не нуждается в скрупулезном расчете, подтверждающем его работоспособность при наибольшем расходе охлаждающей воды. В иных условиях требуется расчет.

Атмосферное давление, равное 760 мм рт. ст. или 101,3 кН/м², уравновешивается столбом воды (при $\rho_{в} = 1000$ кг/м³) высотой 10,33 м или столбом иной жидкости высотой равной $\frac{10,33}{\rho_{ж} 10^{-3}}$ м. При отводе из конденсаторов охлаждающей воды при температуре от 20 до 40°С обычно принято высоту барометрической трубы, считая ее от нижнего штуцера конденсатора до уровня воды в барометрической коробке, принимать равной не менее 11,0 м.

Необходимая высота барометрической трубы $H_{6,т}$ в каждом конкретном случае может быть рассчитана по формулам:

$$a) H_{6,т} = \frac{10,33}{\rho_{ж} 10^{-3}} \cdot \frac{B}{101,3} + \frac{\omega^2}{2g} \left(2,5 + \lambda_{тр} \frac{L_{тр}}{d_{тр}} \right) + 0,5 \text{ м}, \quad (58)$$

где $\rho_{ж}$ — плотность жидкости в кг/м^3 ;
 B — вакуум в конденсаторе в кн/м^2 ;
 w — скорость жидкости в барометрической трубе в м/сек ;
 $\lambda_{тр}$ — коэффициент внешнего трения (безразмерный);
 $L_{тр}$ — длина барометрической трубы в м ;
 $d_{тр}$ — диаметр внутренней барометрической трубы в м ;
 $2,5$ — коэффициент, учитывающий потери напора в местных сопротивлениях;
 $0,5$ — добавочная высота, учитывающая возможные колебания вакуума в м .

$$6) H_{6,т} = \frac{10,33}{\rho_{ж} \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{760 - P_k}{760} + \frac{w^2}{2g} \left(2,5 + \lambda_{тр} \frac{L_{тр}}{d_{тр}} \right) + 0,5 \text{ м.} \quad (59)$$

где P_k — абсолютное давление в конденсаторе в мм рт. ст. ;

$$в) H_{6,т} = \frac{10,33}{\rho_{ж} \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{101,3 - P_k}{101,3} + \frac{w^2}{2g} \left(2,5 + \lambda_{тр} \frac{L_{тр}}{d_{тр}} \right) + 0,5 \text{ м.} \quad (60)$$

где P_k — абсолютное давление в конденсаторе в кн/м^2 .

Таблица 11

Род среды и тип трубопровода	Скорость в м/сек
<i>Жидкости</i>	
Невязкие (вода и т. п.):	
в самотечных трубопроводах	$0,2 \div 1,0$
в напорных	$1,2 \div 3,0$
во всасывающих трубопроводах насосов	$0,6 \div 2$
Средней вязкости (масла, растворы и т. п.):	
в самотечных трубопроводах	$0,1 \div 0,5$
в напорных трубопроводах	$0,3 \div 1,2$
во всасывающих трубопроводах насосов	$0,2 \div 0,6$
<i>Газы, пары и их смеси</i>	
При естественной тяге	$2 \div 4$
При незначительном избыточном давлении (от $0,005$ до $0,5 \text{ кгс/см}^2$)	$4 \div 15$
При избыточном давлении более $0,5 \text{ кгс/см}^2$	$12 \div 25$
При абсолютном давлении от $0,96$ до $0,5 \text{ кгс/см}^2$	$20 \div 40$
То же, от $0,5$ до $0,2 \text{ кгс/см}^2$	$30 \div 60$
При вакууме менее $0,2 \text{ кгс/см}^2$	$50 \div 80$
В выхлопных и сбросных трубопроводах	$50 \div 100$ и более
Пар водяной насыщенный:	
в магистралях	$25 \div 35$
в ответвлениях	$15 \div 30$
Пар водяной перегретый:	
в магистралях	$30 \div 50$
в ответвлениях	$20 \div 35$

Примечание. При использовании данных табл. 11 следует учитывать, что: а) меньшие значения скоростей относятся к трубопроводам малых размеров (D_u 50 мм и менее); б) для водяного пара с незначительным перегревом (до 30°град.) следует применять скорости как для насыщенного пара; в) во всех ответственных случаях проектирования трубопроводов скорости в них должны быть проверены расчетами обычно по допустимой потере напора (давления).

Коэффициент трения $\lambda_{тр}$ зависит от характера движения жидкости или газа, который может быть определен по величине (безразмерной) числа Рейнольдса Re :

$$Re = \frac{w d \rho}{\mu} = \frac{w d}{\nu}, \quad (61)$$

где w — скорость течения в трубопроводе в м/сек;

d — диаметр трубопровода в м;

ρ — плотность текущей среды в кг/м³;

μ — коэффициент динамической вязкости в кг/(м·сек) $\left[\frac{н \cdot сек}{м^2} \right]$;

ν — коэффициент кинематической вязкости в м²/сек.

Опытами установлено, что при $Re > 2320$ имеет место устойчивое турбулентное течение, а при $Re < 1200$ — устойчивое ламинарно-вязкостное течение. При Re от 1200 до 2320 течение в зависимости от условий может быть турбулентное либо ламинарно-вязкостное.

Характер течения воды в барометрических трубах всегда турбулентный. Так как барометрические трубы имеют шероховатые стенки, то шероховатость k рекомендуется выбирать на основании следующих данных:

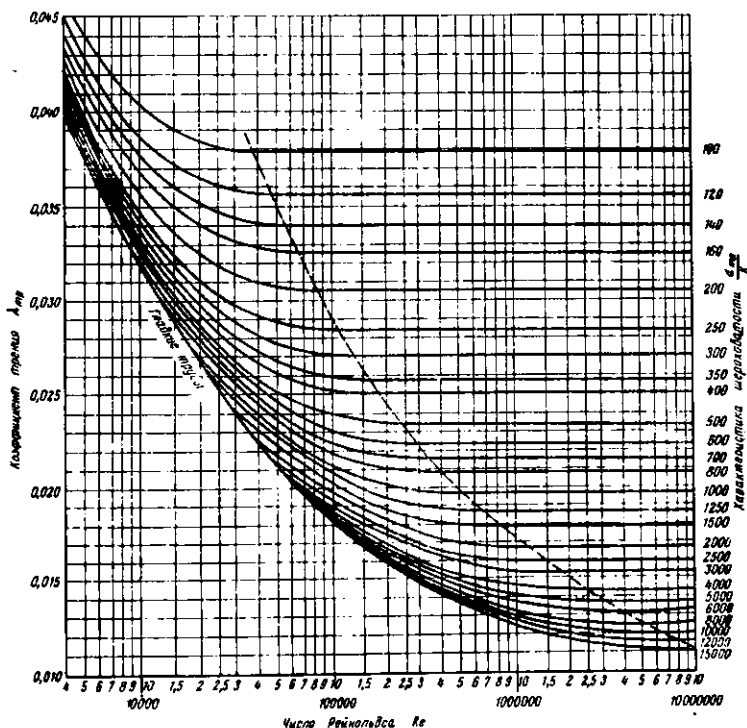


Рис. 54. График (Мурмина) зависимости $\lambda_{тр}$ от Re и $\frac{d_{тр}}{k}$.

а) для труб, не подвергающихся коррозии в процессе работы, $k=0,06-0,10$ мм;

б) для труб, подвергающихся умеренной коррозии, $k=0,2-0,5$ мм.

Для определения коэффициента трения в трубах с шероховатыми стенками при турбулентном течении рекомендуется пользоваться графиком Мурина (рис. 54), дающим зависимости $\lambda_{тр}$ от величины Re и от так называемой характеристики трубопровода, представляющей собой отношение $\frac{d_{тр}}{k}$.

Пример 10. Определить скорость воды и наименьшую барометрическую высоту для ВУ с барометрическим трубопроводом, схематично показанной на рис. 55. Давление в конденсаторе $p_k=45$ мм рт. ст. ($6,0$ кг/м²).

Наибольший расход охлаждающей воды через конденсатор $V_{0.в} = 54$ м³/ч. Барометрическая труба из углеродистой стали размером $159 \times 4,5$ мм. Общая длина трубы (от низа конденсатора до зеркала воды в барометрической коробке) $L_{тр} = 28,5$ м. Шероховатость стенок трубы $k = 0,5$ мм. Плотность воды при $35^\circ C$ $\rho_{ж} = 994,1$ кг/м³.

1. Скорость воды в барометрической трубе с внутренним диаметром 150 мм определяем из формулы (56):

$$w = \frac{4 \cdot 54}{3600 \pi \cdot 0,15^2} \approx 0,85 \text{ м/сек.}$$

$$2. \text{ Отношение } \frac{d_{вн}}{k} = \frac{150}{0,5} = 300.$$

По графику Мурина (рис. 54) находим $\lambda_{тр} = 0,027$.

3. Необходимую наименьшую барометрическую высоту определяем по формуле (59):

$$H_{6.т} = \frac{10,33}{994,1 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{760 - 45}{760} + \frac{0,85^2}{2 \cdot 9,81} \times \\ \times \left(2,5 + 0,027 \frac{28,5}{0,15} \right) + 0,5 = 10,55 \text{ м.}$$

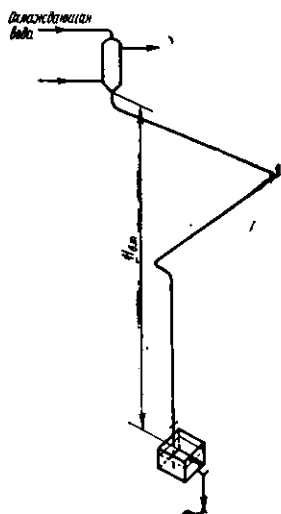


Рис. 55. Схема барометрического трубопровода (к примеру 10).

В трубопроводах с капельными жидкостями при быстром прекращении их движения возникают гидравлические удары, в результате которых резко повышается давление, величина которого определяется по формуле Н. Е. Жуковского:

$$\Delta p = 9,8 \rho w_0 c \text{ кгс/см}^2, \quad (62)$$

где Δp — изменение давления в трубопроводе при мгновенном прекращении течения жидкости в кгс/см²;

ρ — плотность жидкости в кг/м³;

w_0 — скорость жидкости в трубопроводе в м/сек;

c — скорость распространения ударной волны в м/сек.

Скорость распространения ударной волны зависит от жидкости, материала и размеров трубопровода. Так, для воды, протекающей по стальным трубам диаметром 50 мм, $c=1350$ м/сек; при диаметре 600 мм $c=913$ м/сек; для резиновых труб $c=20-30$ м/сек.

При постепенном закрывании запорной арматуры жидкостного трубопровода, и следовательно, при постепенном снижении скорости жидкости, повышение давления в трубопроводе Δp_τ (кгс/см^2) зависит от продолжительности закрывания τ (сек), длины трубопровода L (м) и изменения скорости жидкости, которая при закрывании составляет $w_0 - w_1$ м/сек.

Величину Δp_τ рассчитывают по формуле:

$$\Delta p_\tau = 9,8 \rho c (w_0 - w_1) \left(\frac{L}{c \tau - L} \right) \text{ кгс/см}^2, \quad (63)$$

где w_0 и w_1 — скорости жидкости в трубопроводе до и после закрывания его.

Из уравнения (63) можно определить минимально допустимую продолжительность закрывания арматуры τ :

$$\tau > \frac{2L}{c} \text{ сек.} \quad (64)$$

Во избежание гидравлических ударов для трубопроводов с большими скоростями потока жидкости применяют постепенно закрывающуюся арматуру, в том числе задвижки с большим числом оборотов маховика, что позволяет увеличить время их закрывания и этим предотвратить заметное повышение давления.

Краны (с рычажным приводом), клапаны-отсекатели, быстрозакрывающиеся задвижки и поворотные затворы, быстро останавливающие движение жидкости, в подобных случаях не применяют или применяют с приводами, обеспечивающими необходимую продолжительность закрывания.

Глава VIII

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ УСТРОЙСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАКУУМ-НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

1. ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Для некоторых производств этот вопрос имеет первостепенное значение. В ряде технологических процессов подвергаются обработке или возникают среды, обладающие агрессивными свойствами по отношению к материалам, из которых выполнены оборудование или трубопроводы ВУ. В таких случаях, если своевременно не принять эффективных мер, предотвращающих коррозию, это может привести к выходу из строя ВУ, длительному простоем их в ремонте и к значительным затратам на их восстановление.

В связи со сказанным следует:

- а) использовать оборудование и трубопроводы, выполненные из коррозионно-стойких материалов или имеющих специальные предохранительные покрытия;
- б) поглощать или нейтрализовать агрессивные среды до их попадания в незащищенные элементы ВУ.

Первое мероприятие может быть предусмотрено при конструировании оборудования и проектировании установок, а также при выполнении ремонтных работ. Возможности использования для ВУ пластических масс, лакокрасочных и других материалов возрастают с каждым годом. Вопросы антикоррозионной защиты разрабатывают специализированные организации, а также некоторые отраслевые научно-исследовательские институты, выдающие необходимые рекомендации. Накопленный опыт позволяет находить надежные решения почти для любых условий.

Второе мероприятие состоит в улавливании и нейтрализации агрессивных примесей из отсасываемой среды до ее поступления в основные элементы ВНУ.

На рис. 56 показана одна из схем нейтрализации агрессивных частиц (например, капелек кислоты), содержащихся в отсасываемой среде. Последняя поступает сверху в нейтрализатор А, опускается вниз по барботеру 5, снабженному внизу зубцами или отверстиями, разделяющими газовый поток на множество мелких струй, барботирующих через нейтрализующую жидкость (например, раствор щелочи). Во внешнем кольцевом пространстве нейтрализатора поднимающаяся среда имеет незначительную скорость, обеспечивающую выпадение из нее унесенных крупными каплями. Для более полного выделения жидкости из отсасываемой среды, что необходимо при сухих объемных ВН, после нейтрализатора среда пропускается через ловушку Б инерционного типа. Расчет схем и аппаратов для улавливания и нейтрализации агрессивных сред приведен в специальной литературе.

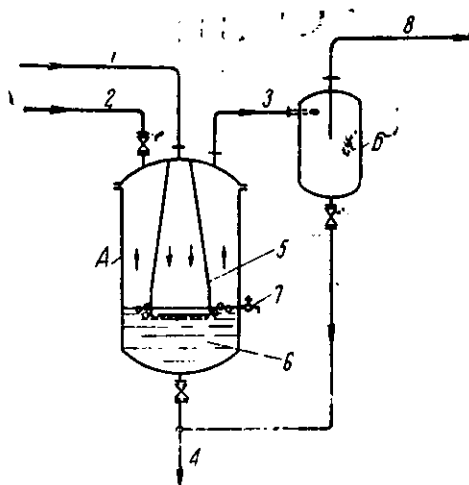


Рис. 56. Схема нейтрализации агрессивных частиц, содержащихся в отсасываемой среде:

А — нейтрализатор; Б — ловушка; 1 — всасывающий трубопровод; 2 — трубопровод для подачи нейтрализующего раствора; 3 — трубопровод от нейтрализатора в ловушку; 4 — трубопровод для спуска жидкости из нейтрализатора и ловушки; 5 — барботер; 6 — нейтрализующая среда (раствор); 7 — кран для контроля уровня в нейтрализаторе; 8 — трубопровод из ловушки к вакуум-нагосу.

Общим и существенным недостатком многих устройств для улавливания и нейтрализации агрессивных частиц является ощутимая потеря давления, затрудняющая использование их в установках глубокого вакуума.

2. РАЗМЕЩЕНИЕ ВАКУУМ-УСТАНОВОК ВНЕ ПОМЕЩЕНИЙ

В настоящее время этот вопрос имеет большое значение, особенно при использовании автоматизированных, непрерывно действующих установок с крупногабаритным оборудованием. Для многих современных производств, связанных с огне- и взрывоопасными работами, а также со значительными тепловыделениями в окружающую среду, открытое размещение ВУ, помимо упрощения и удешевления строительных конструкций и отопительно-вентиляционных установок, позволяет облегчить и обезопасить условия их эксплуатации. Однако при проектировании открытых и полужакрытых установок требуется всесторонний учет условий эксплуатации в холодное время года, вызывающий определенные трудности и связанный с необходимостью разработки новых, часто непривычных решений.

Рядом министерств были приняты решения, устанавливавшие перечень оборудования, подлежащего установке вне капитальных, утепленных зданий. Из этих решений следует, что следующие виды оборудования могут быть установлены на открытых площадках или в зданиях с облегченными конструкциями: парожекторные ВН; конденсаторы всех типов; некоторое технологическое оборудование, работающее под вакуумом (в основном непрерывного действия), — выпарные установки для упаривания некристаллизующихся растворов, экстрак-

ционные, дистилляционные и ректификационные колонны (с системой кипятильников, дефлагматоров и холодильников); теплообменная аппаратура для газов и жидкостей; конденсаторы и холодильники воздушного охлаждения и т. п.

При этом, разумеется, должны быть предусмотрены следующие меры, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию оборудования: использование оборудования и трубопроводной аппаратуры повышенной надежности; устройства для обогрева оборудования и трубопроводов; теплоизоляция оборудования и трубопроводов (неизолируемых при установке в помещении); дистанционное управление; более полная автоматизация контроля и регулирования; устройство дополнительных дренажей и продувок.

Большое значение приобретает правильная компоновка установок, а также эффективный обогрев их оборудования и трубопроводов.

При размещении установок вне отепленных помещений необходимо учитывать возможность использования трубопроводной аппаратуры при отрицательных температурах, что видно из следующих данных.

Материал, из которого изготовлена арматура	Температура наружного воздуха, выше которой арматура может быть использована
Серый чугун	—10° C
Ковкий чугун	—25° C
Углеродистая сталь	—40° C
Сплавы цветных металлов и нержавеющей стали	любые температуры наружного воздуха

На наружных участках трубопроводов, транспортирующих среды, замерзающие с увеличением объема (вода, водные растворы и т. п.), не следует устанавливать задвижки, так как при замерзании они лопаются (чугунные) или деформируются и теряют плотность затвора (стальные). В этих условиях целесообразно использование вентилей или поворотных затворов.

При применении арматуры с пневмо- и электроприводами необходимо учитывать условия их применения, изложенные в инструкциях заводов-изготовителей и иногда ограничивающих их применение вне помещений.

3. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Теплоизоляция приобретает особенно большое значение при размещении установок на открытом воздухе, когда при низких температурах она обеспечивает возможность их нормальной работы. В таких условиях теплоизоляцией покрывают части аппаратов и трубопроводов, которые обычно (но часто необоснованно) остаются неизолированными внутри помещений. К таковым следует отнести: на аппаратах — крышки, люки, фланцевые соединения, штуцеры; у трубопроводов — арматуру, фланцевые соединения, опоры. Благодаря своей сложной конфигурации такие элементы обладают значительной поверхностью охлаждения и вызывают большие потери тепла.

Для оборудования и трубопроводов, работающих при низких температурах (+5—70° C) рабочей среды, также необходимо применять теплоизоляцию для снижения потерь холода (ограничение проникновения тепла из окружающей среды).

Для выполнения теплоизоляции в современных условиях применяют сборные теплоизоляционные конструкции, позволяющие существенно снизить трудоемкость этих работ и рассчитанные на выполнение при холодных поверхностях.

4. ВОПРОСЫ ВОДОИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Создание и поддержание вакуума в производственных установках пищевой промышленности в большинстве случаев связано с потреблением значительных количеств воды, используемой в основном для:

- а) охлаждения частей ВН (поршневых и ротационных);
- б) охлаждения и уплотнения водокольцевых ВН;
- в) отсасывания газов и конденсации паров в водоструйных ВН;
- г) охлаждения и конденсации парогазовой смеси в конденсаторах ВНУ.

В зависимости от способа применения воды, особенностей оборудования, использующего воду, и условий его работы удельные расходы воды могут сильно колебаться.

Практический расход воды на охлаждение цилиндров и крышек поршневых вакуум-насосов колеблется от 3 до 17 л/м³ отсасываемой парогазовой смеси. На охлаждение корпусов ротационных многопластинчатых вакуум-насосов типа РВН расход воды изменяется от 0,4 до 1,05 л/м³. Для ротационных вакуум-насосов с масляным уплотнением расход охлаждающей воды составляет от 3,6 (ВН-500) до 10,4 (ВН-4Г) л/м³. Для водокольцевых вакуум-насосов потребность в воде находится в пределах от 2 до 10 л/м³.

В большинстве вакуум-установок наибольшее количество воды расходуется на охлаждение и конденсацию парогазовой смеси, отсасываемой ВН из технологической аппаратуры.

Большинство технологических процессов пищевых производств, протекающих под вакуумом (сушка, выпаривание, кристаллизация, дистилляция и другие), связаны с выделением значительных количеств водяного пара, составляющего основную часть парогазовых смесей, поступающих в конденсаторы ВНУ, где они охлаждаются и 90—99% их количества конденсируются, отдавая тепло охлаждающей воде.

Количество охлаждающей воды, необходимое для конденсации пара,

$$G_{o,в} = \frac{G_{в,п} (i_{в,п} - c t_{в,к})}{c (t_{в,к} - t_{в,н})} \text{ кг/ч}, \quad (65)$$

где $G_{в,п}$ — количество конденсируемого водяного пара в кг/ч;

$i_{в,п}$ — теплосодержание конденсируемого водяного пара в ккал/кг (кДж/кг);

c — теплоемкость воды; $c=1$ ккал/(кг·град) [4,19 кДж/(кг·град)];

$t_{в,н}$ — температура охлаждающей воды (начальная) в °С;

$t_{в,к}$ — температура охлаждающей воды (конечная) в °С.

Пример 11. Количество конденсируемого водяного пара (насыщенного), поступающего в конденсатор смешения, $G_{в,п}=750$ кг/ч при давлении в конденсаторе $p_k=9$ кн/м² и температуре конденсации пара $t_k=43,8^\circ\text{С}$. Теплосодержание пара $i_{в,п}=2580$ кДж/кг. Температура охлаждающей воды начальная $t_{в,н}=28^\circ\text{С}$.

Для конденсатора смешения недогрев отработавшей охлаждающей воды принимаем $\Delta t=3,8$ град.

Температура охлаждающей воды конечная, на выходе из конденсатора, $t_{в,к}=t_k-\Delta t=43,8-3,8=40,0^\circ\text{С}$.

Количество охлаждающей воды, необходимое для конденсации водяного пара,

$$G_{o,в} = \frac{750 (2580 - 4,19 \cdot 40)}{4,19 (40 - 28)} = 35\,985 \text{ кг/ч}.$$

Таким образом, при нагреве воды в конденсаторе на 12 град удельный расход охлаждающей воды

$$g_{o,в} = \frac{G_{o,в}}{G_{в,п}} = \frac{35\,985}{750} \approx 48 \text{ кг/кг}.$$

Нагрев охлаждающей воды в конденсаторе на 12 град не всегда возможен, особенно в условиях оборотного водопользования. Передки случает,

когда нагрев воды в конденсаторе составляет всего 3-5 град и тогда расходы охлаждающей воды бывают очень велики.

Большое значение приобретает даже незначительное повышение нагрева воды в конденсаторе, особенно, если он измеряется несколькими градусами. Повышение нагрева с 4 до 5 град, т. е. на 25%, приводит к уменьшению расхода воды со 144,9 до 115,7 кг/кг, или на 20%, что при значительных общих расходах ее существенно влияет на размеры водоподающих и водоохлаждающих устройств.

В общем потреблении воды пищевыми предприятиями значительная доля приходится на воду, используемую для охлаждения и конденсации в ВНУ, главным образом в конденсаторах смешения, где эта вода нередко подвергается загрязнению различными погонами, выносимыми парогазовой смесью из технологических аппаратов. Очистка таких барометрических вод при значительном количестве их и слабой концентрации обычно сложна, громоздка и требует больших затрат. Даже при удалении неочищенных или полуочищенных промстоков в городскую или поселковую канализацию (что, как правило, запрещается) стоимость такого удаления составляет 2-3 коп. за 1 м³.

При прямоточной системе водопользования общая стоимость 1 м³ воды, включая стоимость очистки, может составлять до 6-10 коп. Например, при потреблении воды в количестве 100 м³/ч, или 2400 м³/сутки, при цене ее 8 коп./м³ стоимость суточного потребления составит 2400 · 0,08 = 192 руб. Стоимость годового потребления при 300 рабочих сутках составляет 192 · 300 = 57600 руб.

Экономное расходование воды, используемой в ВНУ, может быть достигнуто при широком внедрении оборотного водопользования, применении эффективных способов очистки барометрических вод и повторном их использовании без удаления из системы.

Прямоточная система водопользования возможна при наличии достаточно мощного источника водоснабжения (реки, пруда, озера, артезианский и т. п.), из которого забирается все необходимое количество воды, используемой однократно для охлаждения и конденсации и затем удаляемой. Если отработанная вода остается чистой, что возможно при использовании ее в поверхностных теплообменниках и в конденсаторах, то она может быть удалена в тот же водоем, из которого была взята.

Дело коренным образом меняется, если отработанная вода загрязнена в процессе ее использования. Тогда удаление ее в водоем допускается только после надлежащей очистки, для чего нередко требуется сооружение сложных и дорогих очистных установок.

Прямоточная система водопользования до сих пор применяется в тех случаях, когда для технологического процесса необходимо использование охлаждающей воды с низкой температурой (+8-15°С), что возможно при получении воды из некоторых поверхностных и подземных водоемов.

В случаях, когда можно обойтись без прямоточного водопользования, могут применяться системы оборотного водяного охлаждения, водовоздушного охлаждения и воздушного охлаждения.

Система оборотного водяного охлаждения отличается от прямоточной системы многократным использованием воды для охлаждения и конденсации. Охлажденная вода при температуре $t_{в.н}$ поступает в технологические аппараты и машины, производит в них охлаждение и конденсацию (или что-либо одно) и при этом нагревается до температуры $t_{в.к}$; после этого вода подается в водоохладитель, в котором она охлаждается до температуры $t_{в.н}$ и снова поступает в производство.

На рис. 57 показана схема оборотного водопользования простейшего типа, без загрязнения воды в технологическом (закрытом) оборудовании, с охлаждением ее в башенной градире.

Охлажденная вода забирается насосом 1 из водосборного резервуара градирни 4 и подается в поверхностный конденсатор 2, в котором охлаждает и конденсирует пары, содержащиеся в парогазовой смеси, отсасываемой из технологических аппаратов, а также в охлаждающую рубашку поршневого ВН 3. В конденсаторе и ВН вода нагревается и под напором насоса поступает в во-

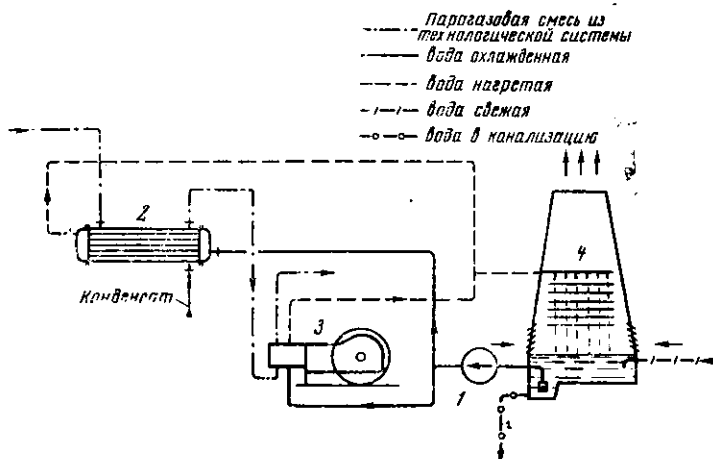


Рис. 57. Схема системы оборотного водоиспользования, без загрязнения воды:
1 — насос циркуляционный; 2 — конденсатор поверхностный; 3 — вакуум-насос; 4 — градирня башенная.

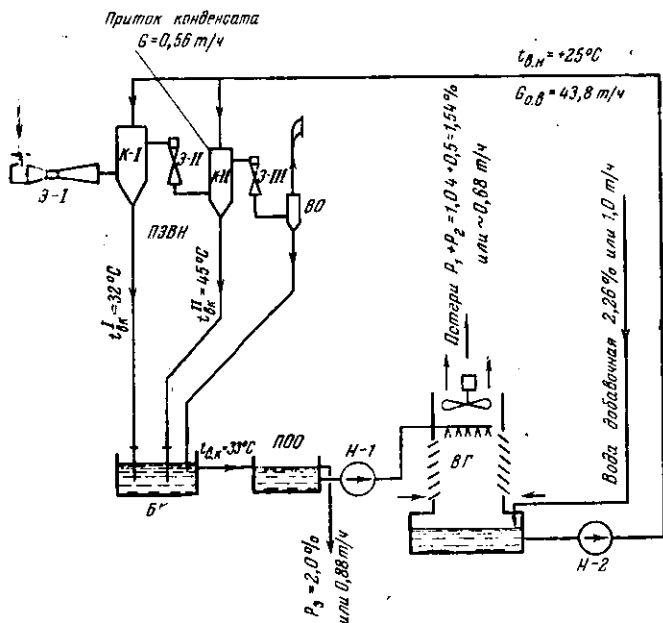


Рис. 58. Схема системы оборотного водоиспользования с ПЭВН, конденсаторами смешения и промежуточной очисткой барометрической воды:

З-І, З-ІІ, З-ІІІ — эжекторы І, ІІ и ІІІ ступеней; К-І, К-ІІ — конденсаторы І и ІІ ступеней; ВО — водоотделитель; БК — барометрическая коробка; ПОО — промежуточная очистка воды отстоєм; Н-І — насос, подающий воду в градирню; Н-2 — насос, подающий воду в конденсаторы; ВГ — вентиляционная градирня.

дораспределительное устройство градирни. В последней вода охлаждается и сливается в водосборный резервуар. Охлаждение воды в градирне в основном происходит за счет ее частичного испарения.

На рис. 58 показана система оборотного водопользования с ПЭВН и конденсаторами смешения. В последних происходит загрязнение охлаждающей воды погонами, уносимыми отсасываемой парогазовой смесью из технологической аппаратуры. Эта система, аналогичная рассмотренной в отношении принципа многократного использования (оборота) воды, циркулирующей в ее контуре, отличается от нее рядом особенностей, имеющих значение для ее устройства в эксплуатации. К ним относятся:

а) небольшая разность температур, используемая водой, т. е. разность $t_{в.к} - t_{в.н}$ составляет $3-10$ град;

б) загрязнение охлаждающей воды из-за попадания в нее различных (растворимых и нерастворимых) погонов; в связи с этим часто требуется промежуточная очистка воды;

в) непрерывное добавление в циркулирующую воду значительного количества водяного конденсата за счет конденсации отсасываемого и рабочего пара ПЭВН.

Подобные установки находят применение при дезодорации жиров и дистилляции жирных кислот.

Работа оборотной системы водопользования, связанной с охлаждением воды в водоохладителях, сопровождается потерями воды. Эти потери, как и вообще все основные вопросы проектирования водоснабжения, регламентированы СНиП II-Г3-62. «Водоснабжение. Нормы проектирования» [19].

При применении любой системы водопользования должны предусматриваться меры, предотвращающие накипеобразование и биологическое обрастание в трубах и теплообменных аппаратах. Учитывается при этом, что кипения охлаждающей воды возле поверхностей теплообмена не происходит и нагревание воды в аппаратах не превышает 60°C .

Для предотвращения накипеобразования в системах водяного охлаждения применяют подкисление, рекарбонизацию, фосфатирование и подкисление совместно с фосфатированием. Борьба с биологическим обрастанием ведется путем периодического хлорирования воды или обработки ее медным купоросом.

В последние годы для предотвращения накипеобразования в теплообменных аппаратах охлаждающую воду подвергают магнитной обработке, заключающейся в пропуске ее через специальный аппарат с сильным магнитным полем. В результате воздействия магнитного поля растворенные в воде накипеобразующие соли теряют способность выпадать в виде твердой накипи на охлаждаемых стенках, образуя вместо этого шлам, выносимый потоком воды. Этот способ очень прост и экономичен, особенно при использовании аппаратов с постоянными магнитами.

При применении в ВНУ поверхностных конденсаторов в последние годы все чаще стали прибегать к использованию закрытых оборотных систем водяного охлаждения, с так называемыми сухими (или радиаторными) градирнями.

На рис. 59 представлена схема такой системы охлаждения, обслуживающей ПЭВН глубокого вакуума. В двух поверхностных конденсаторах КП охлаждается и конденсируется парогазовая смесь, отсасываемая из дистилляционной колонны. Вода, протекающая по трубкам двух последовательно соединенных конденсаторов, нагревается в них с 28 до 40°C ; после этого вода поступает в сухую радиаторную градирню СВГ, установленную на крыше здания. Там вода охлаждается в горизонтальных радиаторах воздухом, подаваемым осевыми вентиляторами, расположенными снизу, до 28°C и снова поступает в циркуляционный насос НЦ, установленный внизу и обеспечивающий непрерывную циркуляцию воды в охлаждающем контуре.

Положительное давление во всем контуре поддерживается специальным водовоздушным ресивером ВВР. Температура охлаждающей воды $+28^\circ\text{C}$ поддерживается независимо от температуры наружного воздуха путем включения необходимого числа вентиляторов, прогоняющих охлаждающий воздух через радиаторы градирни. Такие системы, заполняемые обычно водяным конденса-

том, почти не имеют потерь его, а на охлаждаемых поверхностях отсутствуют какие-либо отложения, ухудшающие условия теплопередачи.

Недостатками таких систем являются повышенные капитальные затраты и большой расход энергии. Однако их преимущества настолько значительны, что в настоящее время эти системы получают большое распространение

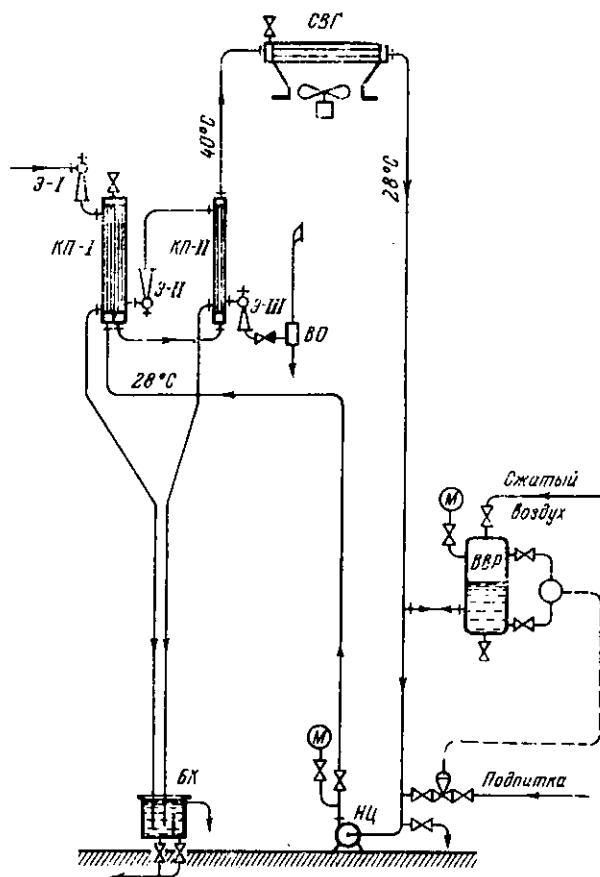


Рис. 59. Схема закрытой оборотной системы водяного охлаждения с сухой градирней:

Э-I, Э-II и Э-III — эжекторы I, II и III ступеней ПЭВН;
КП-I и КП-II — конденсаторы поверхности I и II ступеней;
ВО — водоотделитель; СВГ — сухая вентиляторная градирня;
ВВР — водовоздушный ресивер; НЦ — циркуляционный насос.

Использование воздуха для непосредственного охлаждения и конденсации получило значительное развитие в ряде промышленных стран (США, ФРГ и других), в которых дефицит воды создал необходимые экономические предпосылки. В первую очередь этот метод получил применение в нефтеперерабатывающей и химической промышленности. Имеются основания считать, что в настоящее время непосредственное использование воздуха для охлаждения и конденсации окажется целесообразным и для многих ВУ пищевой промышленности.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА РАЗЛИЧНЫХ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Наименование единиц измерения давления	н/м^2	кгс/м^2	Бар	кгс/м^2 или мм вод. ст.	кгс/см^2 или ат
Ньютон на квадратный метр (н/м^2)	1	10^{-3}	10^{-5}	0,101972	$1,01972 \times 10^{-5}$
Килоньютон на квадратный метр (кн/м^2)	10^3	1	10^{-2}	101,972	$1,01972 \times 10^{-2}$
Бар	10^5	10^2	1	10197,2	1,01972
Килограмм-сила на квадратный метр (кгс/м^2)	9,80665	$9,80665 \times 10^{-3}$	$9,80665 \times 10^{-5}$	1	10^{-4}
Миллиметр водяного столба (мм вод. ст.)					
Килограмм-сила на квадратный сантиметр (кгс/см^2)					
Атмосфера техническая (ат)					
Атмосфера физическая (атм)	101325	101,325	1,01325	10332	1,0332
Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.)	133,322	$133,322 \times 10^{-3}$	$133,322 \times 10^{-5}$	13,595	$13,595 \times 10^{-4}$
Тор					
Фунт-сила на квадратный дюйм (ф/д^2)	6894,76	$6894,76 \times 10^{-3}$	$6894,76 \times 10^{-5}$	703,07	$703,07 \times 10^{-4}$
Дюйм ртутного столба (дюйм рт. ст.)	3386,39	$3386,39 \times 10^{-3}$	$3386,39 \times 10^{-5}$	345,316	$345,316 \times 10^{-4}$

Наименование единиц измерения давления	атм	мм рт. ст. тор	ф/д^2	дюйм рт. ст.
Ньютон на квадратный метр (н/м^2)	$0,98692 \times 10^{-5}$	$7,5006 \times 10^{-3}$	$14,504 \times 10^{-5}$	$29,53 \times 10^{-5}$
Килоньютон на квадратный метр (кн/м^2)	$0,98692 \times 10^{-2}$	7,5006	$14,504 \times 10^{-2}$	$29,53 \times 10^{-2}$
Бар	0,98692	750,062	14,504	29,530
Килограмм-сила на квадратный метр (кгс/м^2)	$0,9678 \times 10^{-4}$	$73,556 \times 10^{-3}$	$1,4223 \times 10^{-3}$	$2,8959 \times 10^{-3}$
Миллиметр водяного столба (мм вод. ст.)				
Килограмм-сила на квадратный сантиметр (кгс/см^2)	0,9678	735,56	14,223	28,959
Атмосфера техническая (ат)	1	760	14,696	29,922
Атмосфера физическая (атм)	$13,1579 \times 10^{-4}$	1	$19,34 \times 10^{-3}$	$39,37 \times 10^{-3}$
Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.)				
Тор				
Фунт-сила на квадратный дюйм (ф/д^2)	$680,46 \times 10^{-4}$	51,7149	1	2,036
Дюйм ртутного столба (дюйм рт. ст.)	$334,2 \times 10^{-4}$	25,40	0,491154	1

**ПАРАМЕТРЫ НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА В ПРЕДЕЛАХ
ТЕМПЕРАТУР от 0 до 120°C**

Темпе- ратура в °C	Давление абсолютное			Удельный объем в м³/кг	Темпе- ратура в °C	Давление абсолютное			Удельный объем в м³/кг
	бар (10⁵ н.м²)	кгс/см²	мм рт. ст. (тор)			бар (10⁵ н.м²)	кгс/см²	мм рт. ст. (тор)	
0	0,00611	0,00623	4,58	206,3	50	0,12335	0,12578	92,52	12,04
+1	0,00657	0,00669	4,92	192,6	51	0,12960	0,13216	97,21	11,50
+2	0,00705	0,00719	5,29	179,9	52	0,13612	0,13880	102,1	10,98
+3	0,00758	0,00772	5,68	168,2	53	0,14292	0,14574	107,2	10,49
+4	0,00813	0,00829	6,10	157,3	54	0,15001	0,15297	112,5	10,02
5	0,00872	0,00889	6,54	147,2	55	0,15740	0,16050	118,1	9,578
6	0,00935	0,00953	7,01	137,8	56	0,16510	0,16835	123,8	9,158
7	0,01001	0,01021	7,51	129,1	57	0,17312	0,17653	129,8	8,757
8	0,01072	0,01093	8,04	121,0	58	0,18146	0,18504	136,1	8,380
9	0,01147	0,01170	8,61	113,4	59	0,19014	0,19390	142,6	8,020
10	0,01227	0,01251	9,20	106,42	60	0,19917	0,2031	149,4	7,678
11	0,01312	0,01338	9,84	99,91	61	0,2086	0,2127	156,5	7,353
12	0,01402	0,01429	10,51	93,84	62	0,2184	0,2227	163,8	7,043
13	0,01497	0,01526	11,22	88,18	63	0,2285	0,2330	171,4	6,749
14	0,01597	0,01629	11,98	82,90	64	0,2391	0,2438	179,3	6,468
15	0,01701	0,01738	12,78	77,97	65	0,2501	0,2550	187,6	6,201
16	0,01817	0,01853	13,63	73,39	66	0,2615	0,2666	196,1	5,947
17	0,01936	0,01975	14,53	69,10	67	0,2733	0,2787	205,0	5,705
18	0,02062	0,02103	15,47	65,09	68	0,2856	0,2912	214,2	5,475
19	0,02196	0,02239	16,47	61,34	69	0,2984	0,3043	223,8	5,255
20	0,02337	0,02383	17,53	57,84	70	0,3117	0,3178	233,8	5,045
21	0,02486	0,02535	18,65	54,56	71	0,3254	0,3318	244,1	4,846
22	0,02643	0,02695	19,82	51,50	72	0,3396	0,3463	254,7	4,655
23	0,02808	0,02863	21,06	48,62	73	0,3543	0,3613	265,8	4,473
24	0,02982	0,03041	22,37	45,93	74	0,3696	0,3769	277,2	4,299
25	0,03166	0,03229	23,75	43,40	75	0,3855	0,3931	289,1	4,133
26	0,03360	0,03426	25,20	41,04	76	0,4019	0,4098	301,4	3,975
27	0,03564	0,03634	26,73	38,82	77	0,4189	0,4272	314,2	3,824
28	0,03779	0,03853	28,34	36,73	78	0,4365	0,4451	327,4	3,679
29	0,04004	0,04083	30,03	34,77	79	0,4547	0,4637	341,1	3,540
30	0,04241	0,04325	31,81	32,93	80	0,4736	0,4829	355,2	3,408
31	0,04491	0,04580	33,69	31,20	81	0,4931	0,5028	369,8	3,282
32	0,04753	0,04847	35,65	29,57	82	0,5133	0,5234	385,0	3,161
33	0,05029	0,05128	37,72	28,04	83	0,5342	0,5447	400,7	3,045
34	0,05318	0,05423	39,89	26,60	84	0,5558	0,5667	416,8	2,934
35	0,05622	0,05733	42,17	25,24	85	0,5781	0,5894	433,5	2,828
36	0,05940	0,06057	44,55	23,97	86	0,6011	0,6129	450,8	2,727
37	0,06274	0,06398	47,06	22,77	87	0,6249	0,6372	468,7	2,629
38	0,06624	0,06755	49,69	21,63	88	0,6495	0,6623	487,2	2,536
39	0,06991	0,07129	52,44	20,56	89	0,6749	0,6882	506,2	2,447
40	0,07375	0,07520	55,31	19,55	90	0,7011	0,7149	525,9	2,361
41	0,07777	0,07931	58,34	18,59	91	0,7281	0,7424	546,1	2,279
42	0,08198	0,08360	61,49	17,69	92	0,7560	0,7710	567,1	2,200
43	0,08639	0,08809	64,80	16,84	93	0,7848	0,8004	588,7	2,124
44	0,09101	0,09279	68,25	16,04	94	0,8145	0,8307	611,0	2,052
45	0,09584	0,09771	71,87	15,28	95	0,8451	0,8619	634,0	1,982
46	0,10088	0,10284	75,64	14,56	96	0,8767	0,8942	657,7	1,915
47	0,10614	0,10821	79,59	13,88	97	0,9093	0,9274	682,2	1,851
48	0,11163	0,11382	83,72	13,23	98	0,9429	0,9616	707,3	1,789
49	0,11736	0,11967	88,02	12,62	99	0,9775	0,9975	733,4	1,730

Темпе- ратура в °С	Давление абсолютное			Удельный объем в м³/кг	Темпе- ратура в °С	Давление висометрическое			Удельный объем в м³/кг
	бар (10³ Н/м²)	кгс/см²	мм рт. ст. (тор)			бар (10³ Н/м²)	кгс/см²	мм рт. ст. (тор)	
100	1,0132	1,0332	760,0	1,673	111	1,4814	1,5106	1111,1	1,173
101	1,0499	1,0707	787,6	1,618	112	1,5316	1,5618	1148,8	1,137
102	1,0876	1,1092	815,9	1,566	113	1,5831	1,6144	1187,5	1,102
103	1,1265	1,1489	845,1	1,515	114	1,6361	1,6684	1227,2	1,069
104	1,1666	1,1898	875,2	1,466	115	1,6905	1,7239	1268,0	1,036
105	1,2079	1,2318	906,1	1,419	116	1,7464	1,7809	1310,0	1,005
106	1,2504	1,2751	937,9	1,374	117	1,8038	1,8394	1353,0	0,9754
107	1,2941	1,3196	970,6	1,331	118	1,8628	1,8995	1397,2	0,9465
108	1,3390	1,3654	1004,3	1,289	119	1,9233	1,9612	1442,6	0,9186
109	1,3852	1,4125	1039,0	1,249	120	1,9854	2,0245	1489,1	0,8917
110	1,4326	1,4609	1074,6	1,210					

Приложение 3

ТИПЫ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ (ГОСТ 10889—64)

Обозначение типоразмеров	Производи- тельность номинальная в м³/мин	Вакуум при номинальной производи- тельности в % от атмосфер- ного давления, не менее	Максимально достигаемый вакуум в % от атмосферного давления, не менее	Удельная мощность, в кВт·м³ в 1 мин, не более	Масса в кг, не более
ВВН -0,75	0,75	60	85	2,8	50
ВВН -1,5	1,5	70	90	2,2	110
ВВН -3	3,0	70	90	2,0	120
ВВН -6	6,0	70	95	2,0	320
ВВН -12	12,0	70	95	1,7	475
ВВН -25	25,0	70	95	1,7	1300
ВВН -50	50,0	70	95	1,7	3000
ДВВН-100	100,0	65	85	1,8	8000
ДВВН-150	150,0	65	85	1,8	12000

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРШНЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ

Показатели	Типы вакуум-насосов									
	ВНК-0,5 М	ВНП-0,75	ВНК-3М	2ВНК-3М	ВНП-3	2ВНП-3	ДВНП-6	2УР-Р300	ВН-120	АВП-9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество ступеней сжатия	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
Количество цилиндров	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
Производительность номинальная объемная (при условиях всасывания) в $\frac{\text{л/сек}}{\text{м}^3/\text{мин}}$	8,3	12,5	48,3	60	50	50	100	93,5	2000	150
Давление всасывания — остаточное при номинальной производительности в $\frac{\text{мм рт. ст.}}{\text{кг/м}^2}$	0,5—10%	0,75	2,9	3,5—10%	3±10%	3±10%	6±10%	5,6	120	9,0
Давление остаточное минимальное (при нулевой производительности) в $\frac{\text{мм рт. ст.}}{\text{кг/м}^2}$	10,7	5,1	15,2	10,1	10,1	5,0	1,33	0,8	8,0	2,5
	80	38	114	76	76	38	10	6	60	22
Давление парогазовой смеси при выходе из насоса в $\frac{\text{мм рт. ст.}}{\text{кг/м}^2}$	5,3	0,73	10,1	5,0	4,0	0,4	0,04	0,04	—	—
	40	5,5	76	38	30	3	0,3	0,3	—	—
Давление парогазовой смеси при выходе из насоса в $\frac{\text{мм рт. ст.}}{\text{кг/м}^2}$	200	140	310	До 107	Атмосферное	До 105	До 111	Атмосферное	До 111	Атмосферное
	200	75	150	До 800	310	До 790	До 832	300	До 832	450
Диаметр цилиндра в мм				150	150	150	210	150	550	300
Ход поршня в мм										

Типы вакуум-насосов

Показатели	Типы вакуум-насосов									
	ВНК-0,5 М	ВНП-0,75	ВНК-3М	2ВНК-3М	ВНП-3	2ВНП-3	ДВНП-6	2VP-P300	ВН-120	АВП-9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр всасывающего штуцера в мм	80	40	125	125	80	100	100	70	400	150
Диаметр нагнетательного штуцера в мм	90	40	125	125	80	80	100	70	350	125
Скорость вращения вала вакуум-насоса в рад/сек	8,4	45,2	17,3	17,3	21,0	23,1	14,2	30,4	14,7	10,5
об/мин	80	430	165	165	200	220	135	290	140	100
Расход охлаждающей воды в м ³ /ч	—	0,12	—	—	до 3,0	до 1,2	4	0,8	9,35	3,0
Мощность потребляемая нормальная в кет	1,5	1,18	5,2	4,6	5	4,0	9,6	7,4	104	—
Мощность потребляемая максимальная в кет	2	1,40	—	—	—	6,0	10	10	150	—
Мощность электродвигателя в кет	2,8	2,8	7	5,5 (7,5)	7	5,5 (7,5)	22	10	200	14
Скорость вращения электродвигателя в рад/сек	149,1	149,1	76,6	76,6 (101,8)	76,6	76,6 (101,8)	62	—	61,4	101,8
об/мин	1420	1420	730	730 (970)	730	730 (970)	590	—	585	970
Общая масса агрегата в кг	560	171	1074	985 (1030)	1018	1035 (1080)	3320	910 без э.л. двигат.	22000	1940 без э.л. двигат.
Габаритные размеры в мм L×B×H	862×665×1725	860×480×835	2730×760×1085	2500×710×900	2380×900×910	2150×1000×900	3545×2066×1733	8265×3755×2744×1500×1400	8265×3755×2744×1500×1400	8265×3755×2744×1500×1400

Примечание. Цифры в скобках относятся к взрывозащищенным электродвигателям и агрегатам, укомплектованным ими.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РОТАЦИОННЫХ ПЛУНЖЕРНЫХ (ЗОЛОТНИКОВЫХ) ВАКУУМ-НАСОСОВ С МАСЛЯНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

Типы вакуум-насосов

Показатели	ВН-1МГ	ВН-4Г (ВН-7)	ВН-6Г (ВН-6ГМ)	ВН-300 (ВН-300М)	ВН-500 (ВН-500М)
Производительность объемная — эффективная скорость откачки в л/сек	18,3 3·10 ⁻³	59 5·10 ⁻³	155 1·10 ⁻²	300 1·10 ⁻²	500 1·10 ⁻²
Давление предельное в мм рт. ст./н/м ²	0,40	0,67	1,33	1,33	1,33
Количество вакуумного масла ВМ-4 на одну заправку вакуум-насоса в л	4	16	55	80	85
Расход охлаждающей воды в м ³ /ч	—	2,2—2,3	2,7—3,0	5,5	6,5
Число оборотов вала вакуум-насоса в минуту	500	500	360	260	210
Тип и мощность электродвигателя в кВт	АОЛ2—32—4; 3	АО2—52—6; 7,5	А2—72—6; 22	А2—82—6; 40	А2—91—6; 55
Диаметр внутренний всасывающего патрубка в мм	75	100	150	200	240
Диаметр внутреннего выхлопного патрубка в мм	32 (1 1/4")	50 (2")	76 (3")	100	130
Габаритные размеры в мм					
длина	954	1370 (1490)	1500 (1520)	2075	2910
ширина	580	770	980	1510 (1705)	1850 (2060)
высота	745	1300	1790	1800	1535
Масса агрегата в кг	282	617 (660)	1490 (1500)	2604 (2612)	4219 (4078)

Примечания. 1. Насос ВН-7 в отличие от насоса ВН-4Г имеет специальное реле для включения и выключения подачи масла, а также гидроконттакт для контроля за подачей охлаждающей воды.

2. Насос ВН-6ГМ в отличие от насоса ВН-6Г, имеет специальное реле для включения и выключения подачи масла, гидроконттакт для контроля охлаждающей воды, датчик температуры и датчик уровня масла.

3. Насос ВН-300М в отличие от насоса ВН-300 имеет центробежное реле оборотов, датчик температуры и датчик уровня масла.

4. Насос ВН-500М в отличие от насоса ВН-500 имеет центробежное реле оборотов, гидрореле, датчик температуры и датчик уровня масла.

5. Для ВН применяется вакуумное масло ВМ-4 (ГОСТ 7903—56) с кинематической вязкостью (47—57) · 10⁻⁶ м/сек при 50°С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Госхимиздат, 1960.
2. Шумский К. П. Вакуумные аппараты и приборы химического машиностроения. Машгиз, 1963.
3. Рамм В. М. Пароструйные вакуум-эжекционные установки. Госхимиздат, 1949.
4. Соколов Е. Я. и Зингер Н. М. Струйные аппараты. «Энергия», 1970.
5. Цейтлин А. Б. Пароструйные вакуумные насосы. Изд-во «Энергия», 1965.
6. Кузнецов В. И. Механические вакуумные насосы. ГЭИ, 1959.
7. Пелеев А. И. Эксплуатация вакуум-насосов в мясной и молочной промышленности. Пищепромиздат, 1955.
8. Тетерюков В. И. Ротационные вакуум-насосы и компрессоры с жидкостным поршнем. Машгиз, 1960.
9. Руткевич И. Г. Современные парозежекторные вакуум-насосы, ЦИНТИ-пищепром, 1961.
10. Киселев В. И. Насосы, компрессоры и вентиляторы. Metallurgizdat, 1961.
11. Гипронефтемаш. Парозежекторные вакуум-насосы для индивидуального и мелкосерийного изготовления. Альбом чертежей и конструкций. М., 1961.
12. Труб И. А. Каскадные конденсаторы смешения. Изд-во «Пищевая промышленность», 1969.
13. Шумелишский М. Г. Эжекторные холодильные установки. Госторгиздат, 1961.
14. Кирсанов И. Н. Конденсационные установки. Изд-во «Энергия», 1965.
15. Фролов Е. С. и др. Вакуумные системы и их элементы. Справочник-атлас. Изд-во «Машиностроение», 1968.
16. СНиП. II—Г.14—62. Технологические стальные трубопроводы условным давлением до 100 кг/см² включительно. Нормы проектирования. Стройиздат.
17. СНиП. III—Г.9—62*. Технологические трубопроводы. Правила производства и приемки работ. Стройиздат.
18. СНиП. III—Г.10—66. Технологическое оборудование. Общие правила производства и приемки работ. Стройиздат.
19. СНиП. II—Г.3—62. Водоснабжение. Нормы проектирования. Стройиздат.
20. Иванов Е. А. и др. Трубопроводы в химической промышленности, 1963.
21. Бакланов Н. А. Трубопроводы в химической промышленности, 1953.
22. ГОСТ 5197—50. Вакуумная техника. Терминология.
23. ГОСТ 1867—57. Вакуум-насосы низкого вакуума. Типы и основные параметры.
24. ГОСТ 10889—64. Машины волокоольцевые. Типы и основные параметры.
25. МН 1804—61. Вакуум-насосы парозежекторные. Основные параметры и размеры.
26. ГОСТ 5747—63. Вакуум-фильтры дисковые.
27. ГОСТ 5748—68. Вакуум-фильтры барабанные ячеиковые с наружной фильтрующей поверхностью.

28. Соловьев Н. В. и др. Основы техники безопасности и противопожарной техники в химической промышленности. Изд-во «Химия», 1966.
29. Григорьев В. М., Боголюбов К. С. К вопросу об использовании ротационных вакуум-насосов с жидкостным поршнем для откачки водовоздушной смеси. «Химическое и нефтяное машиностроение», 1963, № 3.
30. Инж. Носкина Л. М., к. т. н. Цирлин А. М., Румянцев В. А. О влиянии удельного веса и вязкости рабочей жидкости на характеристику жидкостнокольцевого компрессора. «Химическое и нефтяное машиностроение», 1965, № 11.
31. Тетерюков В. И., Феоктистов Г. И., Нусинов Я. Е. Фаолитовый ротационный вакуум-насос с жидкостным поршнем. «Химическое и нефтяное машиностроение», 1962, № 5.
32. Материалы Мелитопольского компрессорного завода по вакуум-насосам типа ВНК-3М, ВНП-3, 2ВНК-3М, 2ВНП-3 и ДВНП-6.
33. Материалы Бессновского компрессорного завода по вакуум-насосам типа ВВН-1,5; ВВН-3; ВВН-6 и ВВН-12, ВВН-3Н, ВВН-12Н, ФВВН-11, ВВН-1,5М и 2ВВНУ-4,25.
34. Каталоги и проспекты ф. «Сименс-Шуккерт А. Г.». ФРГ.
35. Каталоги и проспекты ф. «Нейрет-Бейлиер». Гренобль, Франция.
36. Каталоги и проспекты ф. «Унодзава-Гуми Айрон Воркс». Япония.
37. Каталоги и проспекты ф. «Хик Харгрив и К°». Англия.
38. Каталоги и проспекты ф. «В. Виганд КГ». ГДР.
39. Триполко С. С. Повышение предельного вакуума водокольцевых и ротационных пластинчатых вакуум-насосов с помощью газового эжектора. «Химическое машиностроение», 1962, № 5.
40. Инж. Литвин О. П. О конструктивных схемах конденсаторов смешения. «Химическое и нефтяное машиностроение», 1965, № 9.
41. Знаменский Г. М. Технологическое оборудование свеклосахарных и рафинадных заводов. Пищепромиздат, 1957.
42. Материалы Мелекесского химмашзавода по вакуум-насосам: ВН-1; ВН-2,5; ВН-5; ВН-10; ВН-20.
43. Берман Л. Д., Ефимочкин Г. И. Методика расчета водоструйного эжектора. Теплоэнергетика, 1964, № 8.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение		3
Глава I. Общие сведения о вакууме и вакуум-насосах		7
Глава II. Объемные вакуум-насосы		10
1. Поршневые вакуум-насосы		10
Вакуум-насосы ВНК-3М и ВНП-3		14
Вакуум-насосы 2ВНК-3М и 2ВНП-3		14
Вакуум-насос глубокого вакуума АВП-9		14
Вакуум-насос ДВНП-6		18
2. Ротационные вакуум-насосы с масляным уплотнением		19
Пластинчато-роторные вакуум-насосы (система Гэде)		20
Пластинчато-статорные вакуум-насосы (система Сенко)		22
Плунжерные (золотниковые) вакуум-насосы		22
3. Ротационные многопластинчатые вакуум-насосы		22
4. Ротационные двухроторные вакуум-насосы		22
5. Водокольцевые вакуум-насосы		22
Вакуум-насосы КВН малой производительности		22
Вакуум-насосы РМК-2, РМК-3 и РМК-4		22
Вакуум-насосы ВВН-1,5, ВВН-3, ВВН-6 и ВВН-12		34
Вакуум-насосы ВВН-50 и ВВН-25		40
Вакуум-насосы фирмы «Сименс» (ФРГ)		40
Вакуум-насосы фирмы «Neuret Beylier» (Франция)		40
Вакуум-насосы фирмы «Унодзава» (Япония)		40
6. Вакуум-насосные установки с объемными вакуум-насосами		44
Глава III. Струйные (эжекционные) и комбинированные вакуум-насосы		46
1. Принципы работы струйных вакуум-насосов		46
2. Пароэжекторные (пароструйные) вакуум-насосы (ПЭВН)		49
Пароэжекторные вакуум-насосы ВН-1, ВН-2,5, ВН-5, ВН-10 и ВН-20		54
Пароэжекторный вакуум-насос фирмы «Виганд» (ГДР)		57
Четырехступенчатый ПЭВН фирмы «Вейнекк»		58
Элементы пароэжекторных вакуум-насосов		60
3. Водоструйные вакуум-насосы (эжекторы)		62
4. Использование эжекторов в комбинированных вакуум-насосных агрегатах		62
5. Установки со струйными и комбинированными вакуум-насосами		63
Установки с ПЭВН		63
Установки с водоструйными вакуум-насосами		63
Установки с комбинированными вакуум-насосными агрегатами		64
Глава IV. Конденсаторы и вспомогательные устройства		64
1. Общие сведения о конденсаторах		64
2. Конденсаторы смешения		66
3. Поверхностные конденсаторы		70

4. Вспомогательные устройства вакуум-установок
 - Ловушки для примесей из парогазовой смеси
 - Вакуум-ресиверы
 - Устройства для уменьшения содержания воздуха в охлаждающей воде
 - Открытые емкости — гидрозатворы для приема и отвода охлаждающей воды с конденсатом или конденсата
 - Устройства на выпускных трубопроводах вакуум-насосов

Глава V. Трубопроводы

1. Общие сведения о трубопроводах
2. Особенности трубопроводов вакуум-установок
 - Трубопроводы для парогазовой смеси (вакуумные)
 - Трубопроводы для воды (рабочей и охлаждающей) и технологического конденсата
 - Трубопроводы для водяного пара и его конденсата
3. Трубы и их соединения
4. Прокладки и сальниковые набивки
5. Тепловые удлинения и их компенсация
6. Арматура трубопроводов
 - Задвижки
 - Вентили
 - Краны
 - Обратные и предохранительные клапаны

Глава VI. Эксплуатация вакуум-насосных установок

1. Общие условия
2. Поршневые вакуум-насосы
3. Ротационные вакуум-насосы с масляным уплотнением
4. Водокольцевые вакуум-насосы
5. Пароэжекторные и водоструйные вакуум-насосы
6. Конденсаторы смешения и поверхностные конденсаторы
7. Вспомогательные устройства
8. Трубопроводы
9. Контрольно-измерительные приборы
10. Методы проверки и поддержания герметичности вакуум-установок
11. Условия, обеспечивающие надежную и экономическую работу вакуум-установок
12. Вопросы техники безопасности

Глава VII. Расчет и выбор вакуум-насосных установок и их элементов

1. Общие сведения и исходные данные
 - Назначение и характер вакуум-установки
 - Состав, свойства и параметры отсасываемой среды
 - Давление (вакуум) в установке
 - Производительность (массовая или объемная)
2. Выбор типа вакуум-насоса и схемы установки
 - Назначение вакуум-насосной установки и режим ее работы
 - Состав, свойства и температура отсасываемой среды
3. Установки с объемными вакуум-насосами
4. Конденсаторы
5. Вспомогательные устройства
6. Трубопроводы

Глава VIII. Некоторые вопросы устройства и эксплуатации вакуум-насосных установок

1. Защита оборудования и трубопроводов от действия агрессивных сред
2. Размещение вакуум-установок вне помещений

	Стр.
3. Теплоизоляция	134
4. Вопросы водопользования	134
Приложения	140
Приложение 1. Таблица перевода различных единиц измерения давления	140
Приложение 2. Параметры насыщенного водяного пара в пределах температур от 0 до 120°С	141
Приложение 3. Типы и основные параметры водокольцевых вакуум-насосов (ГОСТ 10889—64)	142
Приложение 4. Технические характеристики поршневых вакуум-насосов	143
Приложение 5. Технические характеристики отечественных пластинчато-роторных вакуум-насосов с масляным уплотнением	145
Приложение 6. Технические характеристики отечественных ротационных плунжерных (золотниковых) вакуум-насосов с масляным уплотнением	146
Литература	147

Иван Георгиевич Руткевич

**ВАКУУМ-НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ
В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Редактор А. З. Хмельницкая
Худож. редактор С. Р. Нак
Технический редактор Н. Н. Зиновьева
Корректор В. П. Патик
Художник М. В. Носов

Т-15798 Сдано в набор 4/VI-1971 г.
 Подписано к печати 27/X-71 г.
Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типограф. № 2
Печ. л. 9,5 Уч.-изд. л. 13,85 Тираж 4000 экз.
Заказ № 643а Цена 69 коп. Изд. № 4611
 Тематический план 1971 г. Поз. № 33

Издательство «Пищевая промышленность».
Москва, Б-120, Мрузовский пер., д. 1

Московская типография № 19
Главполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР,
наб. Мориса Тореза, 34