

Б. С. ДАНИЛИН

ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ И АГРЕГАТЫ

Под редакцией Р. А. НИЛЕНДЕРА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1957 ЛЕНИНГРАД

В книге приводится описание принципов работы и конструктивного оформления вращательных и пароструйных металлических вакуумных насосов и вакуумных агрегатов отечественного производства с указанием ряда их эксплуатационных данных.

Книга рассчитана на лиц, занимающихся выбором, монтажом и эксплуатацией вакуумного оборудования; она может служить также учебным пособием для студентов высших учебных заведений, специализирующихся в области электровакуумной техники, при проектировании различных вакуумных установок.

Автор Данилин Борис Степанович

ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ И АГРЕГАТЫ

* * *

Техн. редактор *Л. М. Фридкин*

Сдано в пр во 15/1 1957 г. Подписано к печати 16/IV 1957 г.
 Бумага 84×108^{1/32} Печатн. л. 5,74 Уч.-изд. л. 6,
 Т-03738 Тираж 7 000 Цена 3 р 20 к. Зак 35

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вакуумная техника — одна из наиболее молодых областей прикладной науки, особенно сильно выросшая за послевоенные годы и проникшая из стен лабораторий в самые различные области промышленного производства.

Широкое применение вакуумной техники неразрывно связано со значительными успехами в области получения и измерения вакуума, конструирования металлических вакуумных систем, разработки эффективных методов отыскания течей в вакуумных системах и разрешением других важных вопросов вакуумной техники.

Несмотря на то, что вакуумные насосы уже давно используются в электровакуумной промышленности и ряде других производств, до настоящего времени не было отдельного справочного руководства по насосам отечественного производства. Отдельные очень краткие сведения о них были помещены в некоторых книгах и журнальных статьях [Л. 1, 7, 15]. Поэтому автор поставил перед собой задачу собрать, обобщить и по возможности систематизировать отдельные разрозненные сведения о конструкциях современных вакуумных насосов и агрегатов отечественного производства.

Автор надеется, что собранный им материал окажется полезным при решении некоторых задач, связанных с созданием различных типов вакуумных систем и установок.

Так как подобного рода руководство создается впервые, то, естественно, не исключена возможность наличия в нем неточностей, требующих исправления и введения каких-либо дополнений, за указание которых автор будет признателен.

В заключение автор выражает благодарность профессору Р. А. Нилендеру, доценту П. И. Соколову и инженеру А. Б. Цейтлину за просмотр рукописи и ряд ценных указаний и советов.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
I. Введение	5
II. Вращательные масляные насосы	9
1. Пластинчато-роторные насосы	11
2. Пластинчато-статорные насосы	18
3. Золотниковые (плунжерные) насосы	20
а) Насосы ВН-1 и ВН-2	21
б) Насосы ВН-4 и ВН-6	26
III. Вращательные многопластинчатые насосы	31
IV. Высоковакуумные пароструйные насосы	34
1. Парортутные и паромасляные насосы	34
2. Вспомогательные (бустерные) насосы	63
V. Вакуумные агрегаты	68
VI. Особенности эксплуатации вакуумных насосов	77
VII. Рекомендации по выбору насосов	87

Приложения

1. Технические параметры и характеристики масляных вращательных насосов	94
2. Технические характеристики вращательных многопластинчатых насосов	96
3. Технические параметры и характеристики парортутных насосов	97
4. Технические параметры и характеристики высоковакуумных насосов	99
5. Технические параметры и характеристики высоковакуумных насосов единой серии	100
6. Технические параметры и характеристики вакуумных агрегатов	102
7. Технические параметры и характеристики вспомогательных (бустерных) насосов	106
8. Технические характеристики азотных ловушек, применяемых в вакуумных агрегатах	107
9. Краткие сведения о зарубежных вакуумных насосах	109
Литература	112

I. ВВЕДЕНИЕ

Вакуумные насосы находят себе в последнее время самое широкое применение в различных областях промышленности. В первую очередь следует отметить производство радиоламп, приемных и передающих телевизионных трубок, фотоэлементов, рентгеновских трубок, ламп накаливания, ртутных ламп, газоразрядных приборов.

С помощью быстродействующих вакуумных насосов производится откачка печей для вакуумной плавки и пайки, больших металлических ртутных выпрямителей, высоковольтных осциллографов, электронных микроскопов, установок для катодного распыления, установок для нанесения покрытий под вакуумом, вакуум-спектрографов, масс-спектрометров, циклотронов, установок для молекулярной дистилляции и ряда других устройств в различных областях науки и производства.

Современные вакуумные насосы делятся на две основные группы:

1. Объемные вращательные масляные насосы, действие которых основано на механическом выталкивании газа, заполняющего рабочий объем, движущимися частями насоса.

2. Пароструйные вакуумные насосы, работа которых основана на откачивающем действии струи пара рабочей жидкости (за счет диффузии или вязкостного захвата).

Любой вакуумный насос характеризуется тремя основными параметрами:

А) Предельным давлением или предельным вакуумом, т. е. минимальным давлением, которое может быть достигнуто данным насосом.

Предельное давление является, вообще говоря, суммой парциальных давлений остаточных газов и паров рабочей жидкости. Однако, ввиду того что свойства рабочей жидкости не связаны непосредственно с качеством самого насоса, предельный вакуум как параметр насоса обычно оценивается только по парциальному давлению остаточных газов,

тем более, что парциальное давление паров рабочей жидкости можно снизить до весьма малого значения с помощью вымораживающих ловушек.

Предельное давление для большинства вращательных масляных насосов обычно достигает величины 10^{-3} мм рт. ст. и зависит от следующих факторов:

1. Качества заливаемого в насос масла, его вязкости и растворенных в нем примесей.

2. Растворимости откачиваемого газа в масле.

3. Величины вредного пространства, из которого газ механически не выбрасывается при работе насоса.

4. Качества масляного уплотнения.

5. Герметичности корпуса и подшипников вала.

Предельное давление пароструйного высоковакуумного насоса зависит в основном не от конструкции насоса, а от свойств его рабочей жидкости и прежде всего от упругости ее паров при температуре холодильника насоса. Применяемое в большинстве современных паромасляных насосов вакуумное масло марки Д-1 имеет упругость паров $2 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст. при 20°C .

Как показывает опыт работы с пароструйными насосами, величина предельного давления зависит от чистоты рабочей жидкости и количества растворенных в ней примесей и газов.

У паромасляных насосов величина предельного давления может сильно возрасти в том случае, если допустить перегрев масла или же соприкосновение горячего масла с атмосферным воздухом, в результате которого образуются летучие продукты, имеющие значительную упругость пара.

Поскольку предельные давления, достигаемые современными пароструйными насосами, весьма низки (порядка 10^{-6} — 10^{-7} мм рт. ст.), большое значение для их работы имеют чистота обработки и герметичность стенок насоса и всей вакуумной системы.

Б) Максимальным выпускным давлением, т. е. предельно большим значением давления на стороне выпускного патрубка насоса, превышение которого приводит к возрастанию давления на стороне впускного патрубка насоса.

У вращательных масляных насосов максимальное выпускное давление несколько выше атмосферного.

В пароструйных высоковакуумных насосах выпускное давление значительно ниже, чем у вращательных; оно редко превышает $1 \rightarrow 2 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст. Поэтому для обеспечения нормальной работы пароструйного насоса необходимо

его выпускной патрубок присоединить к всасывающему патрубку вращательного насоса, создающего требуемое предварительное разрежение. Включение пароструйного насоса на откачку допускается лишь тогда, когда давление в откачиваемой вакуумной установке не превосходит максимального выпускного давления насоса.

В) Быстротой действия, т. е. объемом газа, проходящим под давлением p через сечение впускного патрубка насоса в единицу времени. Быстрота действия насоса (употребительны также термины «быстрота откачки» и «скорость откачки») определяется формулой

$$S_{*} = \frac{Q}{p},$$

где Q — количество газа, удаляемое насосом из объема в единицу времени;

p — давление у впускного патрубка насоса.

В вакуумной технике количество газа принято выражать в единицах pV , так как количество газа в объеме V зависит от давления p , при котором находится газ.

Быстрота действия насоса обычно характеризуется производной по времени от объема удаляемого газа при давлении, имеющем место в данный момент времени:

$$S_{*} = \left(\frac{dV}{dt} \right)_p.$$

Если задана кривая откачки, показывающая изменение давления в откачиваемом объеме со временем, то для определения быстроты действия насоса поступают следующим образом. Обозначив величину откачиваемого объема через V и давление в нем через p , и полагая, что давление в откачиваемом объеме совпадает с давлением у входа в насос (считая при этом, что длина трубопровода незначительна), можно написать, что за время dt в насос поступает количество газа, равное $pS_{*}dt$; за тот же промежуток времени в объекте произойдет убыль газа, равная Vdp . Эти количества газа, очевидно, равны, но противоположны по знаку, следовательно,

$$pS_{*}dt = -Vdp,$$

или

$$S_{*}dt = -V \frac{dp}{p}.$$

Для определения S_n необходимо проинтегрировать полученное уравнение. Поскольку быстрота действия неодинакова при различных давлениях у входа в насос (будучи наибольшей в начальные моменты откачки, она уменьшается по мере снижения давления, а при достижении предельного давления становится равной нулю) то S_n является функцией давления, и следовательно, при интегрировании мы имеем право вынести эту величину за знак интеграла лишь при условии, что интегрирование производится в достаточно узких пределах. В этом случае быстрота действия насоса будет определяться как средняя для интервала давления за взятый короткий промежуток времени.

Приняв начальное давление за p' , а давление в момент времени t за p'' , имеем:

$$S_n \int_0^t dt = -V \int_{p'}^{p''} \frac{dp}{p},$$

или

$$S_n t = V \ln \frac{p'}{p''}.$$

Переходя от натуральных логарифмов к десятичным и разделив обе части уравнения на t , получим следующее выражение для быстроты действия насоса:

$$S_n = 2,3 \frac{V}{t} \lg \frac{p'}{p''}.$$

Быстрота действия вращательных насосов определяется объемом газа, удаляемого насосом за один оборот ротора, и скоростью вращения ротора; как видно из рис. 3, она сильно зависит от давления.

Быстрота действия большинства пароструйных высоковакуумных насосов определяется главным образом площадью сечения впускного патрубка, в силу чего практически в достаточно широких пределах не зависит от давления удаляемого газа (рис. 37).

К дополнительным параметрам вращательных насосов, относятся число оборотов в минуту, мощность двигателя, расход воды, расход масла и т. д.

К дополнительным параметрам пароструйных насосов, помимо мощности подогревателя и расхода воды, относятся так называемые удельные характеристики, показывающие величину мощности, затрачиваемой в данном насосе для получения быстроты откачки 1 л/сек, а также быстроту от-

качки насоса в л/сек, отнесенную к единице площади входного отверстия.

Обе эти удельные характеристики говорят о том, насколько совершенна та или иная конструкция пароструйного насоса. Существенным параметром высоковакуумного насоса является также его термодинамический к. п. д. (работа сжатия, отнесенная к единице мощности).

II. ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ МАСЛЯНЫЕ НАСОСЫ

Назначение вращательных масляных насосов — удаление основной массы газа из откачиваемого объема и создание разрежения порядка 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст.

Эти насосы не рекомендуется применять для откачки воздуха с повышенным содержанием кислорода, а также газов, способных активно взаимодействовать с металлами и маслами (хлор, фтор, хлористый водород и др.); для перекачки воздуха или газа из одной емкости в другую насосы вообще непригодны.

Вращательные масляные насосы находят самостоятельное применение для откачки объемов в тех случаях, когда не требуется более высокий вакуум; они же используются в качестве вспомогательных насосов, создающих разрежение, необходимое для обеспечения нормальной работы высоковакуумных пароструйных насосов.

Основная часть всех этих насосов — эксцентричный ротор, разгораживающий рабочую камеру насоса на несколько объемов. Это достигается применением лопастей, которые могут находиться в скользящем контакте с эксцентриком, будучи закрепленными на статоре (пластинчато-статорные насосы), или же скользить по внутренней поверхности статора, вращаясь вместе с ротором (пластинчато-роторные насосы) или, наконец, путем соприкосновения поверхности статора с самим вращающимся ротором, которому в этом случае придается специальная форма (золотниковые насосы).

Объем рабочей камеры, механически увеличиваясь и уменьшаясь, соединяется в момент своего наименьшего значения с впускным патрубком насоса. При увеличении объема рабочей камеры в нее через впускной патрубок засасывается откачиваемый газ. Газ поступает в рабочую камеру до тех пор, пока последняя в момент своего наибольшего объема снова не разединится со стороной впуска. При следующем за этим уменьшении объема происходит сжатие

газа до давления выше 1 ат, пока он не откроет выпускного клапана, предохраняющего насос от обратного проникновения газа из атмосферы.

При высоких значениях предельного вакуума, которые требуются от современных вращательных насосов, даже наиболее тщательная взаимная пригонка деталей насосов оказывается недостаточной, чтобы воспрепятствовать протеканию газа со стороны высокого давления на сторону впуска. Высокие значения предельного вакуума в этом случае достигаются тем, что небольшие зазоры между движущимися частями и деталями выпускного клапана уплотняются масляной пленкой, обеспечивающей достаточно высокую герметичность.

Для хорошей работы вращательного масляного насоса решающее значение имеет качество заливаемого в него масла.

Поскольку масло прежде всего служит для изолирования областей с различным давлением, оно должно обладать при рабочей температуре насоса (около 60°С) достаточной вязкостью, причем вязкость не должна быть чрезвычайно высокой во избежание ненужного повышения работы сил трения, а следовательно, и величины потребляемой мощности.

Далее, от масла требуется, чтобы оно не содержало легколетучих составляющих. Характеристикой этого служит температура вспышки, которая обычно не должна быть ниже 200°С.

Таблица 1

Основные требования, предъявляемые к маслу ВМ-4

Наименование показателей	Норма
Кинематическая вязкость (отношение динамической вязкости масла к его плотности при температуре определения) в сантистоксах:	
а) при 50°С в пределах	47—57
б) при 100°С в пределах	8—11
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С в пределах	206—213
Разность температур вспышки, определяемых в открытом и закрытом тигле, °С не более	12
Температура застывания, °С не выше	—15
Упругость паров при 20 С, мм рт. ст. не более	4·10 ⁻⁵
Коксуемость, % не более	0,2
Зольность, % не более	0,005
Содержание механических примесей, % не более	0,007
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла не более	0,2

Кроме того, масло не должно содержать воды, водорастворимых кислот и щелочей и его свойства не должны изменяться в процессе эксплуатации.

Из вакуумных масел отечественного производства для вращательных масляных насосов чаще всего используется масло марки ВМ-4; масла других марок (турбинное и др.) применяются значительно реже.

Масло ВМ-4 (ГОСТ 7903-56) представляет собой машинное масло марки СУ, из которого в результате вакуумной перегонки отогнаны 12—15% низкокипящих фракций.

Основные требования, предъявляемые к этому маслу, приведены в табл. 1 (стр. 10).

1. Пластинчато-роторные насосы

Устройство насоса этого типа представлено на рис. 1. Камера насоса 1 помещена в бак 2, заполненный маслом. Насос имеет впускной патрубок 3, соединенный с откачным пространством 4. В этом пространстве вращается поршень насоса, состоящий из барабана 5 (ротора) и двух пластин 6, расположенных в его прорезях. Между этими двумя пластинами находятся стальные пружины, обеспечивающие плотное прилегание пластин к цилиндрической стенке камеры насоса. Ось вращения барабана совпадает с его геометрической осью, но смещена вверх относительно центра камеры таким образом, чтобы барабан при своем вращении постоянно соприкасался со стенкой камеры насоса. При работе насоса пластины постоянно перемещаются вдоль прорезей в барабане, разграничивая область всасывания газа от области, где происходит его сжатие и выхлоп.

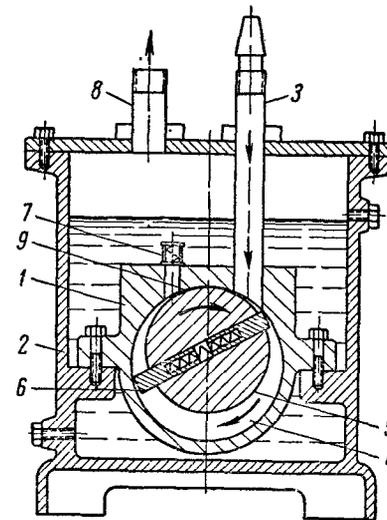


Рис. 1. Устройство одноступенного пластинчато-роторного насоса.

1 — камера; 2 — бак; 3 — впускной патрубок; 4 — откачное пространство; 5 — барабан; 6 — пластина; 7 — клапан (шарик с пружиной); 8 — выпускной патрубок; 9 — вредное пространство (между выпускным патрубком и местом сопряжения барабана со стенкой камеры)

В процессе перемещения барабана в направлении, указанном стрелкой, объем, соединенный с впускным патрубком насоса, увеличивается и откачивается газ засасывается в этот объем. При дальнейшем перемещении барабана пластины, расположенные в его прорезях, отсоединяют этот объем от впускного патрубка 3, после чего объем уменьшается, газ в нем сжимается, открывает выхлопной клапан 7 и через

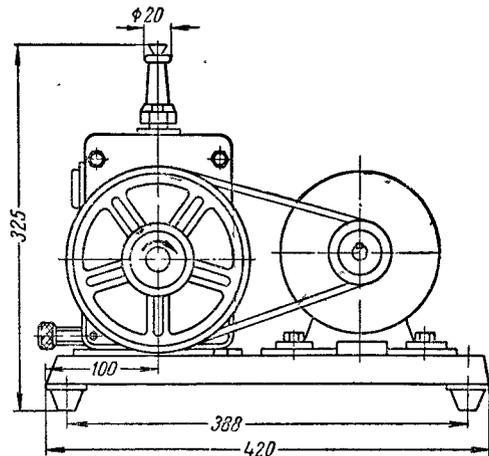


Рис. 2. Пластино-роторный насос ВН-494.

выпускной патрубком 8 выбрасывается за пределы насоса. Выхлопной клапан насоса расположен ниже уровня масла в баке; слой масла над клапаном обеспечивает дополнительное уплотнение клапана и затрудняет обратное проникновение атмосферного воздуха внутрь насоса.

Поочередная работа пластин при вращении поршня обеспечивает непрерывное всасывание и выбрасывание газа, а следовательно, откачку вакуумной системы, к которой насос присоединяется своим впускным патрубком. Наиболее распространенным видом насосов пластино-роторного типа является насос ВН-494 (рис. 2, 3, 4). Этот насос чаще всего используется совместно с высоковакуумными и бустерными насосами (типа ДМН-20, ММ-40А, Н-5Р, Н-40Р, ДРН-10) для создания необходимого для их работы предварительного разрежения.

Предельный вакуум, создаваемый насосом, зависит прежде всего от надежного уплотнения всех мест, в которых

происходит трение подвижных деталей насоса; это достигается тем, что весь насос погружается в бак, наполненный вакуумным маслом.

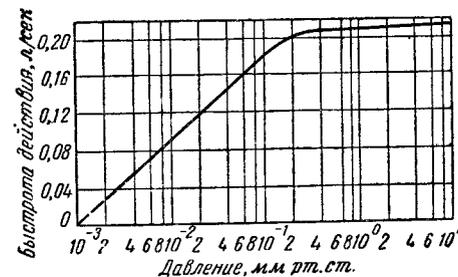


Рис. 3. Зависимость быстроты действия пластино-роторного насоса ВН-494 от давления.

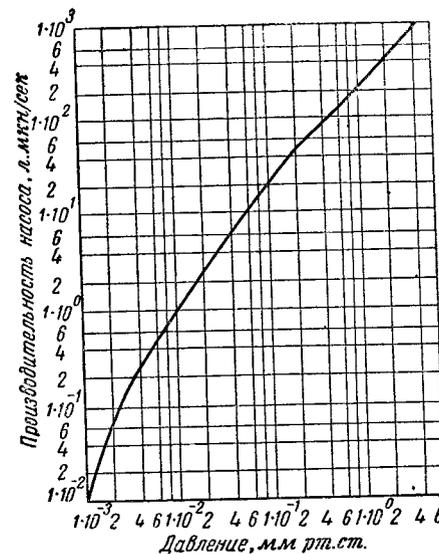


Рис. 4. Зависимость производительности насоса ВН-494 (количества газа, удаляемого насосом в секунду) от давления в откачиваемом сосуде.

Существенное влияние на величину предельного вакуума оказывает так называемое вредное пространство (между выпускным патрубком и местом соприкосновения барабана

со стенкой камеры). Газ, остающийся в объеме, ограниченном вредным пространством, не может открыть клапан и выйти за пределы насоса; в результате этого в насосе непрерывно циркулирует некоторое количество газа, ухудшающего создаваемый насосом предельный вакуум.

Однако улучшению предельного вакуума помогает то обстоятельство, что масло, проникая во вредное пространство и частично заполняя его, уменьшает тем самым количество остаточных газов.

Существенное улучшение предельного вакуума достигается использованием специальных двухступенных насосов, имеющих один впускной патрубок и одно выпускное отверстие, но состоящих из двух секций, последовательное соединение которых выполнено под уровнем масла в баке, в который помещаются обе секции.

Благодаря последовательному соединению двух секций достигается значительное снижение противодействия для секции, ближайшей к откачиваемому объекту, и количество прорывающихся газов становится значительно меньшим, что существенно улучшает предельный вакуум, не отражаясь на скорости действия насоса.

В настоящее время пластинчато-роторные насосы в основном применяются для откачных автоматов, причем в этом случае они, как правило, конструируются в виде так называемых многократных насосов, когда в одном масляном баке монтируется до 12 отдельных насосов (секций), соединяемых между собой в любых комбинациях (рис. 5).

К числу пластинчато-роторных насосов относится также изготовляемый заводом «Уралэлектроаппарат» насос ФН-11, имеющий быстроту действия около 1 л/сек и используемый в качестве насоса предварительного разрежения при откачке металлических ртутных выпрямителей.

Устройство этого насоса показано на рис. 6. Блок насоса погружен в бак с турбинным маслом марки Л и отделен от откачиваемого объема краном пробкового типа. Кран насоса снабжен изображенным на рис. 7 автоматическим устройством, которое полностью устраняет возможность проникновения масла в вакуумную систему при остановке насоса.

Это устройство (рис. 7) состоит из небольшого вспомогательного насоса 2, укрепленного на валу барабана, цилиндра 12 с поршнем 15, штоком 13, пружиной 9 и вилкой 11, преобразующей поступательное движение штока во вращательное движение, необходимое для поворота пробки крана.

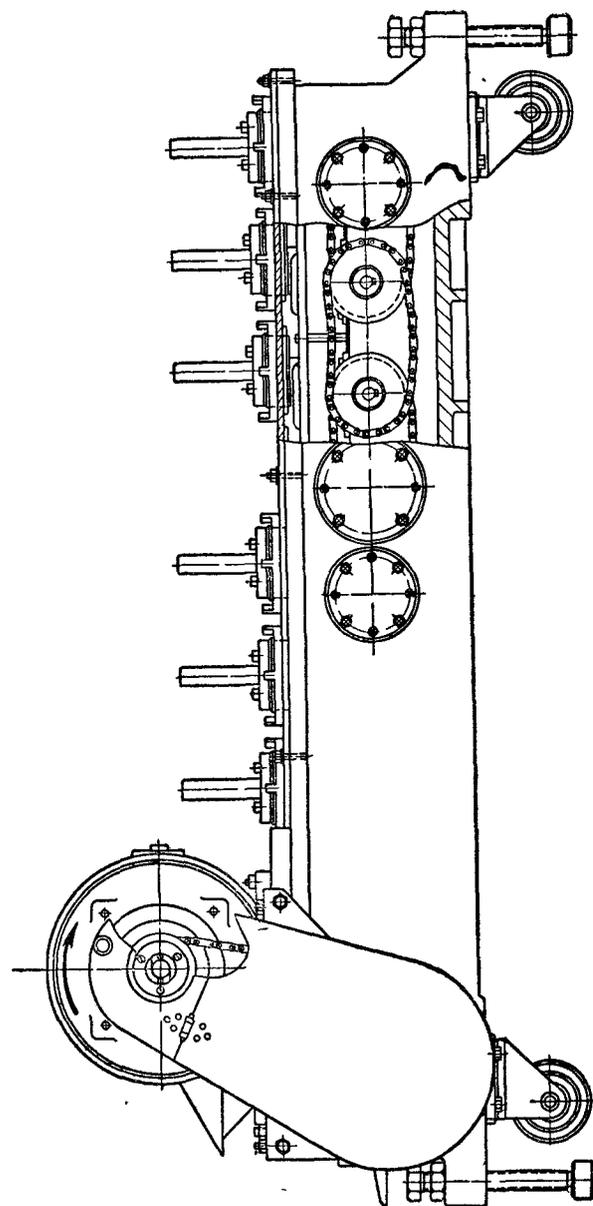


Рис. 5. Двенадцатикамерный вращательный масляный насос.

При включении электродвигателя начинает вращаться вал барабана и вспомогательный насос забирает через фильтр 5 масло из бака насоса 1 и накачивает его под поршень через соединительные трубки. Давление масла поднимает поршень на высоту 31 мм, выше которой поршень не

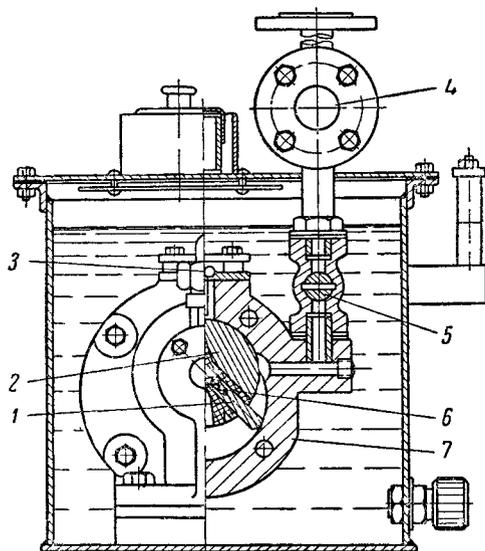


Рис. 6. Разрез блока насоса ФН-11.

1 — пластина; 2 — барабан; 3 — шарик; 4 — контрольное стекло; 5 — пробка крана; 6 — пружина; 7 — корпус насоса.

может подняться, так как в стенке цилиндра имеется отверстие 14, через которое масло свободно выходит в бак. Поршень, двигаясь вверх, сжимает пружину и через вилку, соединенную со штоком, поворачивает пробку крана на 90°, соединяя насос с откачиваемым объемом.

Часть масла постоянно вытекает из отверстия 7 в отрезке соединительной трубки. Количество вытекающего масла может регулироваться при помощи винта 8, закрепленного контргайкой.

При остановке электродвигателя вспомогательный насос перестает подавать масло под поршень, и последний под действием пружины опускается вниз. Вилка крана поворачивается, и кран автоматически закрывается.

Насос монтируется на общей раме с электродвигателем, который изолирован от рамы и насоса при помощи гетина-

ковых прокладок и гетинаксовой шайбы в муфте соединения. Изоляция рассчитана на рабочее напряжение 3 300 в, так как всасывающий патрубок насоса через трубопровод герметично сочленяется с корпусом выпрямителя, находящимся под напряжением, а обмотка электродвигателя имеет невысокую изоляцию и практически может считаться заземленной в одной из фаз.

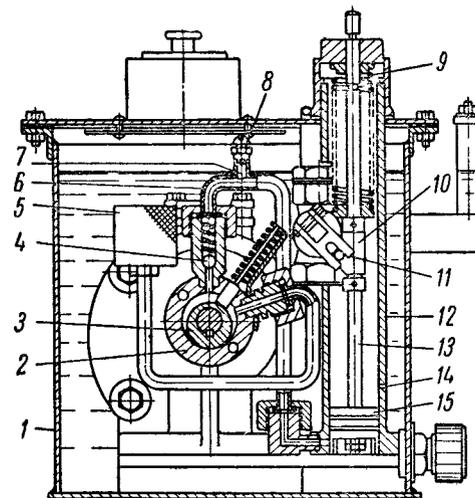


Рис. 7. Автоматическое устройство крана насоса ФН-11;

1 — бак; 2 — корпус вспомогательного насоса; 3 — кривошип; 4 — шарик; 5 — фильтр; 6 — соединительная трубка; 7 — регулировочное отверстие; 8 — регулировочный винт; 9 — пружина поршня; 10 — цапфа; 11 — вилки; 12 — цилиндр; 13 — шток; 14 — выходящее отверстие; 15 — поршень.

Кроме этих насосов, в последние годы была разработана также конструкция малогабаритного двухступенного пластинчато-роторного насоса НВГ-3. Насос имеет герметичный корпус и индукционный привод. Предельный вакуум, создаваемый насосом $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., выпускное давление около 1 000 мм рт. ст. В насос заливается около 90 см³ вакуумного масла ВМ-4. Мощность электродвигателя 0,3 кв.

Габариты насоса 253 × 220 × 210 мм; вес без масла 15 кг. Максимальная быстрота действия около 0,065 л/сек.

Изменение быстроты действия насоса НВГ-3 в диапазоне давлений 0,01 — 1 мм рт. ст. представлено на рис. 8.

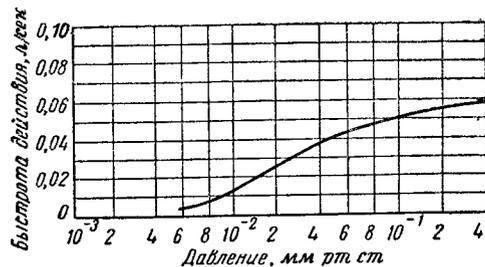


Рис 8. Зависимость быстроты действия насоса НВГ-3 от давления.

2. Пластинчато-статорные насосы

На рис. 9 представлен схематический чертеж наиболее распространенного пластинчато-статорного насоса ВН-461. Ротор 2 вращается по оси, совпадающей с геометрической осью камеры (для смещения центра тяжести к оси вращения в роторе высверливаются соответствующие полости). Одной

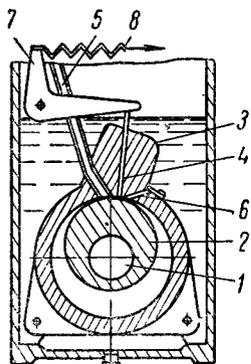


Рис. 9. Устройство пластинчато-статорного насоса.

1 — вал; 2 — ротор; 3 — статор; 4 — пластина; 5 — впускной патрубок; 6 — выпускной патрубок; 7 — рычаг; 8 — пружина.

из своих образующих ротор 2 при вращении все время скользит по цилиндру камеры и тем самым отделяет в откачном пространстве определенные объемы. Разделение впускной и выпускной сторон осуществляется уплотнительной пластиной 4, перемещающейся в прорези статора 3. Пластина 4 под давлением рычага 7, натянутого пружиной 8, плотно прилегает к поверхности эксцентрично насаженного на вал 1 ротора 2.

Механизм всасывания и выбрасывания газа насосом заключается таким образом в изменении объема его рабочей камеры.

В насосах этого типа количество мест, где имеется опасность прорыва газа в сторону разрежения сведено до минимума (такими местами

здесь являются только места соприкосновения ротора с камерой и пластиной). Отсутствие прорезей в роторе в свою очередь устраняет возможность просачивания воздуха в сторону впускного патрубка.

Вредное пространство в этих насосах также значительно уменьшено по сравнению с вредным пространством у пластинчато-роторных насосов.

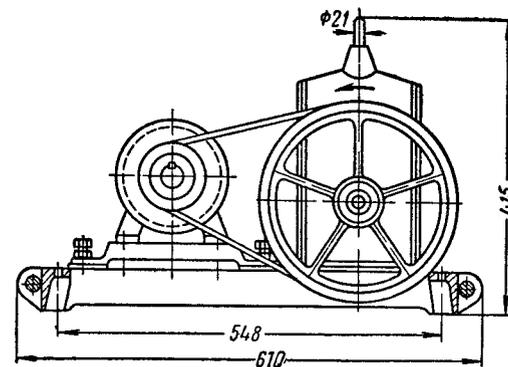


Рис. 10. Пластинчато-статорный насос ВН-461М.

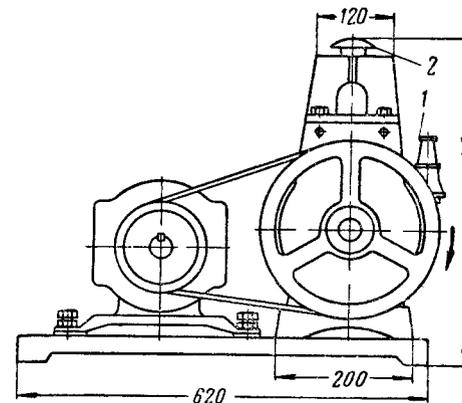


Рис. 11. Пластинчато-статорный насос РВН-20.
1 — впускной патрубок, 2 — выпускной патрубок.

Чаще всего пластинчато-статорные насосы делают двухступенными. При этом оба барабана вращаются на одном валу, и расположены таким образом, чтобы первый барабан, ближайший к выпускному патрубку, выбрасывал воздух или газ в то время, когда второй барабан производит всасывание.

Наиболее распространенными видами насосов пластинчато-статорного типа являются насосы ВН-461М и РВН-20 (рис. 10 и 11), которые чаще всего применяются для различ-

ного рода откачных постов и лабораторных установок. Эти насосы используются совместно с высоковакуумными насосами, имеющими сравнительно небольшую быстроту действия (ДРН-50, ММ-40А, Н-1С, ЦВЛ-100 и т. д.).

Пластинчато-статорный двухступенный насос НВГ-1 отличается от насоса ВН-461М наличием герметичного корпуса, индукционного привода, системой патрубков с вентилями для слива и залива масла и масляной ловушкой.

Быстрота действия этого насоса такая же, как у насоса ВН-461М (около 50 л/мин).

У пластинчато-статорного насоса НВГ-2 обе откачные камеры соединены в параллель, вследствие чего быстрота действия увеличена до 100 л/мин; насос также имеет герметичный корпус и индукционный привод.

3. Золотниковые (плунжерные) насосы

Устройство золотникового (плунжерного) насоса показано на рис. 12. На эксцентричный ротор 1 надевается цилиндрическая обойма (плунжер) 2, от которой отходит открытый сверху полый параллелепипед 3 с отверстиями 4. При вращении ротора обойма катится, несколько проскальзывая по стенке камеры, параллелепипед совершает колебательное движение, скользя вверх и вниз в золотнике. Это позволяет обойме одновременно выполнять две функции: всасывать откачиваемый газ или воздух через верхнее отверстие параллелепипеда и отверстие 4 и выбрасывать его через выпускной патрубок с клапаном 5. Путь воздуха или газа при откачке показан на рис. 12 стрелками.

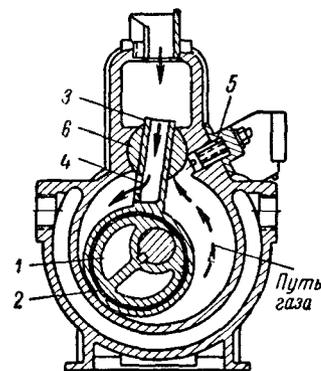


Рис 12. Устройство золотникового (плунжерного) насоса.

1 — ротор; 2 — цилиндрическая обойма, 3 — полый параллелепипед, 4 — отверстие, 5 — выпускной патрубок с клапаном, 6 — золотник

Существенным преимуществом этих насосов является уменьшение количества мест, в которых имеется опасность прорыва газа в сторону разрежения, еще на одно по сравнению с пластинчато-статорными насосами. Здесь всасывающая сторона отделяется от выбрасывающей не пластиной, скользящей по барабану, как в пластинчато-статорном насосе, а жестко скрепленной с обоймой плоской

частью плунжера, скользящей по прорези золотника 6. Кроме того, вредное пространство в этих насосах сведено к относительно еще меньшему объему. Благодаря меньшему трению между подвижными частями насоса нет необходимости погружать весь корпус насоса в бак с маслом.

В насосах этого типа применяется принудительная циркуляция масла. Масло в виде весьма мелких брызг (масляного тумана) вместе с откачиваемым воздухом попадает из выпускного патрубка в так называемый сепаратор, откуда по мере накопления в охлажденном виде оно поступает обратно в насос.

У крупных насосов золотникового типа подача масла в определенные участки насоса (внутри рабочего пространства, к сальникам и т. п.) регулируется специальными вентилями, которыми снабжены трубы, идущие от сепаратора. При остановке насоса перекрывается вентиль масляного трубопровода, чем устраняется опасность попадания масла в вакуумную систему. Стенки корпуса у крупных насосов делаются полыми для охлаждения их проточной водой.

Золотниковые насосы самые высокопроизводительные из всех типов вращательных масляных насосов (быстрота действия у них достигает сотен литров в секунду).

Они предназначены для быстрой откачки воздуха и не вступающих в реакцию с черным металлом и вакуумным маслом неконденсирующихся газов из герметичных разрежаемых сосудов значительного объема.

Эти насосы применяются также для поддержания определенной степени вакуума в коллекторах и централизованных подводах к откачным автоматам и другим вакуумным установкам.

Кроме того, эти насосы используются совместно с высоковакуумными пароструйными насосами единой серии, имеющими большую быстроту действия.

Насосы имеют значительные габариты и вес и предназначены для работы в стационарных (неподвижных) установках, находящихся в помещении с температурой окружающего воздуха от +10 до +30° С.

а) Насосы ВН-1 и ВН-2

Золотниковые насосы ВН-1 и ВН-2 — вращательные, двухплунжерные, последовательного действия с масляным уплотнением, воздушным охлаждением и принудительной смазкой. Насос и электродвигатель смонтированы на общей

фундаментной чугунной плите, как это видно из рис. 13 и 14.

Насосы не имеют водяного охлаждения и не приспособлены для откачки воздуха или газов из емкостей значительных объемов (более 1 м^3).

Производить откачку воздуха из больших объемов, начиная с атмосферного давления, нельзя, так как при прокачивании больших масс воздуха из этих насосов выбрасывается

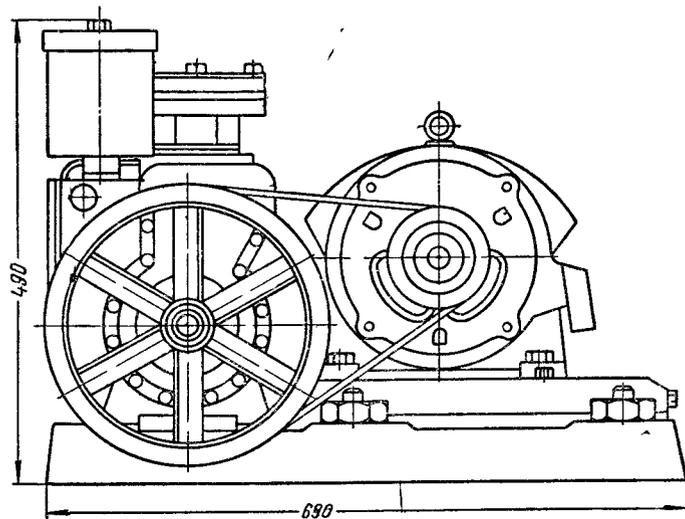


Рис. 13. Золотниковый вращательный насос типа ВН-2.

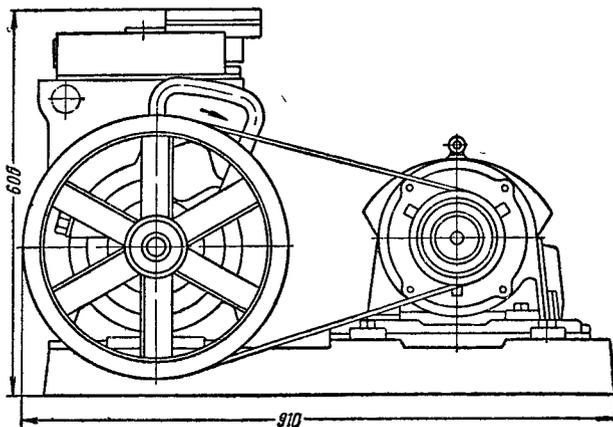


Рис. 14. Золотниковый вращательный насос типа ВН-1.

масло, и они перестают работать. Поэтому завод-изготовитель насосов ВН-1 и ВН-2 не гарантирует безотказную их работу при давлениях всасывания выше $1 \cdot 10^{-1} \text{ мм рт. ст.}$ Правда, опыт эксплуатации показывает, что насосы ВН-1 и

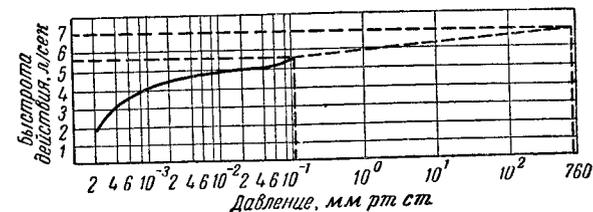


Рис. 15. Зависимость быстроты действия насоса ВН-2 от давления¹.

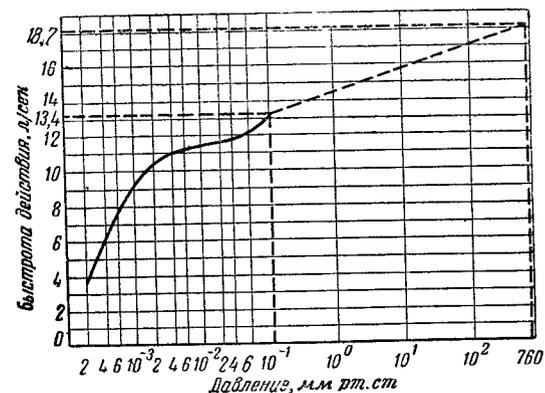


Рис. 16. Зависимость быстроты действия насоса ВН-1 от давления¹.

ВН-2 длительное время безотказно работают и при давлении всасывания около 1 мм рт. ст. В исключительных случаях, когда все же приходится откачивать объемы, начиная с атмосферного давления, нужно ограничивать поступление воздуха в насос с помощью вентиля перед насосом. Оба насоса одинаковы по конструкции и отличаются в основном габаритами и быстротой действия. Насос ВН-2 имеет быстроту действия при давлении на всасывающей трубке $10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$ около 5 л/сек ; в насосе ВН-1 она достигает $11,5 \text{ л/сек}$ (рис. 15 и 16).

¹ Быстрота действия насоса в диапазоне давлений от $1 \cdot 10^{-1}$ до 760 мм рт. ст. показана пунктиром условно.

Золотниковые масляные насосы ВН-2 и ВН-1 в заводской и лабораторной практике используются не только для получения предварительного разрежения, необходимого для обеспечения нормальной работы быстродействующих насосов единой серии (Н-5С, Н-2Т, Н-5Т, Н-8Т), но они применяются также для обеспечения таких процессов, как сушка, дистилляция и т. д. Однако механические насосы обычной конструкции не приспособлены для откачки паров и парогазовых смесей. В насосе в течение периода сжатия откачиваемые пары целиком или частично конденсируются. При многократном повторении этого процесса в каждом периоде сжатия происходит обогащение насосного масла конденсатом. Смесь масла с конденсатом, попадая на сторону впуска и испаряясь, значительно ухудшает предельный вакуум насоса.

Вода, попавшая в масло, образует эмульсию — механическую смесь масла и воды.

В результате взаимодействия воды с окислами металлов, постоянно присутствующими в насосе за счет непрерывных процессов окисления его трущихся частей, образуются гидраты окислов. Эти гидраты окислов, в свою очередь взаимодействуя с растворенными в масле органическими кислотами, образуют мыла, являющиеся катализаторами процессов окисления и осмоления масла. Масло становится более густым и менее пригодным для использования в качестве уплотнителя. Трущиеся поверхности насоса покрываются пленкой смолообразных продуктов окисления масла. Ротор насоса, работающего продолжительное время без промывки и замены масла, в результате осмоления начинает туго проворачиваться. В конечном итоге сильное осмоление может привести к поломке насоса или выходу из строя электродвигателя.

Для того чтобы иметь возможность откачивать пары воды и парогазовую смесь, в настоящее время золотниковые насосы ВН-2 и ВН-1 снабжаются специальным устройством для напуска в камеру насоса атмосферного воздуха (так называемого балластного газа) с целью предотвращения конденсации паров при их сжатии в процессе откачки. Каждое такое устройство состоит из крана-дозатора, воздухопровода и штуцера с клапаном. Кроме устройства для напуска воздуха, на усовершенствованных (газобалластных) насосах вместо фильтров установлены маслоотбойники.

Помимо насосов ВН-1 и ВН-2 газобалластное устройство имеется у пластинчато-статорного насоса ВН-461М. Принцип

действия вращательного масляного насоса, снабженного газобалластным устройством, можно уяснить при помощи схемы, изображенной на рис. 17. Процесс откачки начинается с того, что через впускной патрубок 2 в объем I из откачиваемого сосуда всасывается парогазовая смесь. В процессе вращения эксцентричного ротора I объем I отсекается от впускной патрубка и занимает положение II (рис. 17,б); при этом открывается отверстие 3, которое ранее было перекрыто ротором. Через это отверстие в камеру сжатия напускается атмосферный воздух (балластный газ), количество которого подбирается таким образом, чтобы давление, необходимое для открывания выпускного клапана насоса, достигалось прежде, чем парциальное давление паров станет равным давлению насыщения.

При дальнейшем перемещении ротора (положение в) отверстие 3 вновь закрывается, давление в камере за счет сжатия газа продолжает расти до тех пор, пока не откроется клапан и парогазовая смесь не будет выброшена в атмосферу.

Дозатор имеет четыре фиксируемые позиции: 0, 1, 2, 3, в порядке возрастания количества напускаемого в насос воздуха, которое зависит от давления пара в откачиваемом сосуде. Чем больше давление пара, тем раньше (при меньшем сжатии) получается давление насыщения и тем большее количество воздуха требуется для того, чтобы не допустить образования конденсата.

Максимально допустимое давление паров воды на входе в насос ВН-1, снабженный газобалластным устройством, — 3 мм рт. ст., у насоса ВН-2 — 4 мм рт. ст.

Производительность насоса изменяется с изменением давления паров воды на входе в насос, как это видно из рис. 18. Предельный вакуум газобалластных насосов несколько

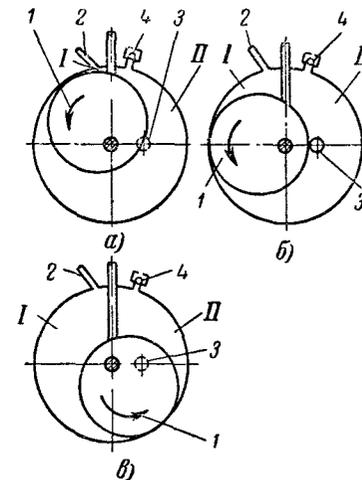


Рис. 17. Схема действия газобалластного насоса.

1 — ротор; 2 — впускной патрубок; 3 — отверстие, соединяющее насос с атмосферой; 4 — выпускной патрубок.

ко хуже, чем у аналогичных насосов, не имеющих газобалластных устройств, что объясняется облегчением условий перетока газа со стороны выхлопа на сторону впуска.

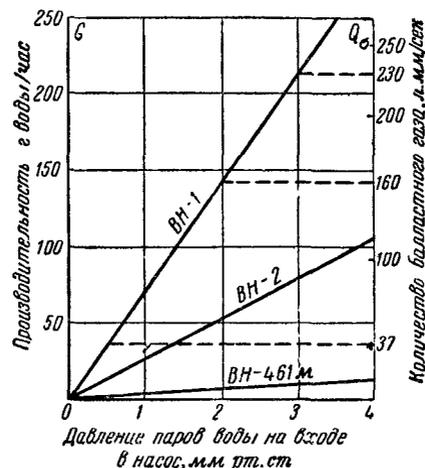


Рис. 18. Производительность механических насосов с газобалластным устройством при откачке паров воды (по К. Савинскому).

б) Насосы ВН-4 и ВН-6

Золотниковые насосы ВН-4 и ВН-6—вращательные двух-плунжерные, параллельного действия, с масляным уплотнением, водяным охлаждением и принудительной смазкой. Внешний вид насосов представлен на рис. 19 и 20. Существенным отличием насосов ВН-4 и ВН-6 от ранее описанных насосов ВН-2 и ВН-1 является резкое увеличение быстроты их откачки за счет включения обеих камер насоса в параллель. Как видно из рис. 21 и 22, быстрота действия насоса ВН-4 при давлении 10^{-1} мм рт. ст.—около 35 л/сек. Насос ВН-6 при этом же давлении имеет быстроту действия около 110 л/сек. Одновременно несколько ухудшается предельный вакуум (у насоса ВН-6 он составляет величину порядка $1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. против $3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. у насосов ВН-1 и ВН-2). Стенки корпусов у насосов ВН-4 и ВН-6 выполнены полыми и охлаждаются в процессе работы проточной водой. Расход воды в насосе ВН-4 составляет 200—300 л/час,

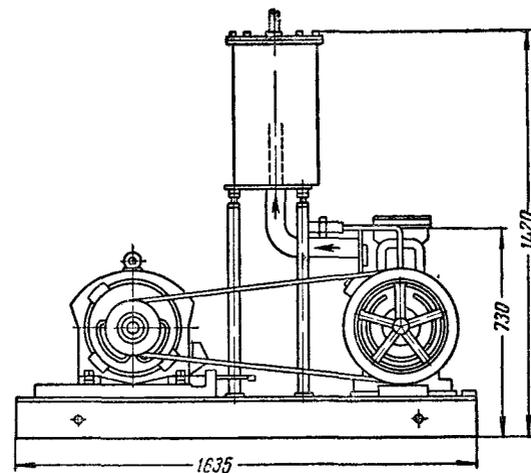


Рис. 19. Золотниковый вращательный насос ВН-4.

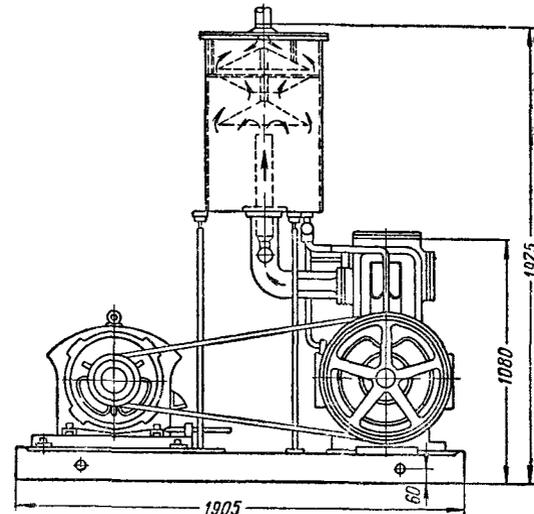


Рис. 20. Золотниковый вращательный насос ВН-6.

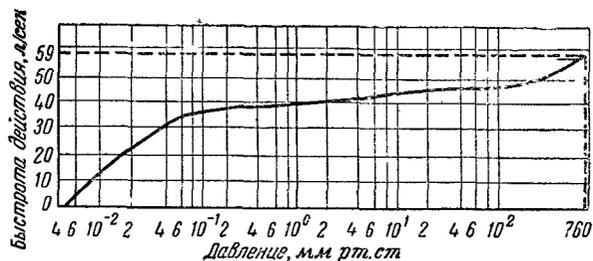


Рис. 21. Зависимость быстроты действия насоса ВН-4 от давления.

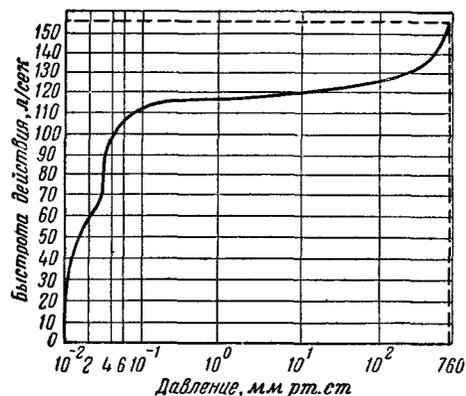


Рис. 22. Зависимость быстроты действия насоса ВН-6 от давления.

а у насоса ВН-6 он достигает 700 — 1 000 л/час. Для осуществления принудительной подачи масла насосы снабжаются специальными масляными баками.

Масляный бак имеет сверху масляный сепаратор (маслоотбойник), при помощи которого часть масла, увлекаемая откачиваемым воздухом, отделяется от воздуха и попадает в масляный бак и оттуда снова в насос. Часть же в виде дисперсной смеси (масляного тумана) откачиваемого воздуха с маслом выбрасывается наружу (в атмосферу). Этим обстоятельством и объясняется значительный расход масла, который у насосов ВН-4 составляет 40 см³/час, а у насосов ВН-6 достигает 70 см³/час. Бак имеет ventиль для слива

масла. Подача масла в насос осуществляется через масляный трубопровод с ventилем или пробковым краном. К верхней крышке бака через резьбовое отверстие присоединяется выхлопной трубопровод, который обычно выводится наружу помещения.

Золотниковые насосы ВН-4 и ВН-6 могут быть применены как вакуумные насосы для целого ряда технологических процессов, требующих разрежения в откачиваемой системе порядка $1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., а также для обеспечения нормальной работы высоковакуумных насосов, имеющих чрезвычайно большую быстроту действия (например, паромасляного насоса Н-20, быстрота действия которого около 20 000 л/сек). Начальное давление в разрежаемом объеме не должно превышать одной атмосферы, а величина откачиваемого объема для насоса ВН-4 должна быть не более 7 м³ и для насоса ВН-6 — 20 м³. В случае откачки больших объемов ее следует производить при неполностью открытом ventиле на всасывающем трубопроводе с таким расчетом, чтобы давление во всасывающем отверстии насоса не превышало 100 мм рт. ст.

При непрерывной откачке с постоянным натеканием в разрежаемый объем, а также в случае наличия значительного газовыделения из материалов, находящихся в разрежаемом объеме, режим откачки должен быть подобран таким образом, чтобы общее давление откачиваемых газов во всасывающем отверстии насоса не превышало 100 мм рт. ст., а продолжительность откачки всего объема от давления 760 мм рт. ст. до давления 100 мм рт. ст. должна быть не более 5 мин.

Поскольку насосы золотникового типа являются наиболее высокопроизводительными из всех вращательных масляных насосов, то для их работы необходимы электродвигатели значительной мощности (так, например, мощность электродвигателя, используемого совместно с насосом ВН-6, достигает 20 квт).

Мощность, потребляемая насосом, определяется величиной работы сжатия газа в насосе, которая пропорциональна количеству откачиваемого газа и степени его сжатия.

При больших давлениях (начиная с атмосферного) степень сжатия откачиваемого газа невелика и он легко выталкивается через выпускной патрубок. По мере падения давления на впускном патрубке работа сжатия газа (следовательно, и потребляемая насосом мощность) быстро возрастает, проходит через максимум при давлении 200—300 мм рт. ст.,

после чего снова начинает уменьшаться по мере уменьшения количества газа, оставшегося в откачиваемом объеме. При очень малых впускных давлениях насос потребляет примерно 30% номинальной мощности электродвигателя, которая расходуется в этом случае на преодоление сил трения, возникающих между движущимися частями насоса.

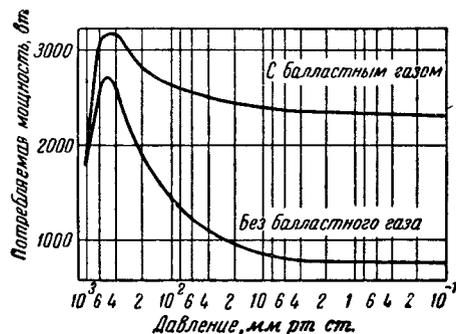


Рис. 23. Изменение мощности, потребляемой одноступенным вращательным масляным насосом (быстрота действия насоса около 40 л/сек) в зависимости от впускного давления при работе с балластным газом и без него (по Р. Яккелю).

Трение движущихся частей насоса сильно зависит от вязкости насосного масла.

С понижением температуры масла в насосе оно загустевает, вязкость его увеличивается, в силу чего потребляемая насосом мощность может сильно возрасти. С этим явлением связаны затруднения, которые зачастую возникают при пуске насоса в работу после длительного перерыва, когда мощность электродвигателя оказывается недостаточной, чтобы простым его включением привести поршень насоса во вращение, и насос приходится сначала «проворачивать» от руки.

Газобалластные насосы даже при очень малых впускных давлениях потребляют около 70% от номинальной мощности электродвигателя, значительная часть которой в этом случае расходуется на сжатие балластного газа, и только меньшая часть идет на преодоление сил трения.

Изменение мощности, потребляемой одноступенным вращательным масляным насосом в зависимости от впускного

давления, при работе с балластным газом и без него представлено на рис. 23.

Технические характеристики вращательных масляных насосов даны в приложении 1.

III. ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ МНОГОПЛАСТИНЧАТЫЕ НАСОСЫ

Для удаления основной массы воздуха или откачиваемого газа из больших объемов, а также для создания централизованных систем предварительного разрежения для откачных автоматов иногда применяют сухие пластинчатые

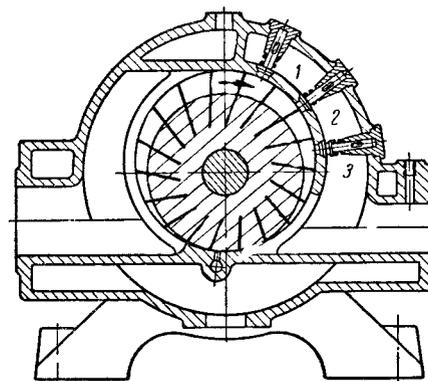


Рис. 24. Устройство вращательного многопластинчатого насоса (по Р. Яккелю).

вакуумные насосы, которые относятся к группе объемных вращательных насосов, однако в отличие от масляных вращательных насосов работают без заполнения рабочей камеры насоса маслом. Из-за наличия значительных зазоров между движущимися частями и отсутствия масляного уплотнения значение предельного вакуума у этих насосов порядка 15 мм рт. ст. Однако большое число оборотов у этих насосов дает возможность получать большие производительности при относительно небольших размерах (быстрота действия у насосов этого типа достигает 1 м³/сек).

На рис. 24 показан разрез вращательного многопластинчатого насоса. Насос состоит из цилиндрического корпуса,

в котором вращается на роликоподшипниках эксцентрично насаженный вал с чугунным ротором. Поверхности цилиндра и ротора образуют серповидное пространство. Ротор имеет продольные пазы, в которых свободно движутся стальные пластины.

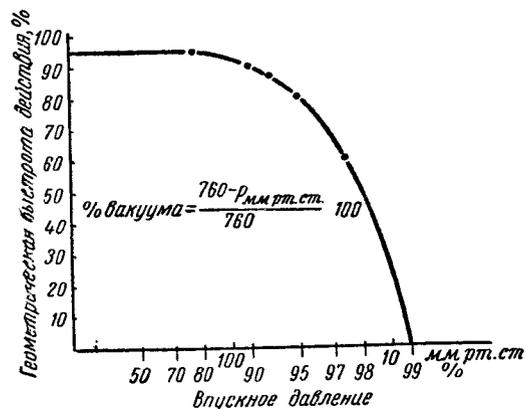


Рис. 25. Зависимость скорости действия многопластинчатого насоса от давления (по Р. Яккелю).

При вращении ротора под действием центробежной силы пластины выбрасываются из пазов к внутренней поверхности цилиндра, разделяя серповидное пространство на отдельные камеры, объем которых изменяется в зависимости от угла поворота ротора. Через расположенный слева впускной патрубок камеры заполняются откачиваемым газом. В крайнем верхнем положении каждая камера отключается от впускного патрубка. При дальнейшем вращении объем камеры уменьшается, газ в ней сжимается и выталкивается через правый выпускной патрубок. Клапаны 1, 2 и 3 служат для предохранения от чрезмерно больших давлений в камерах при откачке в области средних давлений.

Типичная кривая зависимости скорости откачки от впускного давления для многопластинчатого насоса представлена на рис. 25.

Так как для насосов с низким вакуумом впускное давление часто дается в процентах вакуума, то на рис. 25 значения давлений указаны как в мм рт. ст., так и в процентах вакуума ($\% \text{ вакуума} = \frac{760 - P \text{ мм рт. ст.}}{760} \cdot 100$).

Для уменьшения износа пластин в корпусе вакуумного насоса устанавливаются ограничительные кольца. Эти кольца свободно вращаются в корпусе, увлекаемые силой трения движущихся пластин. Внутренний диаметр колец меньше диаметра цилиндра, благодаря чему пластины не трутся о стенки корпуса.

Корпус насоса с обеих сторон закрыт торцевидными крышками, имеющими гнезда для роликоподшипников. Корпус и крышки имеют сообщающиеся между собой рубашки, через которые проходит охлаждающая корпус вода.

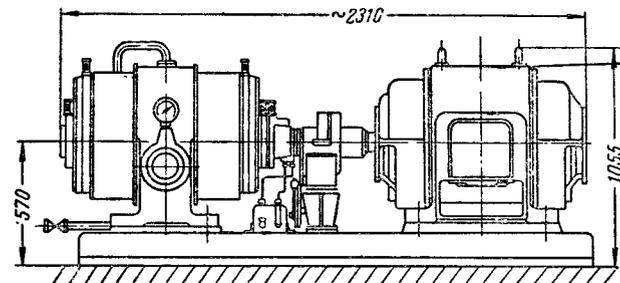


Рис. 26. Многопластинчатый насос РВН-30.

Протеканию газа в зазоре между торцевой поверхностью ротора и крышкой препятствует уплотняющее кольцо, помещенное в роторе и прижимаемое к крышке пружинами. Основные детали насоса изготавливаются из чугуна и стали. Для смазки трущихся частей вакуумного насоса применяется компрессорное масло марки М.

Вращательные многопластинчатые насосы (типа РВН-7, РВН-30, РВН-60, РВН-75) относятся к группе сухих вакуумных насосов, предназначенных для удаления газа из сухих закрытых резервуаров, и не допускают откачки газов вместе с жидкостью. Они не допускают также откачки газов, содержащих механические примеси, поскольку последние загрязняют смазку и ускоряют износ подвижных деталей насоса.

Насос и электродвигатель монтируются, как правило, на общей фундаментной плите и непосредственно соединяются эластичной муфтой.

На выхлопном патрубке вакуумного насоса установлен самодействующий обратный клапан, обеспечивающий его герметичное закрытие при остановке насоса. Смазка вакуумного насоса осуществляется посредством специального масляного насоса, приводимого в движение от вала вакуум-

ного насоса через клино-ременную передачу. Масляный насос допускает ручную подкачку масла без отключения привода. Подача смазки контролируется в каплеуказателях, установленных на вакуумном насосе в местах подвода смазки.

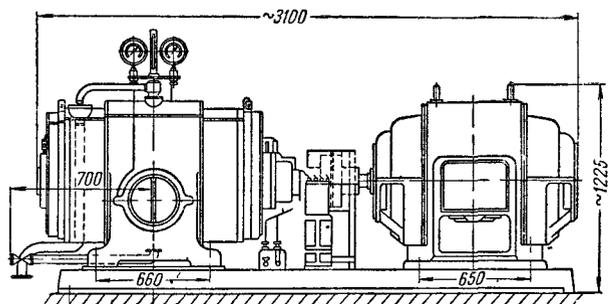


Рис. 27. Многопластинчатый насос РВН-60.

Вода, охлаждающая корпус и крышки вакуумного насоса, подводится по трубопроводу, снабженному регулирующим вентилем. С целью контроля подачи охлаждающей воды слив ее из корпуса производится в воронку, установленную на сливной трубе. Контроль давления на всасывающем и выхлопном патрубках насоса осуществляется пружинным вакуумметром и манометром. Технические характеристики многопластинчатых насосов приведены в приложении 2. Внешний вид насосов РВН-30 и РВН-60 представлен на рис. 26 и 27.

IV. ВЫСОКОВАКУУМНЫЕ ПАРОСТРУЙНЫЕ НАСОСЫ

1. Парортутные и паромасляные насосы

В противоположность механическим насосам, в которых процесс откачки осуществляется благодаря тому, что объем рабочей камеры насоса периодически увеличивается и уменьшается, в пароструйных высоковакуумных насосах используется откачивающее действие непрерывной струи пара рабочей жидкости. Газ, поступающий в насос из вакуумной системы, диффундирует в струю пара, увлекается ею к охлажденной стенке насоса и выбрасывается в сторону выпускного патрубка.

После перемещения откачиваемого газа пар конденсируется на охлаждаемой стенке и в виде жидкости стекает в испаритель.

Высоковакуумные насосы в отличие от вращательных масляных насосов, область действия которых начинается непосредственно от атмосферы, нуждаются для нормальной работы в предварительном разрежении.

При давлениях ниже 10^{-3} мм рт. ст. характерных для большинства высоковакуумных насосов, количество газа, находящегося в откачиваемом объеме, становится малым по сравнению с количеством газа, адсорбированным стенками объема и деталями аппаратуры. Соответственно этому высоковакуумные насосы в основном предназначены либо для уравнивания газовыделений со стенок объема и аппаратуры и натекания через неплотности, либо для удаления газов, выделяющихся в процессе прогрева деталей, находящихся в откачиваемом объеме.

Первоначально пароструйные насосы изготовлялись из стекла, что лишало их надежности в работе, вызывало неожиданные аварии, делало сложными монтажные и ремонтные работы и, самое главное, не давало возможности добиться у этих насосов значительной быстроты действия из-за их небольших габаритов.

Разработка металлических пароструйных насосов позволила устранить целый ряд дефектов, свойственных изделиям из стекла, к которым прежде всего относится их малая прочность, недопустимая в производственных условиях. Возможность изготовить металлический насос любых размеров по сути дела не ограничивает верхний предел такого параметра, как быстрота действия насоса. Кроме того, в металлических насосах есть возможность значительно увеличить мощность электронагревателя и тем самым добиться большего динамического давления пара рабочей жидкости при выходе из сопла, что позволяет наряду с соплами, работающими на принципе диффузии откачиваемого газа в струю пара, применять сопла, использующие эжекторное действие струи пара рабочей жидкости. Использование эжекторных сопел значительно увеличивает выпускное давление и обеспечивает надежную работу высоковакуумного насоса при относительно весьма грубом предварительном разрежении.

Предельный вакуум, быстрота действия и другие параметры высоковакуумных насосов зависят от их конструкции и от свойств рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости первоначально применялась ртуть.

Удельный вес ртути при 15° С 13,56, температура плавления — 39° С; температура кипения в вакууме — около 200° С; объемный коэффициент теплового расширения $1820 \cdot 10^{-7}$. Ртуть не окисляется на воздухе при обычной температуре, но при нагревании свыше 300° С покрывается пленкой окиси. Техническая ртуть, полученная из руды, содержит до 2% примесей (окислы и амальгамы различных металлов, пыль, смолистые вещества, масла и т. п.) и в таком виде не может быть использована в качестве рабочей жидкости. Ртуть, предназначенную для работы в насосах, предварительно подвергают тщательной очистке путем пропускания через различные фильтры, а также промывки в кислотах и щелочах. Для получения особо чистой ртути ее, кроме того, подвергают электрохимической очистке и вакуумной перегонке. В соответствии с ГОСТ 4658-49 в зависимости от химического состава установлены следующие марки ртути:

Марка ртути	Содержание ртути, % не менее	Нелетучий остаток, % не более
P-1	99,999	0,001
P-2	99,990	0,010
P-3	99,900	0,100

Достоинством ртути как рабочей жидкости является то, что она не портится при перегреве и кратковременном соприкосновении в горячем состоянии с атмосферным воздухом и не разлагается при длительной работе в насосе. Поскольку ртуть является химическим элементом, то ее достоинствами как рабочей жидкости являются также определенная величина давления насыщенного пара и постоянная температура кипения. Однако ртуть обладает рядом существенных недостатков.

Вакуумный насос, использующий металлическую ртуть, являясь хорошим средством удаления газов из откачиваемого объема, одновременно сам является источником ртутного пара, который распространяется по всему откачиваемому объему.

Достаточно высокое давление насыщенного пара ртути (порядка 10^{-3} мм рт. ст. при комнатной температуре) вызывает необходимость применения специальных холодных ловушек, назначение которых — интенсивная конденсация (вымораживание) паров, проникающих из насоса в откачиваемый объем.

Холодные ловушки требуют для своей работы специаль-

ных охлаждающих средств (чаще всего жидкого азота, жидкого воздуха или твердой углекислоты), непрерывное пополнение которых создает дополнительные неудобства при эксплуатации вакуумных установок.

Пары ртути, проникающие через насос предварительного разрежения в производственное помещение, даже в небольших количествах вредны для здоровья человека. Кроме того, в результате соприкосновения паров ртути с цветными металлами происходит их амальгамирование, в силу чего применение их при изготовлении парортутных насосов недопустимо.

Несмотря на эти существенные недостатки, парортутные насосы до сих пор используются в целом ряде вакуумных установок и прежде всего для откачки ртутных выпрямителей. Для металлических парортутных насосов разработано довольно много конструкций, отличающихся в основном своими габаритными размерами, количеством заливаемой ртути, формой диффузионных сопел и наличием или отсутствием эжекторных сопел. В связи с этим металлические парортутные насосы чаще всего отличаются друг от друга быстротой действия и выпускным давлением, что же касается предельного давления, то оно практически не зависит от конструкции насоса.

Изображенный на рис. 28 парортутный насос Н-5Р, имеющий быстроту действия около 9 л/сек (в интервале давлений от $1 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.), состоит из следующих основных частей: 1) корпуса А; 2) паропровода Б; 3) электронагревателя В.

Корпус насоса А представляет собой стальной цилиндр 1 диаметром 35 мм с коническим уширением в нижней части — испарителем.

В верхней части цилиндра 1 приварен фланец 2, служащий для присоединения насоса к откачиваемому объекту. Во фланце имеется паз, в который укладывается медная прокладка, обеспечивающая вакуумное уплотнение.

В корпусе насоса помещено съемное кольцо 3, служащее базой для установки паропровода. Кольцо 3 обеспечивает также создание ртутного затвора, предотвращающего прорыв пара из испарителя насоса.

Корпус имеет водяную рубашку 4 с вводами 5 для охлаждающей воды.

Помещенный внутри водяной рубашки выпускной патрубком 6 выполнен в виде трубки внутренним диаметром 5 мм, свитой в спираль.

Охлаждение выпускного патрубка обеспечивает конденсацию паров ртути и предотвращает проникновение их в насос предварительного разрежения. Корпус имеет кожух 7,

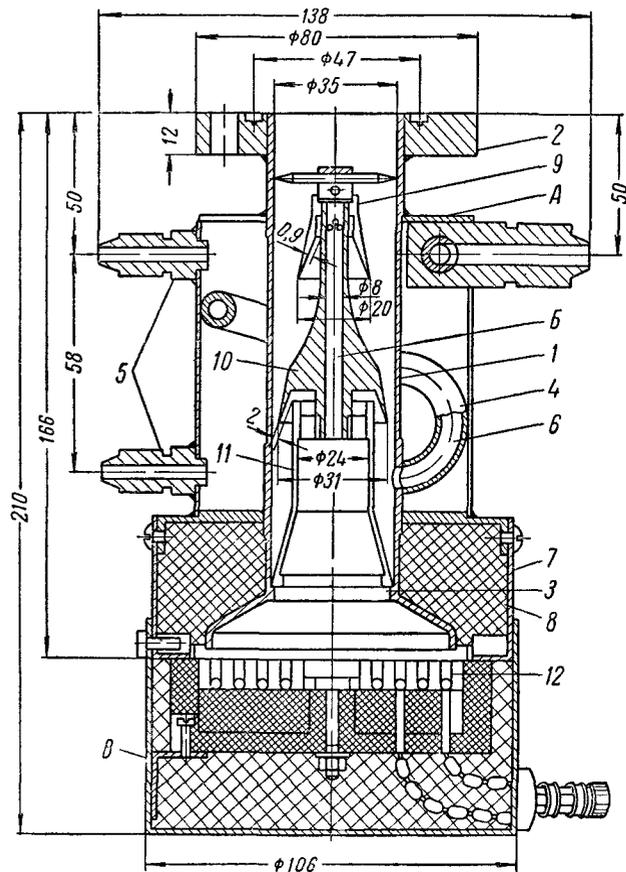


Рис. 28. Парортутный насос Н-5Р.

внутри которого помещен теплоизоляционный слой асбеста 8. Выхлопной патрубок насоса и водяные вводы уплотняются медными прокладками конической формы.

Двухступенный паропровод *Б* состоит из трех основных частей: верхнего сопла 9, нижнего сопла 10 и юбки 11. Зонт верхнего сопла насоса имеет наружный диаметр, равный 20 мм. Расширение верхнего сопла (отношение площади сре-

за сопла к площади наименьшего сечения) равно 10. Зазор в наименьшем сечении сопла равен 0,9 мм.

Зонт нижнего сопла насоса имеет наружный диаметр, равный 31 мм. Расширение нижнего сопла равно 1,85. Зазор

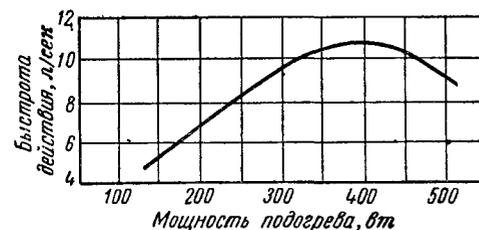


Рис. 29. Зависимость быстроты действия насоса Н-5Р от мощности подогрева.

в наименьшем сечении сопла равен 2,0 мм. Юбка 11 представляет собой цилиндр с коническим уширением. В нижней части юбки имеются прорезы для стока ртути в испаритель насоса. Верхний зонт и паропровод имеют два расположенных под прямым углом штифта, обеспечивающих центровку паропровода относительно стенок насоса.

Электронагреватель *В* насоса — однофазный, напряжением 127 в, мощность 300 вт. Он представляет собой керамическую плиту 12, в канавке которой уложена нихромовая спираль.

Как видно из рис. 29 для данного насоса существует оптимальная мощность, при которой достигается его максимальная быстрота действия.

Величина выпускного давления зависит как от конструкции насоса, так и от скорости струи пара. Как видно из рис. 30, повышая скорость струи пара за счет

увеличения мощности подогрева, можно сильно повысить критическое давление и заставить насос работать при значительно худшем предварительном разрежении. Однако сильно повышая плотность струи пара, нельзя добиться высоких значений быстроты действия, которая имеет опреде-

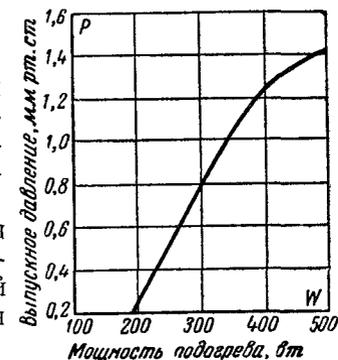


Рис. 30. Зависимость наибольшего выпускного давления насоса Н-5Р от мощности подогрева.



Рис. 31. Зависимость скорости действия насоса Н-5Р от давления на стороне высокого вакуума.

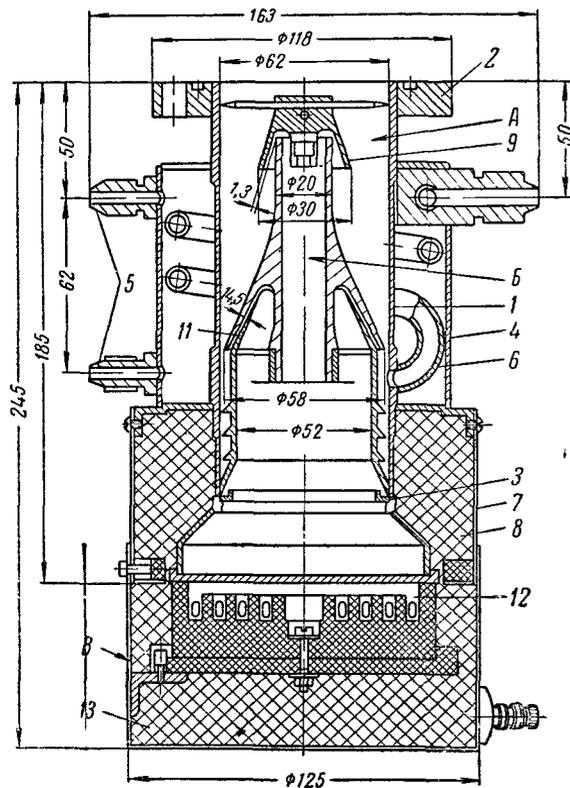


Рис. 32. Парортутный насос Н-40Р.

1 — цилиндр; 2 — фланец для присоединения к откачиваемому объекту; 3 — съемное кольцо для установки паропровода; 4 — водяная рубашка; 5 — вводы для охлаждающей воды; 6 — выпускной патрубок; 7 — кожа; 8 — асбест; 9 — верхнее сопло; 10 — нижнее сопло; 11 — юбка; 12 — керамическая плита электронного нагревателя; 13 — теплоизоляционная асбестовая набивка.

ленный максимум при некоторой оптимальной мощности подогрева.

Зависимость скорости действия насоса Н-5Р от давления на стороне высокого вакуума приведена на рис. 31.

На рис. 32 изображен парортутный насос Н-40Р с скоростью действия больше 40 л/сек. Зависимость скорости дейст-

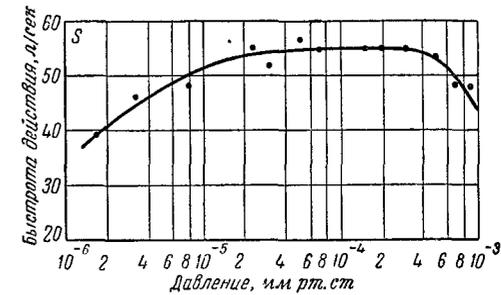


Рис. 33. Зависимость скорости действия насоса Н-40Р от давления на стороне высокого вакуума.

вия этого насоса от давления на стороне высокого вакуума представлена на рис. 33. Конструкция этого насоса аналогична описанной выше конструкции насоса Н-5Р, но имеет другие размеры паропровода, сопел и корпуса. Электронагреватель насоса однофазный, напряжением 220 в и мощностью 450 вт.

На рис. 34 представлена зависимость скорости действия насоса Н-40Р от мощности подогрева, а на рис. 35 — зависимость наибольшего выпускного давления этого насоса от мощности подогрева.

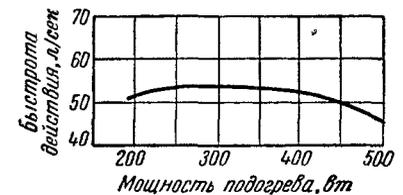


Рис. 34. Зависимость скорости действия насоса Н-40Р от мощности подогрева.

Несколько отличную конструкцию имеет изображенный на рис. 36 парортутный насос Н-1ТР с скоростью действия порядка 1500 л/сек. Насос состоит из корпуса А, паропровода В и электронного нагревателя В.

Корпус насоса А представляет собой стальной цилиндр 1 с приваренными к нему днищем 2 и фланцем 3 для присоединения к откачиваемому объему.

К выходному патрубку 4 корпуса приварена охлаждаемая водой ловушка 5, назначение которой — улавливание паров ртути.

В патрубке 4 помещается диффузордержатель 6 с двумя диффузорами 7.

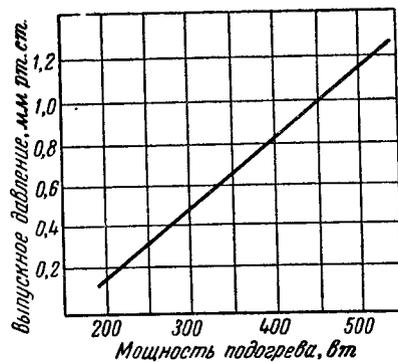


Рис. 35. Зависимость наибольшего выпускного давления насоса Н-40Р от мощности подогрева.

Диффузордержатель фиксируется в патрубке штифтом 9 и уплотняется тефлоновой прокладкой 10. Приваренная к нижней части патрубка 4 пластина 8 обеспечивает при работе насоса создание ртутного затвора. Патрубок 4 имеет водяную рубашку 11 для конденсации паров ртути. Для предотвращения нагревания резиновой прокладки 13 служит паротутный отражатель 12. Охлаждение корпуса насоса осуществляется с помощью водяной рубашки 14.

Паропровод В — трехступенный, имеет четыре сопла: два сопла зонтичного типа и два эжекторного (работающих параллельно). Все четыре сопла обеспечиваются паром из общего испарителя. Детали паропровода: зонт верхнего сопла 15, подсопельник 16, зонт второго сопла 17 и подсопельник 18 с юбкой скрепляются крепежным винтом 19. К боковой поверхности юбки 20 приварен соплодержатель 21, в который ввинчиваются эжекторные сопла 22.

Регулировка зазора в верхнем сопле осуществляется с помощью набора шайб 23, укладываемых в гнездо подсопельника. Зазор второго сопла обеспечивается ограничителями 24. Для извлечения паропровода из корпуса насоса служит специальная скоба 25, присоединяемая к крепежному винту.

Электронагреватель В представляет собой нихромовую проволоку, свитую в спираль 26. Нихромовая спираль укладывается в канавки опорной керамической плиты 27. Концы нихромовой спирали выводятся на клеммный щиток 28.

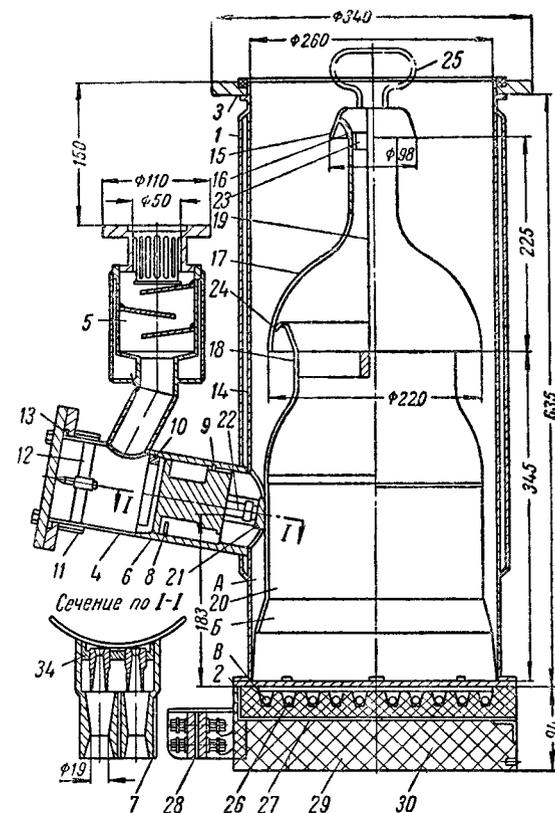


Рис. 36. Парортутный насос Н-1ТР.

В корпусе 29 электронагревателя имеется теплоизоляционная асбестовая набивка 30.

Зависимость быстроты действия насоса Н-1ТР от давления на стороне высокого вакуума приведена на рис. 37. Зависимость быстроты действия и наибольшего выпускного давления этого насоса от мощности подогрева приведены на рис. 38 и 39. Технические характеристики и параметры опи-

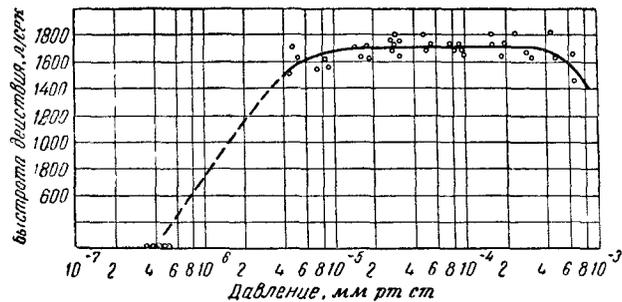


Рис. 37. Зависимость быстроты действия насоса Н-1ТР от давления на стороне высокого вакуума.

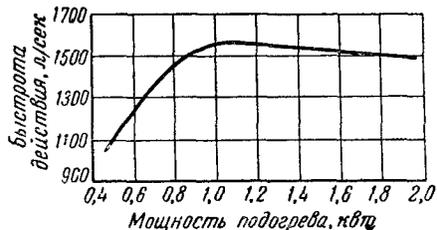


Рис. 38. Зависимость быстроты действия насоса Н-1ТР от мощности подогрева.

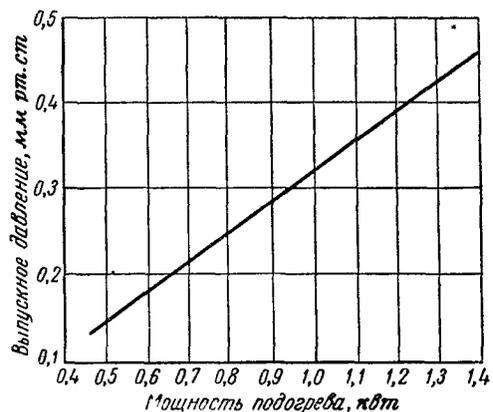


Рис. 39. Зависимость наибольшего выпускного давления насоса Н-1ТР от мощности подогрева.

санных выше парортутных насосов приведены в приложении 3.

На рис. 40 изображен изготавливаемый заводом «Урал-электроаппарат» парортутный насос РН-31, применяемый

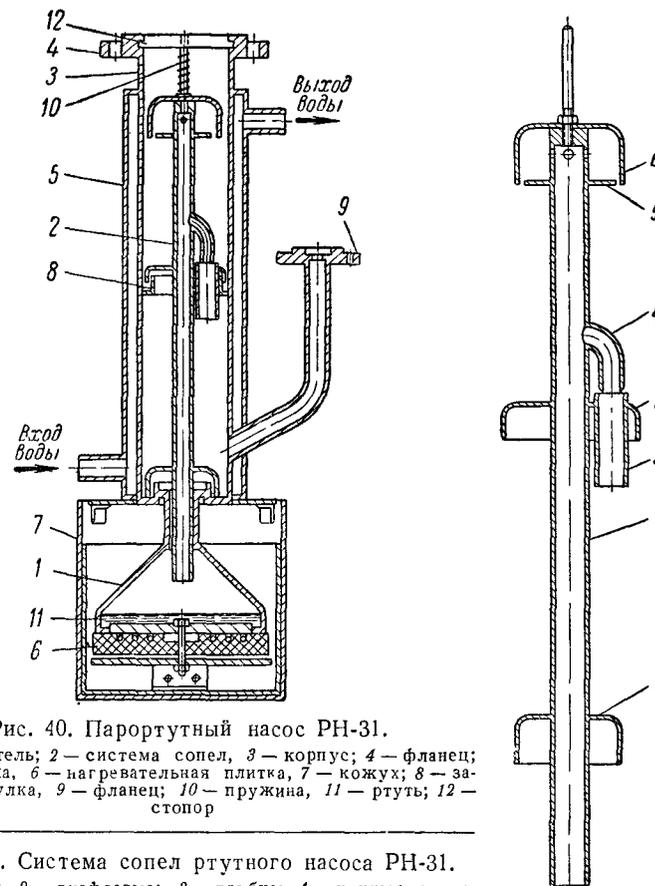


Рис. 40. Парортутный насос РН-31.
1 — испаритель; 2 — система сопел; 3 — корпус; 4 — фланец; 5 — рубашка; 6 — нагревательная плита; 7 — кожух; 8 — запорная втулка; 9 — фланец; 10 — пружина; 11 — ртуть; 12 — стопор

Рис. 41. Система сопел ртутного насоса РН-31.
1 — трубка; 2 — диафрагма; 3 — трубка; 4 — нижнее сопло; 5 — шайба; 6 — верхнее сопло; 7 — колпачок

для откачки металлических ртутных выпрямителей, а на рис. 41 изображена система сопел этого насоса.

В насосе заливается 250 см³ ртути. Электронагреватель насоса имеет мощность 0,8 кВт.

Пары ртути из испарителя по трубке 1 попадают в нижнее сопло 4 и верхнее сопло 6. Проникнуть в корпус насоса иным путем пары ртути не могут, так как нижний колпа-

чок 7 системы сопел устанавливается в кольцевую выточку нижнего фланца корпуса, образующую ртутный затвор.

Пределное разрежение, создаваемое насосом без вымораживания ртутных паров порядка 10^{-5} мм рт. ст., быстрота действия 15—20 л/сек, наибольшее выпускное давление 1—1,5 мм рт. ст.

Область применения парортутных насосов за последние годы значительно сократилась, и в настоящее время более широкое распространение имеют паромасляные насосы, использующие в качестве рабочей жидкости очищенные нефтяные масла. Путем фракционной перегонки исходных нефтяных продуктов удается получить масла с давлением насыщенного пара при комнатной температуре порядка 10^{-8} — 10^{-9} мм рт. ст. Столь низкое давление насыщенного пара не требует, за редкими исключениями, применения ловушек для вымораживания паров, которые всегда необходимы при работе с парортутными насосами.

Наиболее часто в высоковакуумных паромасляных насосах в качестве рабочей жидкости используется нефтяное масло Д-1 (марки ВМ-1 и ВМ-2). Масло это должно быть тщательно очищено от легколетучих составляющих, не должно содержать воды, водорастворимых кислот и щелочей, а также механических примесей. По внешнему виду оно представляет собой жидкость, не имеющую цвета и запаха и совершенно безвредную для человеческого организма.

Основные требования, предъявляемые к маслу Д-1 (ГОСТ 7404-56), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные требования, предъявляемые к маслу Д-1

Наименование показателей	Норма
1. Кинематическая вязкость (отношение динамической вязкости масла и его плотности при температуре определения) при 50°С в сантистоксах в пределах	65—69
2. Температура вспышки, определенная в открытом тигле, °С в пределах	234—248
3. Температура застывания, °С не выше	—11
4. Температура кипения при остаточном давлении 0,01 мм рт. ст., °С в пределах	140—150
5. Упругость паров при 20°С, мм рт. ст. в пределах	$2 \cdot 10^{-8}$ — $2 \cdot 10^{-9}$
6. Пределное давление при 20°С, мм рт. ст.: а) для марки ВМ-1 не более б) для марки ВМ-2 не более	$2 \cdot 10^{-6}$ $3,5 \cdot 10^{-6}$
7. Зольность, % не более	0,01

В отличие от ртути нефтяное масло Д-1 не имеет однородного состава, а следовательно, и определенной точки кипения. При продолжительной работе в насосе постепенно образуются более легкие фракции масла, обладающие большей упругостью насыщенных паров, в силу чего предельный вакуум насоса может ухудшаться. Кроме того, нефтяное масло чувствительно к перегреву и не допускает соприкосновения в горячем состоянии с атмосферным воздухом, так как при этом происходит разложение масла (так называемый термический крекинг) и его окисление, в результате которых упругость насыщенных паров масла может увеличиваться до недопустимо высокого значения.

Значительно лучшими свойствами обладают органополисилоксановые жидкости (эферы фосфорной и кремниевой кислот), иначе называемые силиконами.

Основными особенностями органополисилоксановых (кремнийорганических) жидкостей являются: малая зависимость вязкости от температуры (меньше, чем у других известных жидкостей), низкая температура застывания (ниже —60°) и повышенная термическая стойкость.

Так, например, эти жидкости выдерживают длительное нагревание при температуре 150—200°С в присутствии воздуха и при температуре около 300° в отсутствии воздуха. Полисилоксановые жидкости стабильны, не обладают коррозионной активностью и совершенно не токсичны. Все они имеют состав, близкий к $[(C_2H_5)_2SiO]_x$ (где x — от 3 до 12).

Из отечественных полисилоксанов для паромасляных насосов наибольшее распространение получила жидкость ВКЖ-94 (ВТУ МХП 62-54), которая отличается от органических масел прежде всего высокой термоокислительной стойкостью, что обеспечивает надежную работу насоса при длительной эксплуатации в условиях периодического контакта нагретого масла с воздухом. Жидкость позволяет получить вакуум до $2 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. (сорт А) и до $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. (сорт Б). ВКЖ-94 — прозрачная бесцветная жидкость без механических примесей, имеющая вязкость 16—33 сантистоксов; температура кипения 100—160°С, кислотность 6—7 единиц рН. Единицы рН характеризуют кислотность среды. Они показывают логарифм концентрации водородных ионов, взятый с обратным знаком. Если кислотность полностью отсутствует, то показатель кислотности равен 7 единицам рН.

Еще большей термоокислительной стойкостью обладают масла ПФМС-1, ПФМС-2 и ПФМС-3, представляющие

с собой смеси полифенил-метилсилоксанов, дистиллирующиеся в определенных пределах температур.

Масло ПФМС-1 применяется в качестве рабочей жидкости в пароструйных бустерных насосах (БН-3 и др.).

Масло ПФМС-2 применяется в качестве рабочей жидкости в металлических пароструйных высоковакуумных насосах.

Масло ПФМС-3 применяется в качестве рабочей жидкости в пароструйных насосах с большим выпускным давлением.

Эти масла удовлетворяют следующим техническим требованиям:

Показатели	Марки масел		
	ПФМС-1	ПФМС-2	ПФМС-3
Внешний вид	прозрачная бесцветная жидкость		
Механические примеси	отсутствуют		
Вязкость кинематическая при 50° С, сст.	3,6—4,6	8,0—13,0	6,6—9,0
Содержание кремния в пересчете на SiO ₂ , %	55,5—55,0	49,7—52,0	49,7—53,0
Кислотность (рН)	6—7	6—7	6—7
Упругость пара при 20° С, мм рт. ст.	$1 \cdot 10^{-5}$ — $7 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-9}$ — $7 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$ — $2 \cdot 10^{-6}$
Температура кипения при $1 \cdot 10^{-2}$, мм рт. ст., °С	65—75	95—100	94—112
Предельный вакуум, мм рт. ст.	не определен	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Наибольшее выпускное давление, мм рт. ст.	не определено	не определено	не меньше 4,0

Паромасляные насосы по сравнению с парортутными насосами имеют некоторые характерные особенности.

В паромасляных насосах делаются довольно большие зазоры между соплами и стенками холодильника, что, с одной стороны, дает возможность получить значительно большую быстроту действия, но с другой стороны, по этой же причине снижается выпускное давление, в силу чего приходится предъявлять более жесткие требования к насосам, создающим предварительное разрежение.

Потребность в более низком выпускном давлении вызывается также и тем обстоятельством, что из-за опасности разложения (термического крекинга) обычные сорта масла нельзя нагревать до высокой температуры, что не дает возможности получить большие динамические давления струи пара. Во избежание перегрева масла в паромасляных насосах всегда предусматривается равномерное нагревание масла электронагревателем.

Наиболее совершенными конструкциями металлических паромасляных насосов являются так называемые разгоночные насосы, которые отличаются от простых насосов тем, что в процессе их работы в них самих происходит автоматическое разделение фракций масла (разгонка). В результате такой разгонки высоковакуумное сопло, ближайшее к откачиваемому объему, работает только на масле, имеющем наименьшее давление насыщенного пара, благодаря чему повышается предельный вакуум насоса; сопло, ближайшее к насосу предварительного разрежения, работает на самых легких фракциях.

Типичным насосом, в котором используется разгонка (в жидкой фазе), является металлический двухступенный разгоночный насос ММ-40-А, с быстротой действия до 40 л/сек, изображенный на рис. 42.

Насос имеет два сопла, причем для каждого сопла предусмотрен свой паропровод. В верхнее высоковакуумное сопло 5 пары масла подаются по внутреннему паропроводу 1, в нижнее 6 — по внешнему паропроводу 3, охватывающему внутренний.

В нижней части внешнего паропровода имеется расширение, в котором вставлен специальный разделительный цилиндр 15. Оба паропровода и разделительный цилиндр установлены на дне кипятильника, и таким образом все заливаемое в насос масло (в количестве 40 см³) распределяется по четырем концентрическим камерам, соединенным между собой специальной системой отверстий, образующих своеобразный лабиринт, препятствующий быстрому перемещению отдельных частей масла в процессе работы насоса. При разогреве масла в насосе сперва в оба сопла поступают пары наиболее легких фракций, которые после выхода из сопел конденсируются на стенках холодильника и попадают в камеру 4. Обратное испарение легких фракций масла из камеры 4 затруднено, с одной стороны, из-за непрерывного поступления свежего масла, стекающего в камеру со стенок холодильника и, с другой стороны, из-за наличия на внеш-

нем паропроводе специальных козырьков, препятствующих испарению молекул пара.

Попадая через систему отверстий, образующих лабиринт, в камеру 2, легкие фракции масла успевают настолько нагреться, что, не дойдя до центральной камеры, вновь испаряются и по внешнему паропроводу попадают в нижнее сопло 6, которое и предназначено для работы на легких фракциях. Одновременно в центральной камере происходит испарение, в результате которого масло освобождается от легких фракций и по внутреннему паропроводу в верхнее (высоковакуумное) сопло попадают только пары тяжелых фракций, благодаря чему улучшается создаваемый насосом предельный вакуум.

Если по условиям эксплуатации высоковакуумного насоса нет возможности охладить его наружные стенки проточной водой, то может применяться насос с воздушным принудительным охлаждением типа ДМН-20 (рис. 43), имеющий специальный радиатор в виде ребер, вблизи которого должен быть установлен небольшой вентилятор для создания интенсивной циркуляции воздуха; для

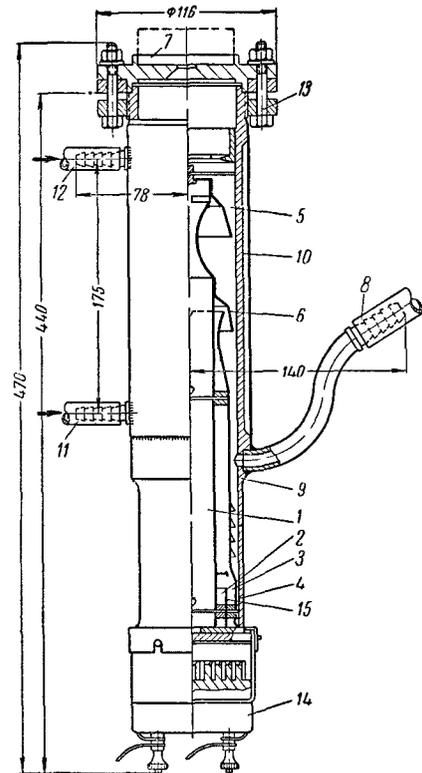


Рис. 42. Устройство паромасляного насоса ММ-40А.

1 — центральная камера испарителя (внутренний паропровод); 2 — камера между внутренним паропроводом и разделительным цилиндром; 3 — камера между разделительным цилиндром и внешним паропроводом; 4 — камера между внешним паропроводом и стенкой корпуса насоса; 5 — верхнее сопло; 6 — нижнее сопло; 7 — фланец с впускным отверстием; 8 — выпускной патрубок; 9 — корпус насоса; 10 — водяная рубашка; 11 и 12 — вход и выход охлаждающей воды; 13 — болты для крепления насоса; 14 — электронагреватель; 15 — разделительный цилиндр.

этой цели с успехом может использоваться небольшой настольный вентилятор ВН-1. Быстрота действия этого насо-

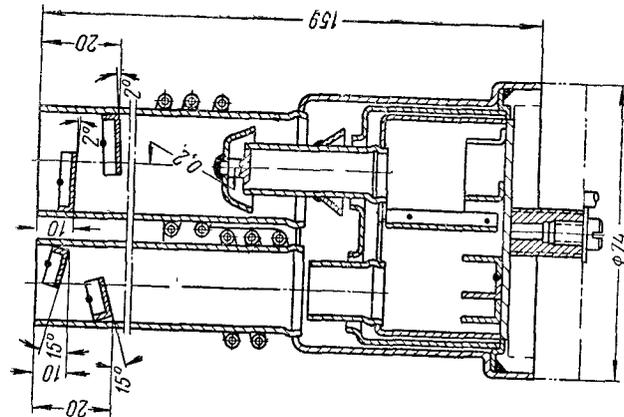


Рис. 44. Паромасляный насос модели А338-03 (в разрезе).

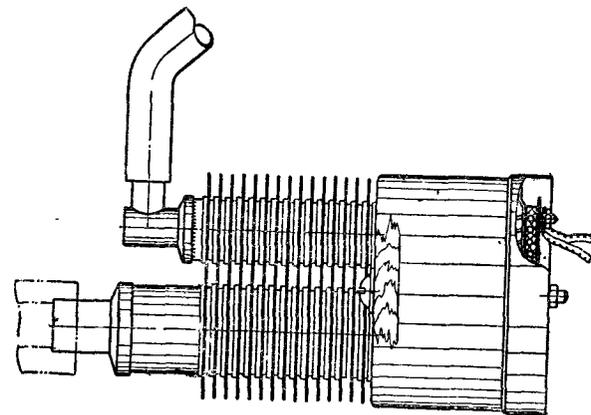


Рис. 43. Паромасляный насос ДМН-20.

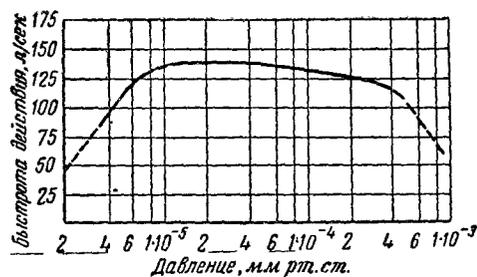


Рис. 45. Зависимость скорости действия паромасляного насоса ЦВЛ-100 от давления.

са около 20 л/сек (такой

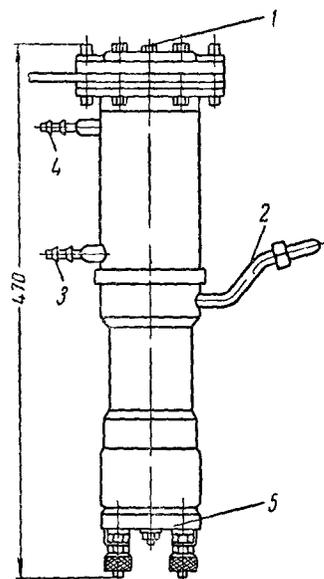


Рис. 46. Паромасляный насос ММ-40АМ.

1 — входной патрубок; 2 — выпускной патрубок; 3 — ввод воды; 4 — слив воды; 5 — электронагреватель.

насос используется, например, в вакуумной системе, передвижного гелиевого течейска-теля ПТИ-4А).

В автоматах для откачки небольших приемно-усилительных ламп применяют простые малогабаритные двухступенные паромасляные насосы (модель А-338-03 и ИО-76-00), имеющие скорость откачки около 5 л/сек (рис. 44).

Для индивидуальных постов откачки генераторных ламп и других приборов, имеющих достаточно большой разрежаемый объем и значительное газы-выделение с внутренних деталей, а также в откачных системах электронных микроскопов, чаще всего используют паромасляные насосы ММ-40А (или ММ-40АМ), а иногда даже трехступенный насос ЦВЛ-100 с

быстротой откачки 130 л/сек (рис. 45). Насосы ММ-40А и ММ-40АМ (модернизированный, изображенный на рис. 46), имея одинаковую скорость откачки $30 \div 40$ л/сек, отличаются только некоторыми конструктивными особенностями (так, например, у насоса ММ-40АМ несколько другие размеры

присоединительных фланцев, свинцовые уплотнительные прокладки заменены резиновыми и имеется съемная рубашка водяного охлаждения).

В установках для катодного распыления, для нанесения покрытий под вакуумом, в небольших печах для вакуумной плавки и пайки, а также в печах для вакуумного отжига металлов обычно используют насосы ЦВЛ-100, Н-5 (с быстротой откачки 500 л/сек) и ЦВЛ-15М (с быстротой откачки до 1500 л/сек).

Устройство насосов ЦВЛ-100 и Н-5 представлено на рис. 47 и 48. Технические характеристики этих насосов даны в приложении 4.

Как видно из этих технических характеристик, большинство паромасляных насосов требуют для своей работы достаточно низкого выпускного давления (порядка $5 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.).

К насосам предварительного разрежения, предназначенным для обеспечения нормальной работы паромасляных насосов, предъявляются в этом случае требования, чтобы их производительность в этом диапазоне давлений была достаточной для удаления газа, выбрасываемого высоковакуумным насосом через свой выпускной патрубок. Однако, как видно из рис. 4, производительность вращательного масляного насоса резко падает с уменьшением давления на его всасывающем патрубке. Для того, чтобы наиболее эффективно использовать вращательный насос, желательно значительно повысить выпускное давление паромасляного насоса.

Особенно существенно значение этого параметра для паромасляных насосов, используемых в вакуумных системах автоматов откачки, где выпускные патрубки от целой группы паромасляных насосов чаще всего соединяются с общей магистралью предварительного разрежения, обычно откачиваемой одним вращательным насосом.

В результате попадания на одну из позиций автомата откачки лампы со значительным натеканием давление в общей магистрали предварительного разрежения может настолько возрасти, что вся группа паромасляных насосов не сможет нормально работать.

Кроме того, при попадании в насос атмосферного воздуха столб масла из масляного затвора и брызги масла из кипятыльника захватываются струей воздуха и выбрасываются в магистраль предварительного разрежения.

Если крупные капли масла удастся задержать маслоотбойником сравнительно простой конструкции, то значи-

пусковое давление до 1—3 мм рт. ст. При этом максимум быстроты откачки насоса сдвигается в область давлений 10^{-2} мм рт. ст. Один из таких насосов, применяемый для автоматов откачки и работающий на полисилоксановой жидкости ВКЖ-94А, имеет следующие параметры:

пределный вакуум $5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.
 быстрота откачки 3—5 л/сек
 выпускное давление 1 мм рт. ст.
 мощность подогревателя 500 вт
 число ступеней откачки 3
 расход воды на охлаждение 0,7 л/сек

В последние годы была разработана и запущена в производство единая серия паромасляных насосов, технические характеристики которых даны в приложении 5. У насосов единой серии значительно улучшены удельные характеристики, упрощена и унифицирована конструкция, значительно облегчены сборка и разборка насосов, уменьшены габариты и вес. Двухступенный насос этой серии Н-1С, изображенный на рис. 49, хотя имеет быстроту откачки немного меньше, чем насос ЦВЛ-100 (около 100 л/сек), однако значительно более прост по конструкции.

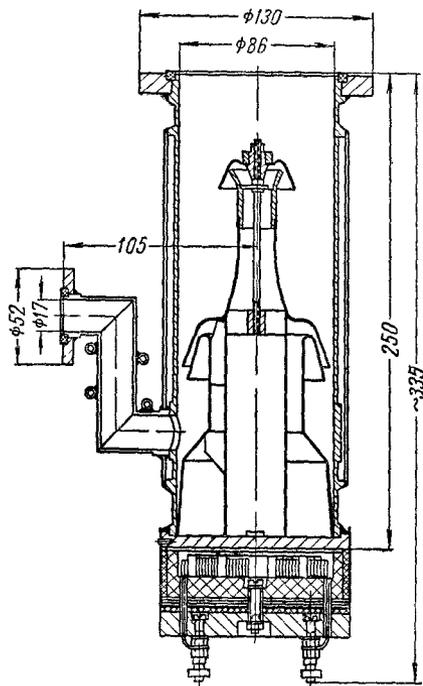


Рис 49 Устройство паромасляного насоса Н-1С.

облегчены сборка и разборка насосов, уменьшены габариты и вес. Двухступенный насос этой серии Н-1С, изображенный на рис. 49, хотя имеет быстроту откачки немного меньше, чем насос ЦВЛ-100 (около 100 л/сек), однако значительно более прост по конструкции. Насос Н-5С (рис. 50 и 51) имеет такую же быстроту откачки, как и насос Н-5, но число ступеней откачки в нем уменьшено до двух и несколько изменена система охлаждения корпуса насоса проточной водой (вместо змеевика здесь применена наружная охлаждающая рубашка).

Наиболее мощными насосами являются изображенные на рис. 52—57 трехступенные насосы

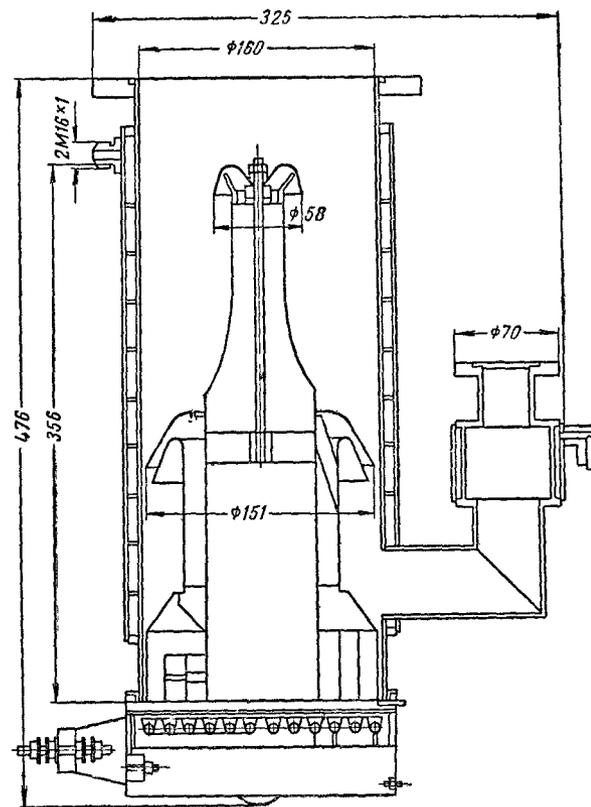


Рис. 50. Устройство паромасляного насоса Н-5С.

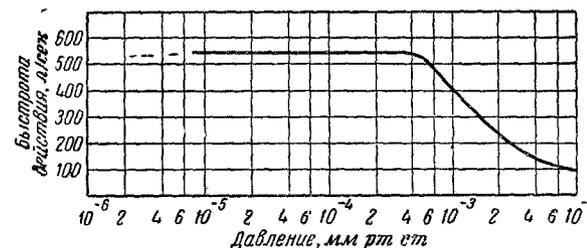


Рис. 51. Зависимость быстроты действия паромасляного насоса Н-5С от давления.

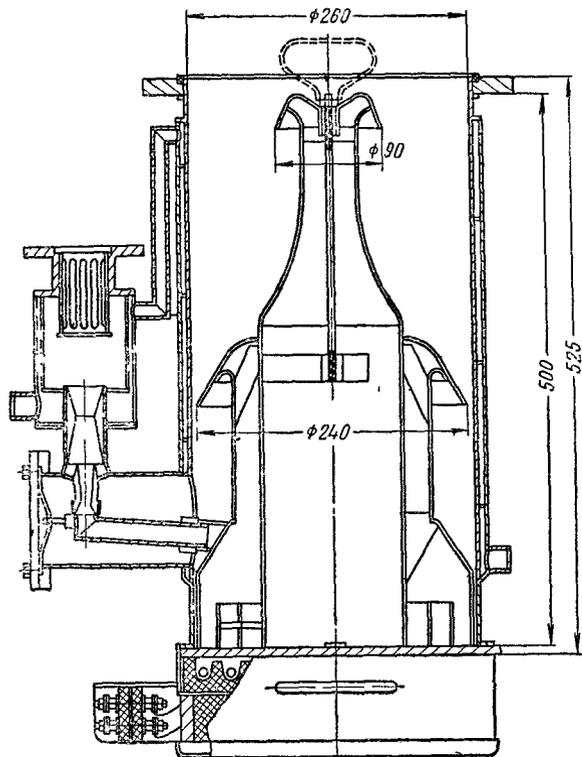


Рис. 52. Устройство паромасляного насоса Н-2Т.

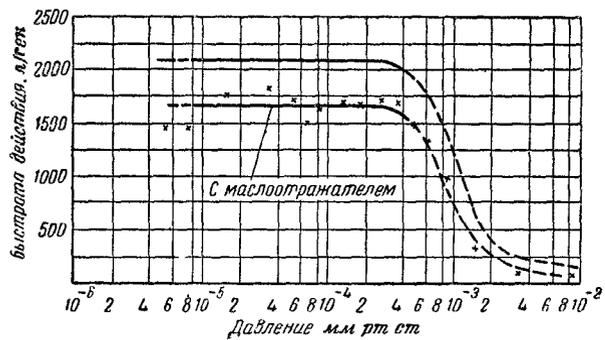


Рис. 53. Зависимость быстроты действия паромасляного насоса Н-2Т от давления.

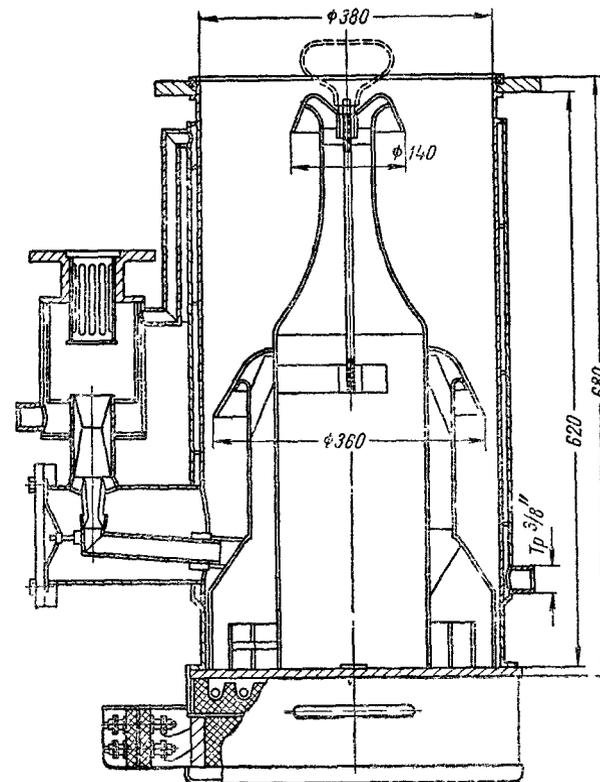


Рис. 54. Устройство паромасляного насоса Н-5Т.

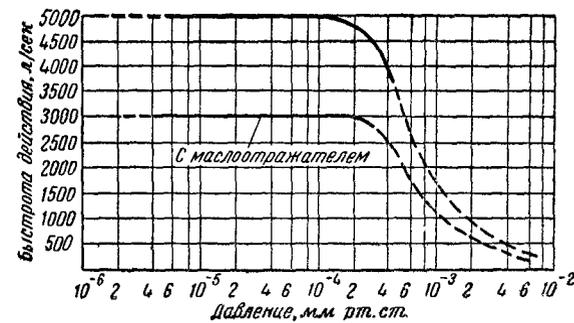


Рис. 55. Зависимость быстроты действия паромасляного насоса Н-5Т от давления.

Н-2Т, Н-5Т и Н-8Т (с максимальной быстротой действия 2 000, 5 000 и 8 000 л/сек соответственно). Для самых больших установок предназначен паромасляный насос типа Н-20, имеющий быстроту действия 20 000 л/сек, который работает последовательно с бустерным насосом типа БН-3.

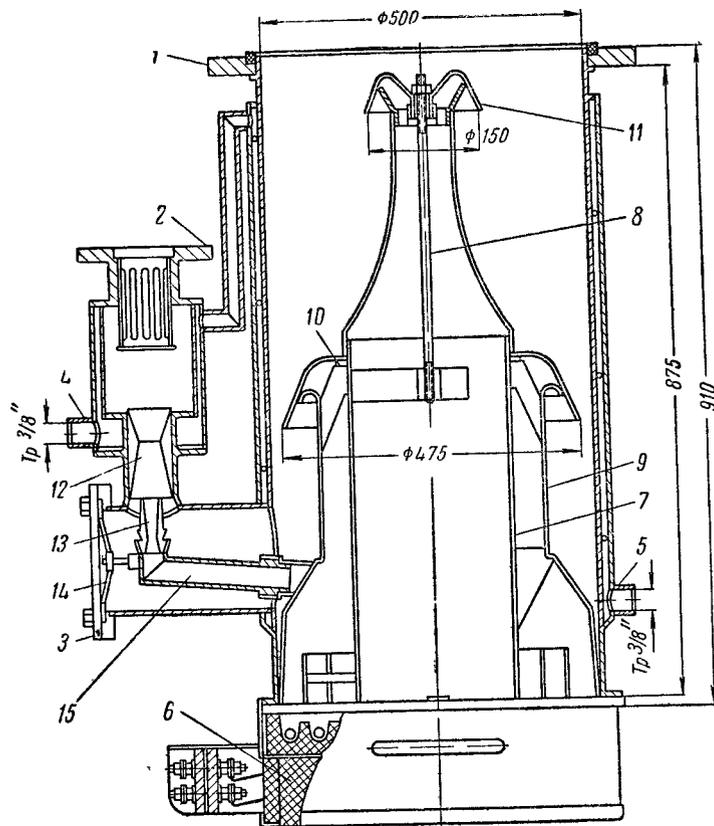


Рис. 56. Устройство паромасляного насоса Н-8Т.

Трехступенные насосы единой серии состоят из трех основных частей: корпуса, паропровода и электродвигателя. Они требуют для своей нормальной работы вращательного насоса предварительного разрежения типа ВН-1 или ВН-2.

Корпус каждого из этих насосов (см. рис. 56) представляет собой стальной цилиндр с приваренными к нему днищем, входным фланцем 1 и выпускным патрубком с фланцем 2.

Кроме того, на выпускном патрубке имеется заглушенный фланец 3 для установки деталей эжектора.

С наружной стороны цилиндра и выпускного патрубка для охлаждения приварены рубашки, соединенные между собой последовательно. К охлаждающим рубашкам приварены штуцеры 4 и 5 для входа и слива воды.

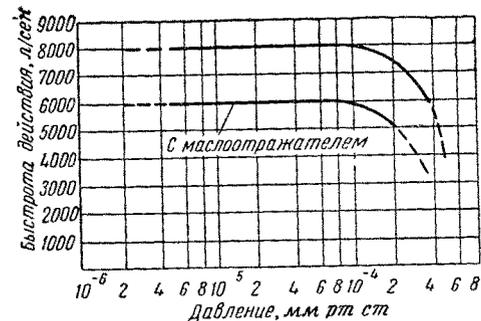


Рис. 57. Зависимость быстроты действия паромасляного насоса Н-8Т от давления.

Присоединительные фланцы корпуса имеют отверстия для болтов и канавки для уплотнительных прокладок. На днище имеются три штыря для крепления электронагревателя 6. Нижняя часть корпуса, где помещается рабочая жидкость, служит кипятильником. Паропровод состоит из трубы 7 с двумя кольцами, стержня 8, юбки 9, кольца 10 для установки зазора нижнего сопла, зонта 11 и ряда деталей эжектора 12, 13, 14, 15.

Пары тяжелых фракций масла из кипятильника по паропроводящим каналам попадают в верхнее и нижнее сопла, выходя отсюда, конденсируются на стенках корпуса насоса. Конденсат стекает обратно в кипятильник, где по пути к центру насоса проходит по лабиринту, состоящему из колец трубы 7.

Пары наиболее легких фракций масла направляются в эжекторное сопло.

Выходя из сопла эжектора 13 направленным потоком, обладающим большой скоростью, струя пара попадает в камеру смешения 12, где она приходит в соприкосновение с откачиваемым газом и частично увлекает его за собой. При этом паровая струя, теряя скорость, передает откачиваемому газу некоторую часть своей энергии, после чего парогазовая смесь входит в диффузор, где уже большая

часть кинетической энергии пара переходит в потенциальную энергию (давление), в результате чего откачиваемый газ сжимается и выпускное давление в насосах этого типа увеличивается до 0,1 мм рт. ст.

Вышедший из приемной трубки пар конденсируется на стенках выпускного патрубка и стекает в кипятильник, а газ через выпускной фланец 2 удаляется насосом предварительного разрежения.

Наличие эжекторного сопла значительно облегчает требования, предъявляемые к насосам предварительного разрежения в части их производительности при низких давлениях.

Высоковакуумные паромасляные насосы с большой быстротой действия имеют следующие особенности, характерные для первых двух ступеней откачки:

- 1) большой диаметр впускного патрубка (например, у насоса Н-8Т он достигает 500 мм);
- 2) зонтичные сопла, предназначенные для образования направленной струи пара с малой плотностью и большой скоростью;
- 3) малый перепад давлений между разделенными струей частями, не требующий большой плотности струи;
- 4) использование двух ступеней с постепенно уменьшающейся быстротой откачки, способных выдержать все большие перепады давления;
- 5) сравнительно низкое давление пара, питающего струю.

В отличие от этого эжекторная ступень имеет малый диаметр впускного патрубка и сопло, рассчитанное на сравнительно высокое давление струи пара. Как видно из рис. 45, 51, 53, 55, 57 быстрота действия паромасляных насосов в широкой области не зависит от давления. При давлениях меньше $1 \cdot 10^{-5}$ и больше $(2-8) \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. быстрота действия насосов начинает уменьшаться (пунктирные линии). Это уменьшение связано с тем, что при давлениях $< 10^{-5}$ мм рт. ст. начинают сказываться внутренние источники газовыделения — десорбция газов со стенок насоса, вылет из паровой струи продуктов разложения рабочей жидкости и встречная диффузия газов со стороны насоса предварительного разрежения. Таким образом, «полезная» быстрота действия при давлениях $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. зависит от времени непрерывной работы (так называемой тренировки) насоса и величины давления на стороне предварительного разрежения. Чем лучше обезгажен насос и меньше внутренние течи, тем больше его «полезная» быстрота

действия. Быстрота действия при давлениях $> 10^{-4}$ мм рт. ст. зависит от конструкции насосов. У большинства современных высоковакуумных насосов горизонтальный участок кривой быстроты действия оканчивается при давлении $(2-8) \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

2. Вспомогательные (бустерные) насосы

Поскольку между диапазоном рабочих давлений паромасляных насосов (порядка $10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.) и вращательных масляных насосов (быстрота откачки которых при давлениях ниже $10^{-2} \div 10^{-3}$ мм рт. ст. резко падает) существует значительный разрыв, то имеется большая потребность приблизить рабочую область паромасляных насосов к рабочей области вращательных насосов за счет использования специальных конструкций вспомогательных насосов.

В насосах этого типа несколько видоизменены сопла и повышено по сравнению с обычными насосами давление пара в кипятильнике.

Вспомогательный (бустерный) насос БН-3, изображенный на рис. 58 и 59, представляет собой специальный тип паромасляного высоковакуумного насоса с быстротой действия до 500 л/сек, предельное давление которого из-за повышенного нагрева и использования в качестве рабочей жидкости легкокипящего сорта масла сдвинуто приблизительно на порядок величины давления дальше в сторону высоких давлений, чем у паромасляных высоковакуумных насосов обычного типа.

Вспомогательный насос БН-3 предназначается для откачки воздуха и неагрессивных газов до давления порядка $1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. Он может быть использован непосредственно для откачки систем с большим газоотделением или совместно с высоковакуумным насосом большой производительности, будучи включен между ним и насосом предварительного разрежения. Насос БН-3 применяется в печах вакуумного отжига, в сушильных, дистилляционных установках и т. д.

Особенно широкое применение вспомогательные насосы находят в печах вакуумной плавки. Вакуумная плавка является одним из наиболее эффективных методов получения чистого, плотного металла, почти не содержащего окислов, адсорбированных и растворенных газов. Вакуумная плавка металлов характеризуется весьма малым выгоранием легкоокисляющихся примесей и возможностью получения металла заданного состава; одновременно она сопровождается ин-

тенсивным газовыделением, в силу чего требует использования высокопроизводительных вакуумных насосов, имеющих максимальную быстроту действия в диапазоне давлений 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст. В больших промышленных вакуум-

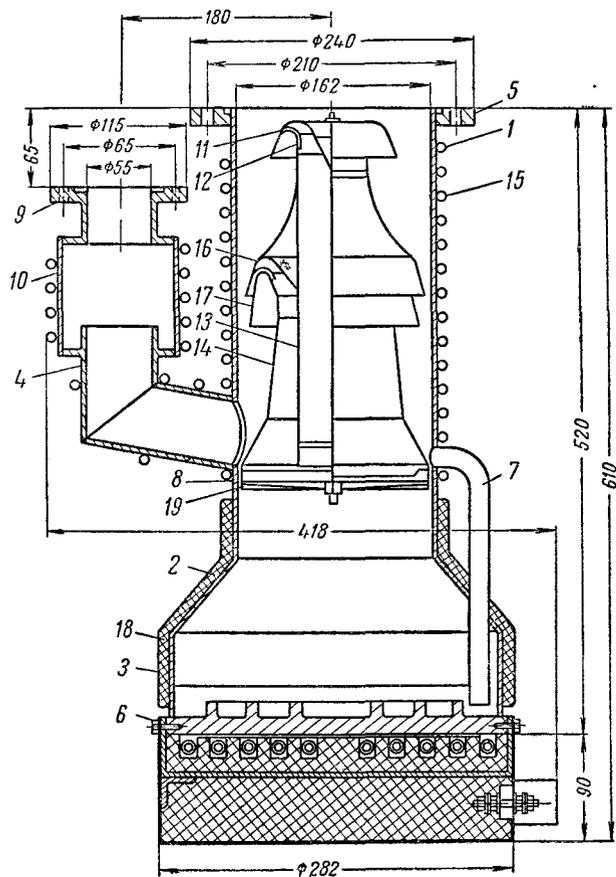


Рис. 58. Устройство вспомогательного (бустерного) насоса БН-3.

ных печах требуются бустерные насосы с быстротой действия до 10 000—15 000 л/сек. Однако серийное изготовление таких насосов еще не освоено и в настоящее время наиболее распространенным насосом этого типа является насос БН-3.

Вспомогательный насос БН-3 является металлическим

паромаляным насосом. Он состоит из трех основных частей: корпуса, паропровода и электронагревателя.

Корпус вспомогательного насоса, изображенного в разрезе на рис. 58, представляет собой стальной цилиндр 1,

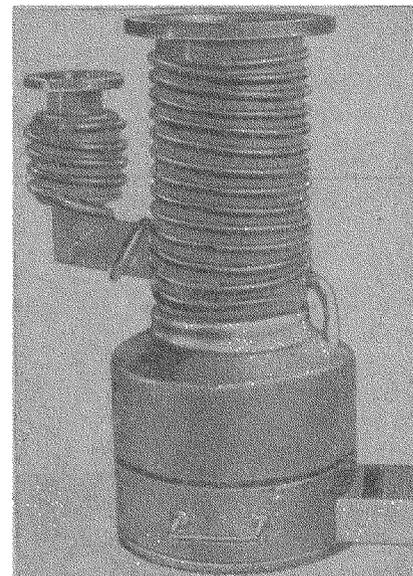


Рис. 59. Внешний вид насоса БН-3.

нижняя часть которого имеет расширение 2, переходящее в цилиндр большого диаметра, являющийся кипятильником для масла. В нижней части цилиндра 3 приварено днище 6 с ребрами, обращенными во внутреннюю полость насоса. В верхней части цилиндра приварен фланец 5, в котором имеются отверстия для крепежных болтов и паз для уплотнительной резиновой прокладки.

В нижней части цилиндра 1 приварен патрубок 4, имеющий расширение для улавливания масла 10 и фланец 9 для присоединения к насосу предварительного разрежения. Трубка 7 служит для стока сконденсировавшегося масла в кипятильник.

Внутри цилиндра 1 приварен бортик 8, служащий для поддержки и крепления паропровода. Одновременно он слу-

жит для создания масляного затвора между рабочей частью насоса и кипятильником.

Медная трубка — змеевик 15 припаяна к корпусу оловянным припоем. Змеевик служит для охлаждения стенок корпуса насоса, на которых происходит конденсация масляного пара. Ввод воды в змеевик производится через ниппель на выпускном патрубке. Выход воды происходит через ниппель у верхнего фланца 5. На коническую часть корпуса и кипятильник надет теплоизолирующий кожух 18.

Двухступенный алюминиевый паропровод состоит из трубы 13, раструба 14, подсопельников 17 и 12 и зонтов 11 и 16.

Паропровод с помощью стержня, имеющего на конце крестовину 19, крепится к корпусу насоса.

По трубе 13 пары масла из кипятильника поступают к верхнему соплу, состоящему из зонта 11 и подсопельника 12.

Между раструбом 14 и трубой 13 пары подаются к нижнему соплу, состоящему из зонта 16 и подсопельника 17.

В качестве рабочей жидкости в этом насосе используется легкокипящее нефтяное масло сорта Г, представляющее собой бесцветную жидкость, не содержащую воду и водорастворимые кислоты и щелочи, а также очищенную от механических примесей и золы.

В соответствии с ТУ МНП 579-55 нефтяное масло сорта Г должно удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

Основные требования, предъявляемые к маслу сорта Г

Наименование показателей	Норма
1. Кинематическая вязкость при 50° С в сантистоксах	12,5—15,3
2. Температура вспышки в открытом тигле, °С	170—180
3. Температура кипения при остаточном давлении 0,01 мм рт. ст., °С	70—90
4. Упругость пара при 20° С, мм рт. ст.	$5 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-6}$

Ширина наименьшего сечения верхнего сопла у насоса БН-3 2 мм, нижнего сопла — 3 мм.

В отличие от обычных паромасляных высоковакуумных насосов этот насос имеет следующие особенности:

1) сравнительно малое сечение выпускного патрубка (например, по отношению к насосу Н-5С);

2) сопла, рассчитанные на возможно больший перепад давления при данной скорости струи;

3) сравнительно высокое давление пара и большой расход его.

Быстрота действия вспомогательного насоса изменяется с давлением совсем не так, как у обычных высоковакуумных насосов.

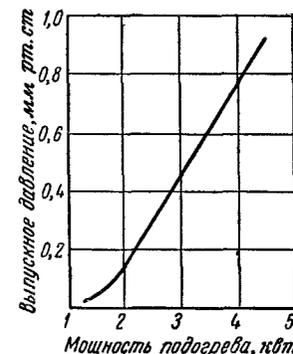
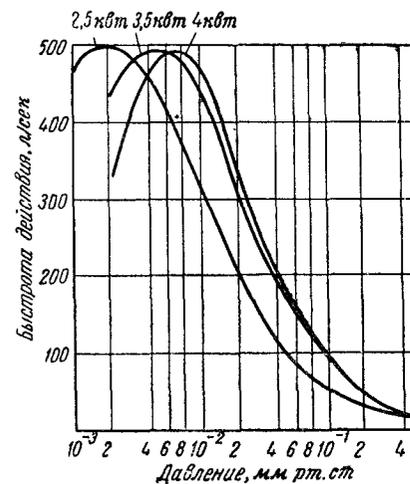


Рис. 60. Зависимость быстроты действия вспомогательного насоса БН-3 от давления и мощности подогрева (по К. Савинскому).

Рис. 61. Зависимость максимального выпускного давления насоса БН-3 от мощности подогрева.

Как видно из рис. 60 при малых давлениях быстрота действия обычно мала, а с увеличением давления возрастает до некоторого максимума. Затем при дальнейшем увеличении давления быстрота действия падает, пока не сравняется с быстротой действия вращательного насоса.

Зависимость максимального выпускного давления насоса БН-3 от мощности подогрева представлена на рис. 61.

Особенно высокие величины выпускного давления получают у парортутных бустерных насосов ДРН-10 и ДРН-50 (у насоса ДРН-50 она достигает 20 мм рт. ст.). Используются эти насосы так же, как и бустерный насос БН-3, но для установок меньших объемов. Зависимость быстроты действия насосов ДРН-10 и ДРН-50 от давления представлена на рис. 62. Насос ДРН-10 может быть использован и как обыкновенный высоковакуумный насос. Использование насоса

ДРН-50 в качестве высоковакуумного насоса нерационально, так как он имеет слишком небольшую быстроту откачки при низких давлениях (порядка 8 л/сек), в то же время его габариты и потребляемая им мощность соответствуют высоковакуумному насосу с быстротой откачки в несколько сотен литров в секунду.

Характеристики насосов бустерного типа даны в приложении 6.

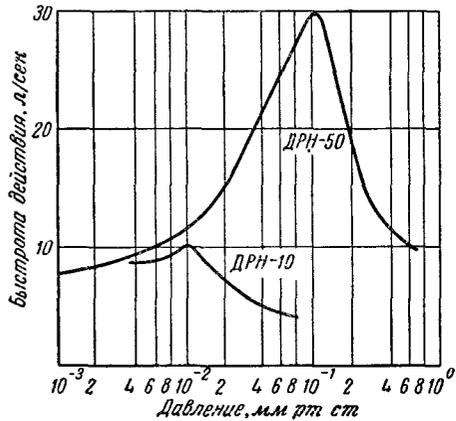


Рис. 62. Зависимость скорости действия насосов ДРН-10 и ДРН-50 от давления (по К. Савинскому).

V. ВАКУУМНЫЕ АГРЕГАТЫ

В последние годы для откачки больших объемов все шире применяются так называемые вакуумные агрегаты, которые, как правило, состоят из высоковакуумного насоса, снабженного вакуумным затвором, маслоотражателем, азотной ловушкой и рядом других вспомогательных деталей. Так, например, типичный вакуумный агрегат ВА-05-1, изображенный на рис. 63 и 64, представляет собой вакуумную установку, состоящую из паромасляного насоса типа Н-5С 1, маслоотражателя 2, вакуумного затвора 3, металлического каркаса 4 со щитком электроуправления 5, гидроконтакта 6 и вертикального патрубка 7. Назначение маслоотражателя — не допускать попадания масла в разрежаемый объем (так называемой миграции масла), что нежелательно, так как, во-первых, расходуется рабочая жидкость, во-вторых, мигрирующее масло загрязняет рабочий объем и приборы вакуумной установки. Масло может попадать в рабочий объем как в виде паров, так и в капельно-жидком состоянии (в виде

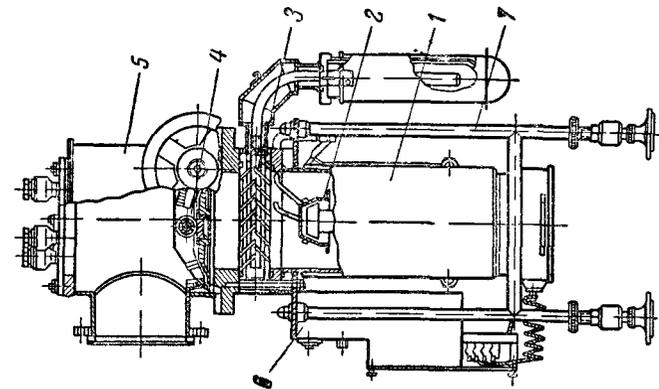


Рис. 63б. Схема вакуумного агрегата ВА-05-1 (с азотной ловушкой). 1 — паромасляный насос; 2 — маслоотражатель; 3 — азотная ловушка; 4 — затвор; 5 — патрубок; 6 — щиток электроуправления; 7 — каркас.

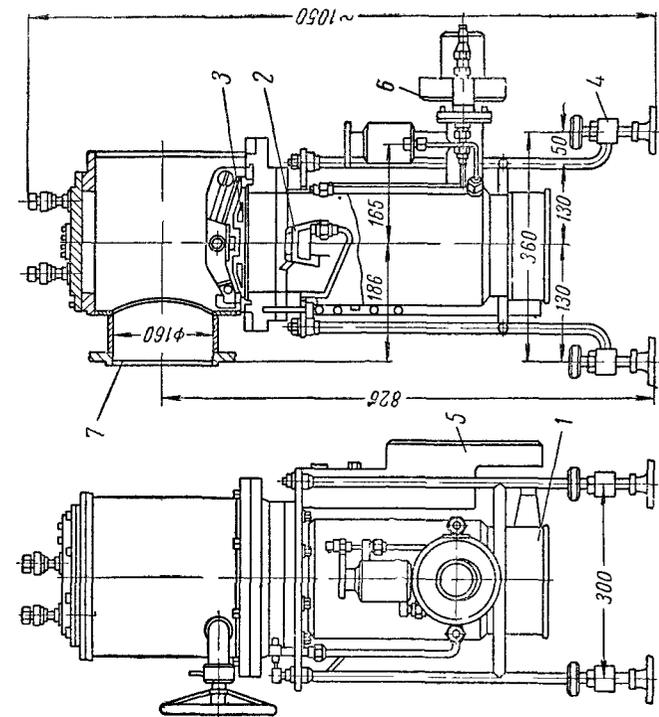


Рис. 63а. Схема вакуумного агрегата ВА-05-1 (без азотной ловушки).

масляного тумана). Миграция масла в сторону низкого вакуума можно избежать за счет придания выпускному трубопроводу специальной формы и охлаждения его проточной водой (что обычно делается в большинстве конструкций современных паромасляных насосов). Для устранения миграции масла в сторону высокого вакуума этих мер оказывается недостаточно.

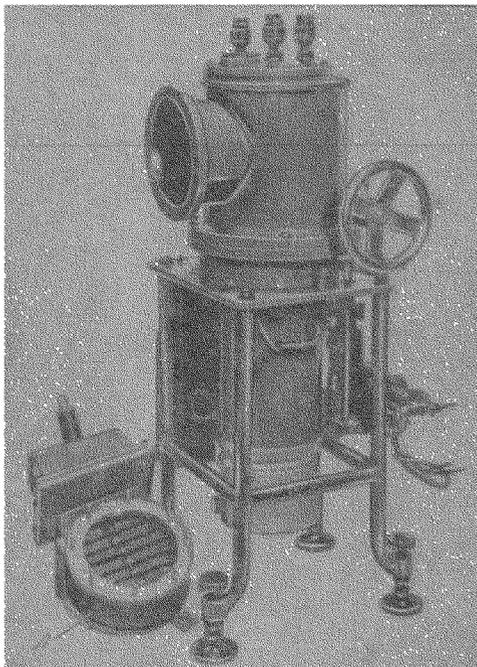


Рис. 64. Внешний вид агрегата ВА-05-1 (ловушка снята)

Проникновение масла в разрежаемый объем связано, во-первых, с непосредственным разлетом масляной струи между соплом и холодильником, вследствие чего образуется масляный туман и, во-вторых, с испарением масла с верхних участков насоса.

Наиболее эффективным способом борьбы с проникновением масла в разрежаемый объем является использование

специальных механических ловушек (так называемых маслоотражателей).

Эти маслоотражатели бывают самых различных конструкций, но все они обычно рассчитываются так, чтобы закрыть угол прямой видимости разрезаемого объема из первого сопла при минимальном уменьшении пропускной способности участка.

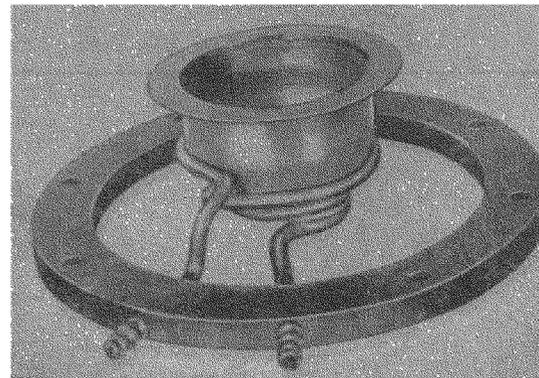


Рис. 65. Маслоотражатель (внешний вид).

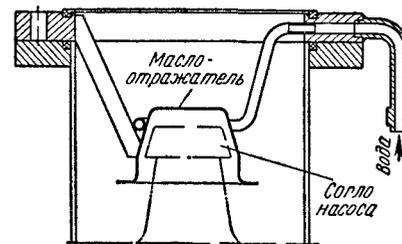


Рис. 65а. Расположение маслоотражателя в насосе.

Изучение ряда конструкций сопел показало, что большая часть (около половины) масла выбрасывается из струи в областях, непосредственно прилегающих к краям сопел, что, вероятно, связано с местными завихрениями. На основании изучения характера выброса масла из откачивающей струи была разработана простая и эффективная конструкция маслоотражателей в виде «колпачков», помещаемых над верхним соплом насоса, которая получила в настоящее время

широкое распространение. Маслоотражатель, изображенный на рис. 65, представляет собой конусообразный колпак с припаянной к нему медной трубкой, по которой проходит охлаждающая вода. Колпак прикреплен наглухо к стальному фланцу, на наружной стороне которого имеются два штуцера для подсоединения к системе охлаждения. Такими маслоотражателями, как правило, снабжаются все вакуумные агрегаты.

Помимо маслоотражателей большинство вакуумных агрегатов снабжаются съемными азотными ловушками.

Ловушка препятствует попаданию молекул пара рабочей жидкости в откачиваемый объем, а также конденсирует пары, присутствующие в этом объеме.

Эффективность холодной ловушки характеризуется следующими основными факторами: быстротой действия, пропускной способностью, стабильностью температурного режима, а также скоростью расхода охладителя, определяющей экономичность эксплуатации ловушки.

Быстрота действия ловушки определяется объемом пара, конденсирующегося на холодных стенках ловушки в единицу времени, причем максимальная быстрота действия получается в том случае, когда холодная поверхность ловушки сообщается с откачиваемым объемом непосредственно без каких-либо соединительных трубок.

Поскольку ловушка является по сути дела участком вакуумного трубопровода, соединяющего откачиваемый объем с насосом, то она должна иметь достаточно большую пропускную способность, чтобы в результате ее включения не было заметного снижения быстроты действия насоса.

В то же время для эффективной работы ловушки необходимо, чтобы откачиваемый из объема газ проходил через ловушку после соприкосновения с возможно большей частью холодной поверхности.

Поскольку при этом пропускная способность ловушки значительно уменьшается, то в каждом отдельном случае приходится создавать конструкцию, в той или иной мере удовлетворяющую предъявляемым к ней требованиям.

Существенное влияние на работу охлаждаемой ловушки оказывает не только температура ее холодной поверхности, но и стабильность этой температуры во времени, т. е. стабильность температуры при уменьшении со временем количества залитого в ловушку охладителя. От температуры поверхности зависит упругость сконденсированных на ней паров и, следовательно, их парциальное давление в откачиваемом

мом объеме. При повышении температуры отдельных участков холодной поверхности сорбированные и сконденсированные на них газы и пары частично переходят в откачиваемый объем, вследствие чего вакуум в объеме ухудшается.

Типичная конструкция азотной ловушки, применяемой в большинстве вакуумных агрегатов, представлена на рис. 66.

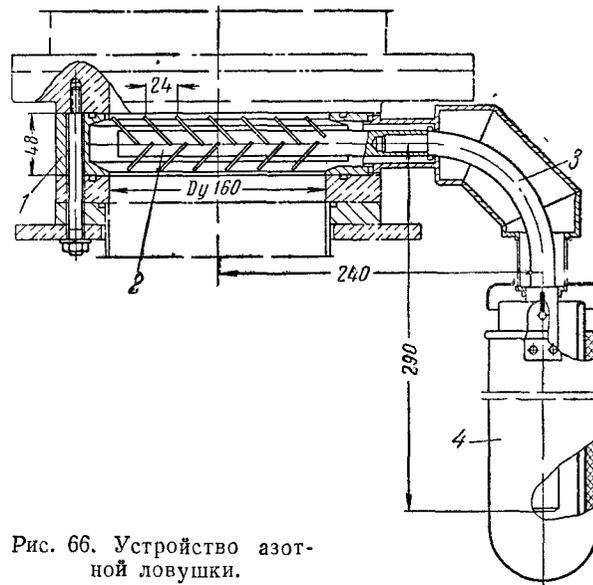


Рис. 66. Устройство азотной ловушки.

Ловушка состоит из корпуса 1, выполненного в виде облегченного кольца из алюминия, вымораживающего устройства 2, хладопровода 3 и сосуда Дьюара 4.

Вымораживающее устройство состоит из медного стержня с припаянными к нему медными пластинами, перекрывающими входное сечение насоса таким образом, чтобы ловушка была «непросматриваемой» на свет.

Хладопровод представляет собой Г-образный медный стержень, к которому припаян патрубок с фланцем для присоединения к корпусу.

В ловушках ДУ-86 и ДУ-160 используется сосуд Дьюара емкостью 0,5 л, в который заливается жидкий азот и опускается медный стержень хладопровода.

У ловушек ДУ-260, ДУ-380 и ДУ-500 используются 15-литровые сосуды Дьюара, снабженные питающим устройством в виде съемного узла, имеющего специальный предо-

хранительный клапан. Подача жидкого азота в вымораживающее устройство происходит в этом случае за счет избыточного давления, возникающего в закрытом сосуде Дьюара в результате испарения жидкого азота. Необходимое рабочее давление в сосуде Дьюара поддерживается постоянным благодаря работе предохранительного клапана. Технические характеристики азотных ловушек, используемых в вакуумных агрегатах, даны в приложении 7.

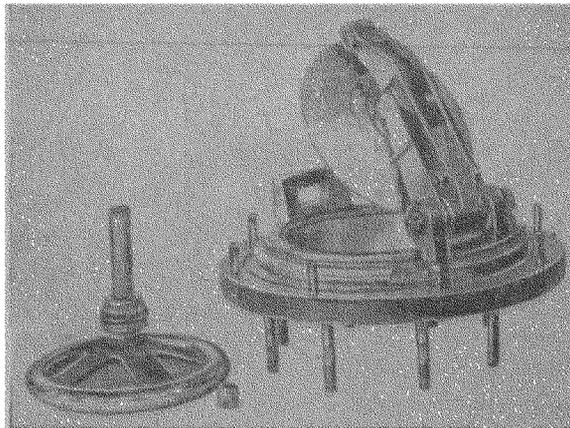


Рис. 67. Высоковакуумный затвор.

Помимо азотной ловушки, каждый агрегат снабжен высоковакуумным затвором, назначение которого — герметично перекрывать откачиваемый объем от паромасляного насоса.

Механизм высоковакуумного затвора (рис. 67) расположен на отдельном фланце и вмонтирован в вертикальный патрубок.

Необходимое перемещение перекрывающего диска при закрытии и последующем поджатии его к уплотняющей прокладке осуществляется посредством рычажно-эксцентрикового механизма. Соединение привода с эксцентриковым валом механизма осуществляется посредством муфты. Привод затвора состоит из стального вала с маховиком. Уплотнение вала состоит из набора резиновых уплотнителей и металлических шайб. На фланец затвора ставится патрубок, который представляет собой сварную конструкцию с тремя

присоединительными фланцами, из которых один служит для стыковки агрегата к откачиваемому объекту, второй — для присоединения патрубка к фланцу затвора и третий — для присоединения крышки. Время открывания и закрывания диска затвора не более 15 сек. На патрубке монтируется привод затвора. Привод может быть ручным и механическим (от электромотора).

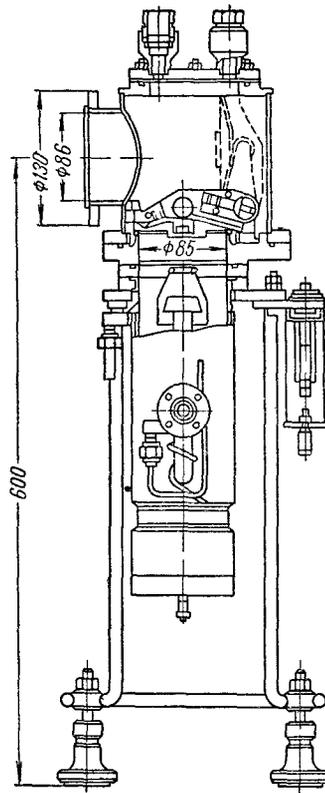


Рис. 68. Схема вакуумного агрегата ВА-01-1.

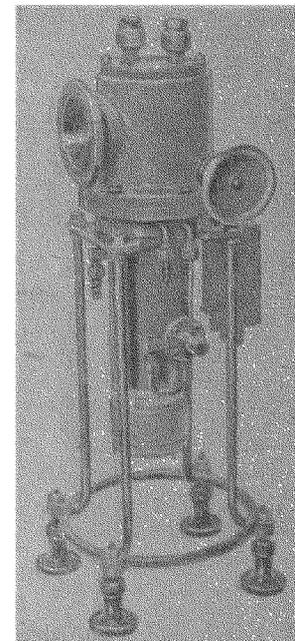


Рис. 69. Внешний вид агрегата ВА-01-1.

Система охлаждения агрегата обеспечивает подачу про- точной воды в паромасляный насос и маслоотражатель. Во- да из магистрали поступает в маслоотражатель 2 (см. рис. 63а), затем в корпус насоса 1, после чего поступает в гидроконттакт б и на слив

Гидроkontakt 6, установленный на агрегате, должен обеспечивать расходы воды 120—150 л/час при давлении воды на входе в агрегат, равном 1 ат, и свободном сливе и срабатывать при уменьшении расхода воды до 40—50 л/час.

Несмотря на то, что в рассматриваемом агрегате ВА-05-1 установлен паромасляный насос Н-5С, имеющий номинальную быстроту действия 500 л/сек, эффективная быстрота откачки воздуха в сечении фланца впускного патрубка агрегата даже без использования съемной азотной ловушки получается всего лишь 250 л/сек за счет того, что последовательно с насосом вклю-

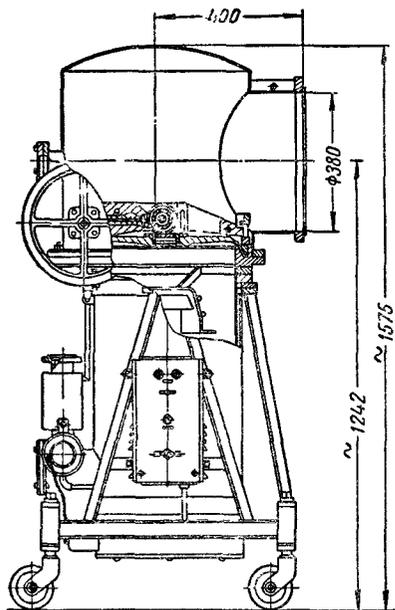


Рис. 70. Схема вакуумного агрегата ВА-5-4 (без азотной ловушки).

чен патрубок, внутри которого находится высоковакуумный затвор, и, кроме того, в сечении входного фланца самого насоса установлен маслоотражатель, также снижающий быстроту действия насоса на 25—30%. В случае использования съемной азотной ловушки эффективная быстрота откачки агрегата составляет только 100 л/сек, в силу чего ловушкой пользуются в тех случаях, когда это крайне необходимо. Для нормальной работы агрегата ВА-05-1 требуется вращательный насос ВН-2 с быстротой действия 7 л/сек. Агрегат может быть использован для обеспечения вакуума в установках для катодного распыления, для отжига металлов, вакуумной пайки и плавки и других целей.

быстроту действия 500 л/сек, эффективная быстрота откачки воздуха в сечении фланца впускного патрубка агрегата даже без использования съемной азотной ловушки получается всего лишь 250 л/сек за счет того, что последовательно с насосом вклю-

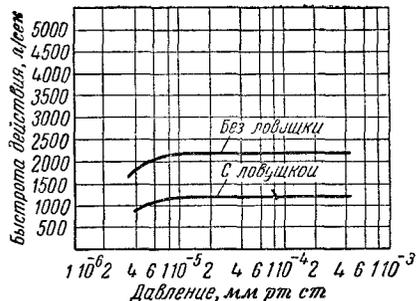


Рис. 71. Зависимость быстроты откачки вакуумного агрегата ВА-5-4 от давления.

Небольшой передвижной агрегат ВА-01-1 (рис. 68—69) лабораторного типа использует паромасляный насос Н-1С. Эффективная быстрота откачки агрегата около 50 л/сек. В качестве насоса предварительного разрежения может использоваться вращательный насос ВН-461 с быстротой действия 0,8 л/сек присоединяемый через шланг из вакуумной резины к выпускному патрубку насоса Н-1С.

Наибольшей быстротой действия обладают изображенные на рис. 70, 71 и 72 агрегаты ВА-5-4, ВА-8-4 (при использовании азотной ловушки быстрота действия у них 1200 и 2500 л/сек соответственно). В качестве насоса предварительного разрежения у этих агрегатов должен быть установлен вращательный насос ВН-1, подсоединяемый к выходному фланцу агрегата с помощью уплотнительных прокладок из вакуумной резины и болтового соединения. Эти агрегаты предназначены для откачки различного рода разборных вакуумных установок больших объемов со значительным газовыделением и натеканием.

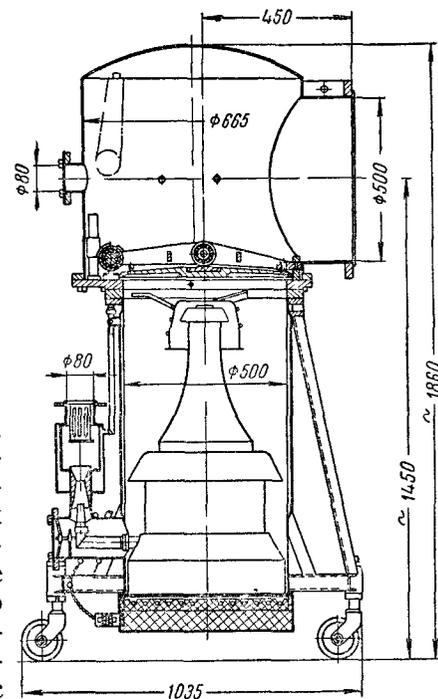


Рис. 72. Схема вакуумного агрегата ВА-8-4 (без азотной ловушки)

VI. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

1. Вращательные масляные насосы

При установке вращательных насосов следует придерживаться определенных правил: насосы с небольшой производительностью (обычно пластинчато-роторного и пластинчато-статорного типа) крепятся к достаточно массивному основанию и устанавливаются так, чтобы в процессе эксплуатации

к насосу был удобный подход для наблюдения за его работой, для смены масла и т. д.

Насос золотникового типа должен быть установлен на фундамент и закреплен болтами с гайками, шайбами и контргайками. После установки насос надлежит тщательно протереть чистой тканью.

Перед подключением насос должен быть промыт вакуумным маслом, после чего в него заливают требуемое количество масла. Подключив электродвигатель насоса к электросети, необходимо убедиться в правильности направления вращения шкива электродвигателя.

Для этого следует снять со шкива насоса приводной ремень, после чего включить электродвигатель. Если направление вращения шкива электродвигателя совпадает с направлением, указанным стрелкой на крышке насоса, то электродвигатель включен правильно (шкив электродвигателя, если стоять прямо против него, должен вращаться по часовой стрелке).

Тогда после остановки его можно надеть ремни, подтянуть их с помощью натяжных болтов, ввернутых в салазки, и окончательно закрепить электродвигатель (при этом всасывающий патрубок насоса должен быть герметично закрыт).

После этого следуют несколько раз провернуть шкив насоса вручную, затем включить насос и замерить создаваемый им предельный вакуум. Во избежание выброса из насоса масла включение насоса следует производить не сразу, а несколькими последовательными включениями электродвигателя на малый промежуток времени, в течение каждого из которых ротор насоса смог бы повернуться не более чем на половину оборота.

Для измерения предельного вакуума манометр должен быть присоединен непосредственно к впускному патрубку насоса. Для этой цели у насоса золотникового типа необходимо снять заглушку с впускного патрубка и герметично закрыть его специальной крышкой, на которой должно быть предусмотрено так называемое грибовое уплотнение для присоединения патрубка манометра [см. Л. 7, 15].

Измерение предельного вакуума вращательного насоса удобнее всего производить с помощью термодатного манометра. В настоящее время отечественная промышленность выпускает термодатные манометры двух типов: ЛТ-4 (в металлических баллонах диаметром 25,4 мм с припаянными к ним патрубками из низкоуглеродистой стали, имеющими

внешний диаметр 14 мм) и ЛТ-2 (в баллонах из стекла ЗС-5 со стеклянными патрубками, имеющими внешний диаметр 18 мм).

Эти манометры имеют близкие рабочие характеристики и при работе с вакуумметром ВТ-2 могут измерять давление в диапазоне от 1 до $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Связь между показанием измерительного прибора и давлением дается типовой градуировочной кривой, прилагаемой к каждому манометру [см. Л. 21].

При измерении предельного вакуума следует учитывать, что завод-изготовитель указывает в паспорте насоса предельный вакуум, измеренный ртутным компрессионным манометром.

В отличие от термодатного манометра этот манометр измеряет давление только неконденсирующихся газов, поэтому давление паров масла, залитого в насос, не входит в указанную в паспорте величину предельного вакуума.

Для эффективного использования быстроты действия насоса и получения минимального времени откачки вакуумной системы последняя должна присоединяться к насосу через широкий и короткий трубопровод. При подсоединении механического насоса должна быть предусмотрена возможность перекрытия соединительного трубопровода и последующего напуска в насос атмосферы. Необходимость в этом вызывается тем, что после остановки насоса заполняющее его масло под действием атмосферного давления вытесняется из насоса и засасывается в вакуумную систему, что может привести к серьезной аварии.

Отделение вакуумной системы от насоса, имеющего значительную быстроту действия, чаще всего производится при помощи металлического вентиля. В насосах, имеющих наибольшую быстроту действия, для этой цели обычно используется стеклянный угловой кран. Если насос соединен с вакуумной системой толстостенным резиновым шлангом, то их разделение может быть произведено с помощью специального зажима. В некоторых насосах (например, в пластинчато-статорном насосе ВН-461) возможность проникновения масла в вакуумную систему устраняется благодаря наличию предохранительной полости над впускным патрубком, объем которой достаточен, чтобы вместить все масло, протекающее под действием атмосферного давления из бака, в который погружен насос. Но даже в этом случае система должна быть отделена от насоса для того, чтобы в ней сохранялся вакуум. Кроме того, предохранительная полость только в том

случае может не допустить попадания масла в вакуумную систему после остановки насоса, если количество залитого в насос масла не превышает положенного (о чем можно судить по уровню масла, видимому через боковое окно или специальный глазок).

При работе насоса необходимо систематически следить за уровнем масла и пополнять его убыль, а при ухудшении предельного вакуума менять вакуумное масло, так как с течением времени оно загрязняется пылью и влагой. Если из вакуумной установки откачивается воздух, то смену масла в насосе достаточно производить 1—2 раза в год.

В том случае, когда с помощью вращательного насоса приходится откачивать агрессивные газы и пары (фтор, хлор, хлористый водород и др.), его промывку и замену масла следует производить значительно чаще. Для того чтобы полностью удалить из насоса отработанное масло, целесообразно при смене его 2—3 раза прополаскивать насос свежим вакуумным маслом, а загрязненное масло подвергнуть очистке (регенерации) с целью повторного использования.

Каждый раз после промывки насоса и заливки его маслом, а также после длительного перерыва в работе, прежде чем включать электродвигатель, необходимо от руки провернуть поршень на два-три оборота, чтобы освободить насос от заполнившего его масла, так как мощность двигателя недостаточна, чтобы простым его включением привести поршень во вращение.

При эксплуатации вращательных насосов число оборотов поршня в минуту должно соответствовать указанному в паспорте (у большинства отечественных насосов вращение поршня происходит со скоростью от 360 до 540 об/мин). Если увеличить число оборотов поршня, то этим можно добиться некоторого увеличения быстроты действия насоса, однако при этом происходит перегрев насосного масла, который сопровождается интенсивным газовыделением и уменьшением вязкости масла, что приводит к ухудшению создаваемого насосом предельного вакуума. При работе насоса с меньшим числом оборотов поршня, хотя и можно добиться некоторого улучшения предельного вакуума, однако быстрота действия насоса при этом уменьшается.

В результате неполной балансировки вращающихся частей механического насоса его корпус, как правило, при работе довольно сильно вибрирует (что особенно заметно у насосов золотникового типа).

Чтобы вибрации от механического насоса не передавались всей вакуумной установке целесообразно подсоединять насос через гибкую трубку из вакуумной резины или же использовать для этой цели томпаковый или стальной сильфон. Если необходимо небольшой механический насос поставить внутри стэнда, некоторого уменьшения вибрации можно добиться путем установки насоса на специальных амортизаторах.

Выхлопные газы от насоса рекомендуется выводить из рабочего помещения наружу с помощью специальных труб, что особенно необходимо в случае откачки вредных для здоровья человека газов.

Продолжительность нормальной работы (срок службы) механического насоса прежде всего зависит от ухода за ним. Особо надо следить, чтобы в насос не смогли попасть различные твердые предметы (осколки стекла, опилки, металлические стружки и т. д.), которые могут вызвать царапины на ответственных по уплотнению деталях или даже привести к заклиниванию вращающихся частей насоса.

Если в насосе имеются детали, изготовленные из цветных металлов (медь, бронза и т. д.), то недопустимо попадание в насос ртути, которая амальгамирует эти детали, в результате чего они быстро выходят из строя.

В таблице (стр. 82) перечислены наиболее часто встречающиеся ненормальности в работе масляных вращательных насосов золотникового типа и способы их устранения.

2. Пароструйные насосы

При эксплуатации пароструйных насосов необходимо учитывать некоторые их характерные особенности. К вакуумной системе многие пароструйные насосы чаще всего присоединяются с помощью фланцев с резиновыми, медными или свинцовыми прокладками. Сильно затягивать эти фланцы не рекомендуется, так как иначе прокладку можно выдавить. Присоединение выпускного патрубка пароструйного насоса к трубопроводу, ведущему к впускному патрубку вращательного насоса, должно производиться через вакуумный вентиль.

Присоединение проточной воды для охлаждения насоса всегда выполняется так, чтобы гарантировать полное омывание стенок холодильника, для чего впускной трубкой водяной рубашки всегда должна быть нижняя.

Пуск пароструйного насоса производится в следующем порядке. Прежде всего включается насос предварительного разрежения и вакуумная система откачивается до давления, достаточного, чтобы можно было проверить систему на гер-

Основные ненормальности в работе масляных вращательных насосов золотникового типа и способы их устранения

Продолжение

Дефекты в работе насоса	Предполагаемые причины	Метод устранения дефекта
Насос не обеспечивает требуемого вакуума	1. Наличие течи в вакуумной системе	Изолировав при помощи вентиля откачиваемую систему от насоса и наблюдая за изменением давления в ней, определить ее герметичность При наличии течей в системе с помощью одного из видов течеискателя определить место течи и устранить протекание в систему атмосферного воздуха (подробно см. [Л. 7])
	2. Мало масла в масляной камере	Добавить масла в масляную камеру
	3. Посторонние примеси в масле (например, попадание масла из пароструйного насоса)	Заменить масло свежим
	4. Вода в масле	Произвести осушку масла в насосе путем пропускания через насос сухого воздуха или сухого азота в течение 20—30 мин при давлении, близком к атмосферному. Если после этого предельный вакуум не улучшится, заменить масло свежим
	5. Засорены каналы для подачи масла в насос	Вывернуть игольчатые клапаны из правой крышки и корпуса масляного насоса или пробки из корпусов сальника и масляного насоса и прочистить масляные каналы
	6. Неисправность клапанов	Вскрыть крышку клапанной камеры, разобрать клапан по-детально и осмотреть все его детали, заменить дефектные детали новыми, а клапанную камеру протереть чистой тканью. Все детали промыть чистым бензином и обратный клапан. Если это не дает положительных результатов, то следует разобрать весь насос и тщательно осмотреть все детали роторного механизма.

Дефекты в работе насоса	Предполагаемые причины	Метод устранения дефекта
Течь масла из сальника	Износ деталей сальника	В случае обнаружения поврежденных деталей заменить их новыми. Промыть все детали чистым бензином и собрать насос. По истечении 48 ч после сборки залить в насос масло и произвести испытание насоса Устранить дефекты на деталях (задиры) или заменить изношенные детали новыми
Заклинивание механизма насоса	Попадание посторонних тел, занесенных из откачиваемой системы, или наличие осколков от разрушившихся деталей клапана или роторного механизма	Разобрать насос, удалить попавшие в него посторонние предметы, поврежденные детали заменить новыми, промыть все детали чистым бензином и снова собрать насос После 48 ч после сборки залить в насос масло и произвести испытание насоса

метичность. Если система в порядке, подается вода для охлаждения кожуха насоса и лишь после этого включается его подогреватель.

Выключение пароструйного насоса производится следующим порядком. Прежде всего выключается подогреватель и после остывания насоса перекрывается вентиль, соединяющий выхлопной патрубок пароструйного насоса с насосом предварительного разрежения; только после этого можно выключить электродвигатель вращательного насоса.

Воду следует выключать только после того, как пароструйный насос полностью остынет.

Если раньше в качестве рабочей жидкости для пароструйных насосов использовалась ртуть (марки Р-1 и Р-2), то сейчас область применения парортутных насосов значительно сократилась и в качестве рабочей жидкости для высоковакуумных насосов чаще всего используются нефтяное масло Д-1 (марки ВМ-1 и ВМ-2), а для вспомогательных (бустерных) насосов нефтяное масло сорта Г. При работе с этими маслами всегда следует помнить о недопустимости соприкосновения горячего масла с атмосферным воздухом, в результате которого резко ухудшаются вакуумные свойства насоса. Недопустимо также попадание внутрь паромасляного насоса пыли и посторонних жидкостей (в том

числе и масла марки ВМ-4, используемого в механических насосах).

Загрязнение масла и образование масляного нагара на деталях насоса резко ухудшает создаваемый насосом предельный вакуум. В этом случае необходимо снять насос с вакуумной установки, вылить из него масло, несколько раз прополоскать внутренние детали насоса растворителем до тех пор, пока сливаемый из насоса растворитель не будет чистым, просушить насос продуванием через него струи теплого сухого воздуха до полного исчезновения запаха растворителя, после чего вновь залить в насос требуемое по паспорту количество вакуумного масла.

Если смена масла в насосе не приводит к улучшению его работы, приходится производить полную разборку и чистку насоса. В этом случае из насоса выливают масло, вынимают все детали паропровода и промывают их растворителем. Внутренняя поверхность корпуса насоса также промывается растворителем, причем для этого пользуются чистой марлей, намотанной на палку или же специальной щеткой. Если с помощью одного растворителя не удается полностью удалить нагар и загрязнения с деталей насоса, то их следует зачистить смесью наждачной пыли № 1 с чистым вакуумным маслом, после чего еще несколько раз промыть растворителем и просушить теплым сухим воздухом до полного исчезновения запаха.

После чистки насоса в его корпус заливают требуемое по паспорту количество масла, устанавливают детали паропровода и производят сборку насоса. Чтобы детали насоса не подвергались коррозии, его рекомендуется сразу же после сборки поставить на предварительную откачку.

В процессе предварительной откачки, а также после включения подогревателя детали насоса и залитое в него масло постепенно обезгаживаются, в силу чего предельный вакуум улучшается довольно медленно. В зависимости от объема насоса, степени очистки его внутренних деталей, а также количества залитого в него масла (от нескольких десятков куб. сантиметров для небольших насосов до 4 л в насосе Н-8Г) номинальное значение предельного вакуума получается через 5—10 ч непрерывной откачки.

В качестве растворителей для промывки насосов рекомендуется применять: очищенный бензин, бензол, ацетон, четыреххлористый углерод, эфир, спирт-ректификат.

Ниже приведены встречающиеся ненормальности в работе паромасляных насосов и способы их устранения.

Ненормальности в работе паромасляных насосов и способы их устранения

Дефекты в работе насоса	Предполагаемая причина	Метод устранения дефекта
1. Полный срыв работы насоса	<p>1. Наличие значительной течи в вакуумной системе</p> <p>2. Перегорание спирали подогревателя насоса</p> <p>3. Недогрев масла в насосе</p> <p>4. Слишком большое давление на входном патрубке паромасляного насоса</p>	<p>1. Перекрыть вентиль, соединяющий вакуумную систему с паромасляным насосом, и оценить натекание по скорости возрастания давления в системе. Определить место течи и устранить натекание в систему атмосферного воздуха (о методах теченскания подробно см. [Л. 7])</p> <p>2. Отключив электропитание, снять керамическую плитку подогревателя, и если спираль перегорела, то заменить ее новой</p> <p>3. Проверить мощность, потребляемую электронагревателем насоса, и довести ее до заданной в паспорте величины (за счет повышения питающего напряжения)</p> <p>4. Проверить, нет ли течи со стороны трубопровода предварительного разрежения и достаточно ли производительность вращательного насоса. Устранить течь или установить вращательный насос, имеющий большую производительность</p>
2. Малая производительность насоса	<p>1. Недогрев масла в насосе</p> <p>2. Неправильная сборка паропровода</p>	<p>1. Проверить мощность, потребляемую электронагревателем насоса, и довести ее до заданной в паспорте величины (за счет повышения питающего напряжения)</p> <p>2. Выключить электронагреватель насоса, дождаться, пока насос полностью остынет, после чего разобрать насос и проверить, правильно ли установлены зазоры у сопел и нет ли перекоса паропровода. После этого вновь собрать насос и установить его на прежнее место</p>

Дефекты в работе насоса	Предполагаемая причина	Метод устранения дефекта
3. Плохой предельный вакуум	1. Наличие течи в вакуумной системе	1. Перекрыть вентиль, соединяющий вакуумную систему с паромасляным насосом, и оценить натекание по скорости возрастания давления в системе. Определить место течи и устранить натекание в систему атмосферного воздуха (о методах течеискания подробно см. [Л. 7])
	2. Наличие грязи на стенках вакуумной системы и насоса	2. Разобрать вакуумную систему и промыть ее отдельные части. Чистку деталей вакуумной системы и насоса следует производить с помощью растворителя, пользуясь щеткой или чистой марлей, намотанной на палку. При наличии заметного загрязнения металлических деталей их следует зачистить смесью наждачной пыли № 1 с чистым вакуумным маслом, после чего еще несколько раз промыть растворителем и тщательно просушить теплым воздухом. В качестве растворителей могут быть использованы: четыреххлористый углерод, ацетон, эфир, спирт-ректификат, бензол, очищенный бензин
	3. Масло в насосе загрязнено или содержит фракции с высокой упругостью	3. Если после нескольких часов непрерывной работы вакуум в системе не улучшается, отсоединить насос от вакуумной системы и сменить масло
	4. Плохое охлаждение насоса	4. Проверить, в достаточном ли количестве подается в насос вода и какова ее температура. Увеличить подачу воды в насос

Дефекты в работе насоса	Предполагаемая причина	Метод устранения дефекта
	5. Перегрев насоса	5. Уменьшить до номинала мощность, потребляемую электронагревателем насоса, и проверить подачу охлаждающей воды
	6. Мало масла в насосе	6. Отсоединить насос от вакуумной системы и добавить масла до требуемого количества

VII. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ НАСОСОВ

Вакуумные насосы служат в основном для двух целей. Первая заключается в получении возможно более высокого вакуума в приборах, отпаяваемых от насосов. Вторая сводится к тому, чтобы поддерживать возможно более высокий вакуум в системе путем ее непрерывной откачки.

В процессе создания разрежения в любой вакуумной системе можно установить два основных вида течения газа по трубопроводу:

а) в начальной стадии откачки, когда с помощью насосов происходит удаление основной массы газа и давление в системе довольно резко падает, имеет место нестационарное течение газа или же так называемый квазистационарный поток (при котором не будучи постоянным по времени, поток все же в каждый момент остается одинаковым для любого сечения трубопровода);

б) в процессе дальнейшей откачки системы, когда давление в ней установилось и поддерживается на определенном уровне, имеет место стационарное течение газа.

Стационарное течение газа будет, например, в том случае, когда в откачиваемом объеме выделяется или натекает в него извне такое же количество газа, которое за это время удаляется насосом из вакуумной системы.

Проектирование вакуумной установки, как правило, начинается с выбора высоковакуумного насоса, который во многом определяет быстроту откачки системы в том случае, когда насос своим входным отверстием может быть непосредственно присоединен к объекту откачки без всякого трубопровода или же при использовании достаточно короткого и широкого трубопровода.

В качестве примера вакуумных установок, в которых откачиваемый объект можно непосредственно присоединить к насосу, следует указать вакуумные печи различного назначения, установки для прокаливания металлических деталей токами высокой частоты с целью их обезгаживания, установки для катодного распыления, для нанесения покрытий под вакуумом и т. д.

В том случае, когда откачка какого-либо прибора сопровождается интенсивным прогревом его деталей, быстрота действия насоса чаще всего выбирается, исходя из требуемого времени обезгаживания.

Для определения быстроты разрежения вакуумной системы в этом случае необходимо вычислить полное количество газов (в литрах или куб. сантиметрах), выделяемых с поверхности стеклянных или керамических деталей и из толщи металлических деталей, привести этот объем к тому давлению и температуре, при которых производится откачка, и разделить на требуемое время обезгаживания.

Вычислив быстроту разрежения вакуумной системы S_c и проводимость соединительного трубопровода U_1 , нетрудно подсчитать, какой быстротой действия должен обладать высоковакуумный насос. Нужно, чтобы насос успевал откачивать выделяющиеся газы, иначе может произойти возрастание давления в приборе, что существенно ухудшает процесс газоотдачи. При этом следует учитывать, что часто газоотделение идет скачками (пикообразно, в зависимости от быстроты нарастания температуры), поэтому насос надо выбирать с некоторым запасом производительности.

Что касается насоса предварительного разрежения, предназначенного для совместной работы с высоковакуумным насосом, то к нему предъявляются, в основном, два требования:

1. Создание разрежения, необходимого для нормальной работы высоковакуумного насоса (величины $P_{вып}$ максимальных выпускных давлений высоковакуумных насосов даны в приложениях 4 и 5).

2. Быстрота действия насоса предварительного разрежения $S_{нпр}$ при допустимых выпускных давлениях должна быть, по крайней мере, достаточна для удаления газа, выбрасываемого высоковакуумным насосом, т. е. должно соблюдаться условие

$$S_{нпр} > \frac{P_1 S_c}{P_{вып}}$$

Пример 1. Необходимо выбрать высоковакуумный насос и насос предварительного разрежения для откачки колпака, в котором в течение 2 ч производится вакуумный отжиг металла при давлении $P_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. Проводимость трубопровода, соединяющего откачиваемый колпак с высоковакуумным насосом, $U_1 = 30$ л/сек, проводимость трубопровода, соединяющего высоковакуумный насос с насосом предварительного разрежения, $U_2 = 0,5$ л/сек.

В процессе отжига из металла выделяется 95 нсм³ газа (где нсм³ — количество газа, см³, приведенное к нормальному атмосферному давлению 760 мм рт. ст. и температуре 0°С).

Поскольку общее время обезгаживания 2 ч, то в течение часа должно откачиваться $\frac{95}{2} = 47,5$ нсм³ газа. Так как откачка газа происходит при давлении $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., то суммарный объем газоотделения в литрах в течение часа при этом давлении будет

$$\frac{47,5 \cdot 760 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-4}} \approx 72\,000 \text{ л.}$$

Быстрота разрежения вакуумной системы должна быть

$$S_c = \frac{72\,000}{3\,600} = 20 \text{ л/сек.}$$

Быстрота действия высоковакуумного насоса $S_{нвв}$ определяется из уравнения

$$\frac{1}{S_c} = \frac{1}{S_{нвв}} + \frac{1}{U_1},$$

откуда

$$S_{нвв} = \frac{U_1 \cdot S_c}{U_1 - S_c} = \frac{30 \cdot 20}{30 - 20} = 60 \text{ л/сек.}$$

Выбираем двухступенный паромасляный насос единой серии типа Н-1С, который имеет среднюю быстроту действия 100 л/сек и выпускное давление $P_{вып} = 0,075$ мм рт. ст.

При выборе насоса предварительного разрежения следует учитывать падение давления, которое имеет место на трубопроводе, соединяющем оба насоса. Если принять, что в данном случае это падение давления в трубопроводе составляет 0,020 мм рт. ст., то тогда максимальное давление у впускного патрубка механического насоса будет

$$P_2 = 0,075 - 0,020 = 0,055 \text{ мм рт. ст.}$$

Быстрота действия насоса предварительного разрежения при этом давлении должна быть не менее

$$S_{нпр} = \frac{S_c \cdot P_0}{P_2} = \frac{20 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{0,055} = 0,18 \text{ л/сек.}$$

Выбираем пластинчато-статорный насос ВН-461, который при этом давлении имеет быстроту действия порядка 0,2 л/сек.

Если откачиваемый прибор присоединен к насосу через трубопровод с узкой перетяжкой, диаметр которой обычно выбирается из условий удобства отпайки прибора после откачки, то по сути дела быстрота разрежения вакуумной системы S_c в этом случае определяется в основном не быстротой действия насоса $S_{н.вв}$, а пропускной способностью наиболее узкой части трубопровода (перетяжки). Поскольку любой из применяемых насосов обычно имеет быстроту действия, в несколько раз превышающую пропускную способность этой перетяжки, то в данном случае высоковакуумный насос выбирается с такой быстротой действия $S_{н.вв}$ чтобы коэффициент использования насоса $\frac{S_c}{S_{н.вв}}$ был по возможности максимален.

Стационарное течение газа имеет место также при непрерывной откачке таких приборов, как электронные микроскопы, ртутные выпрямители, разборные генераторные лампы, масс-спектрометры и т. п., в которых необходимо поддерживать возможно более низкое давление при установившейся скорости натекания и газовыделения.

Поскольку эти приборы в основном изготавливаются из металла и имеют сварные швы, а также резиновые или металлические уплотнительные прокладки, то следует учитывать, что разборные вакуумные установки такого рода никогда не бывают совершенно герметичными, а проникновение газа через течи создает дополнительную нагрузку на насосы.

Например, через отверстие, имеющее площадь всего лишь $0,0003 \text{ мм}^2$, проникает в аппаратуру $0,1 \text{ г}$ воздуха в час. Как видно из рис. 73, где показано изменение быстроты действия высоковакуумного металлического насоса средних размеров в объемных единицах от его производительности в весовых единицах, при давлениях ниже $10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$, несмотря на большую объемную быстроту откачки, вес откачиваемого воздуха ничтожен. Вес воздуха, натекающего через отверстие площадью $0,0003 \text{ мм}^2$, равен производительности насоса при давлении $10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$ Поэтому насос производительностью $0,1 \text{ г}$ воздуха в час (быстрота действия около 20 л/сек) не может откачать систему до давления ниже $10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$

При выборе размеров соединительных трубопроводов в стационарных установках для откачки больших объемов следует руководствоваться также соображениями эконо-

мичности. Наличие высоковакуумных коммуникаций может снижать быстроту действия насоса на 40—60%, в то время как в низковакуумных коммуникациях не следует допускать снижения быстроты действия механического насоса более чем на 5—10%.

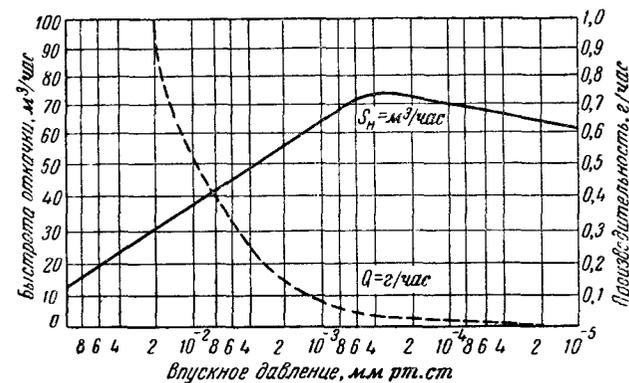


Рис. 73. Изменение быстроты действия и производительности вакуумного насоса средних размеров от впускного давления (по Якkelю).

Дело в том, что механические насосы значительно дороже простых низковакуумных коммуникаций, состоящих обычно из труб диаметром 20—50 мм (только у наиболее высокопроизводительного золотникового насоса ВН-6 диаметр отверстия впускного патрубка достигает 150 мм).

Что касается стоимости пароструйного насоса, то она оказывается приблизительно равной стоимости высоковакуумной коммуникации, в состав которой обычно входят дорогостоящий высоковакуумный затвор и азотная ловушка, значительное увеличение габаритных размеров которых нецелесообразно.

Как уже указывалось, в том случае, когда с помощью насоса удаляется основная масса газа и давление в системе довольно быстро падает, имеет место так называемый квазистационарный поток, примером которого может служить процесс откачки газа от атмосферного давления до величины предельного вакуума, создаваемого механическим насосом. Выбор механического насоса в этом случае достаточно прост. Для этой цели, исходя из общего объема всей системы, выбирается насос с такой быстротой действия, чтобы за определенное время можно было получить в системе нуж-

ный вакуум. Быстрота действия насоса должна быть не ниже

$$S_n = 2,3 \frac{V}{t} \lg \frac{p'}{p''},$$

где V — объем вакуумной системы;

p' — давление в системе в момент времени $t=0$;

p'' — давление в системе в момент времени t ;

t — время откачки системы.

Пример 2. Требуется выбрать вращательный насос, который смог бы обеспечить откачку объема 250 л за время 10 мин от атмосферного давления до давления порядка 0,08 мм рт. ст.

В этом случае насос может иметь быстроту откачки не ниже

$$S_n = 2,3 \frac{V}{t} \lg \frac{p'}{p''} = 2,3 \frac{250}{10} \cdot 4 \approx 230 \text{ л/сек.}$$

Для этой цели вполне пригоден золотниковый вращательный насос ВН-2, имеющий быстроту откачки около 300 л/мин.

Если же имеется вращательный насос с известной быстротой откачки и известен объем вакуумной системы, то для быстрого определения времени откачки полезно запомнить следующее правило:

давление уменьшается вдвое за время

$$t \left(\frac{1}{2} \right) \approx \frac{2}{3} \frac{V}{S_n},$$

а в момент времени

$$t = nt \left(\frac{1}{2} \right)$$

давление

$$p'' = \frac{1}{2^n} p'.$$

Это правило применимо только тогда, когда давление в системе значительно выше предельного. Это предельное давление может быть просто предельным давлением насоса или, что чаще имеет место, создается течами и водяными парами в откачиваемой установке.

В случае наличия широкого и короткого трубопровода время откачки системы от атмосферного давления до 1 мм рт. ст. с учетом снижения быстроты откачки при умень-

шении давления может быть приближенно определено по формуле

$$t = 8 \frac{V}{S_n},$$

где S_n — номинальная быстрота действия насоса при давлении $p=760$ мм рт. ст.

Этой формулой удобно пользоваться при выборе вращательного насоса для откачки той или иной аппаратуры.

Наглядное представление о времени, которое затрачивается различными механическими насосами на откачку объема 1 м³ от 760 до 0,1 мм рт. ст. при непосредственном присоединении их к объему, дают цифры, приведенные в табл. 4 [Л. 15].

Из данных, приведенных в таблице, видно, что насосы ВН-494, ВН-461М и РВН-20 нецелесообразно применять для откачки больших объемов.

Откачка значительных объемов насосами с малой быстротой действия связана не только с потерей времени, но приводит к их перегрузке и перегреву. Кроме того, у насосов РВН-20, ВН-1 и ВН-2 при этом имеет место выброс масла из выхлопного патрубка насоса.

Поэтому при отсутствии механических насосов большой производительности откачку вакуумной аппаратуры большего объема следует производить несколькими механическими насосами, включенными в параллель, ни в коем случае не допуская их перегрева.

Таблица 4

Тип	Время откачки
ВН-6	1 мин
ВН-4	3 мин
ВН-1	9 мин
ВН-2	23 мин
РВН-20	55 мин
ВН-461М	3 ч
ВН-494	11,5 ч

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Наименова			
		ВН-494	ВН-461	РВН-20	НВГ-1
1	Тип насоса	Пластинчато-роторный	Пластинчато-статорный	Пластинчато-статорный	Пластинчато-статорный
2	Средняя быстрота действия насоса, л/сек:				
	При давлении: 760 мм рт. ст.	0,21	0,83	2,7	0,83
	1 мм рт. ст.	0,21	0,7	2,4	0,7
	0,01 мм рт. ст.	0,05	0,2	0,5	0,2
3	Предельный вакуум, мм рт. ст.	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
4	Число оборотов шкива насоса в минуту	360	540	400	—
5	Количество масла ВМ-4 на заправку насоса, л	1,5	2,3	0,5	2
6	Расход масла, см ³ /час	—	—	—	—
7	Охлаждение насоса	Воздушное	Воздушное	Воздушное	Воздушное
8	Расход воды, л/час	—	—	—	—
9	Габаритные размеры насоса, мм:				
	длина	420	610	620	515
	ширина	235	294	330	340
	высота	325	415	445	380
10	Вес, кг	36	75	110	70
11	Напряжение, в	230/380	220/380	220/380	—
12	Мощность, квт	0,6	0,6	0,8	0,3
13	Число оборотов шкива электродвигателя в минуту	1 400	1 400	—	—

МАСЛЯНЫХ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ

ние насоса						
НВГ-2	НВГ-3	ФН-11	ВН-1	ВН-2	ВН-4	ВН-6
Пластинчато-статорный	Пластинчато-роторный	Пластинчато-роторный	Золотниковый (плунжерный)	Золотниковый (плунжерный)	Золотниковый (плунжерный)	Золотниковый (плунжерный)
1,65	0,065	1,0	18,3	7,0	59	155
—	0,06	—	14,5	5,9	40	117
—	0,015	—	11,5	5,0	15	0
$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
—	—	450	500	525	500	360
2	0,08	—	3,8	2,0	16	55
—	—	—	—	—	40	70
Воздушное	Воздушное	Воздушное	Воздушное	Воздушное	Водяное	Водяное
—	—	—	—	—	200—300	700—1 000
515	253	—	910	690	1 635	1 905
340	210	—	625	560	875	960
380	220	—	605	490	1 420	1 975
70	15	—	312	180	1 050	2 050
—	—	—	220/380	220/380	220/380	220/380
1	0,3	0,5	2,8	1,7	7	20
—	—	—	1 400	1 400	960	960

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВРАЩАТЕЛЬНЫХ МНОГОПЛАСТИНАТЫХ НАСОСОВ

№ по пор.	Наименование характеристики	Марка насоса			
		РВН-7	РВН-30	РВН-60	РВН-75
1	Быстрота откачки при разрежении 90%, м ³ /час	250	1 500	2 900	3 500
2	Максимальный вакуум, %	98,5	98	98	97
3	Расход масла, г/час . .	150	250	300	350
4	Расход воды, л/час . .	400	1 400	2 000	10 000
5	Тип электродвигателя	—	ГАМ-6 117-10	ГАМ-6 127-12	ГАМ 138-12
6	Мощность электродвигателя, кВт	10	50	75	100
7	Число оборотов в минуту	1 500	585	485	485
8	Общий вес установки (насоса и электродвигателя), кг	—	3 375	5 540	8 980
	Габаритные размеры мм:				
9	длина	876	1 220	1 690	1 905
10	высота	400	775	968	—
11	ширина	420	720	920	1 000
12	Радиальный зазор между барабаном и цилиндром, мм	0,2	0,45	0,5	0,5
13	Торцевой зазор, мм . .	0,1—0,8	0,15—1,1	0,15—1,65	0,2—2,2
14	Длина корпуса насоса, мм	380	700	1 050	1 250

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПАРОРУТНЫХ НАСОСОВ

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Насос Н-5Р	Насос Н-40Р	Насос Н-1ТР
1	Средняя быстрота действия насоса в интервале давлений от $8 \cdot 10^{-6}$ до $4 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., л/сек	8—10	45—50	1 500
2	Предельный вакуум, создаваемый насосом при работе на ртути Р-1 или Р-2 (при вымораживании паров ртути жидким азотом), мм рт. ст.	$3 \cdot 10^{-7}$ ($1 \cdot 10^{-7}$)	$3 \cdot 10^{-7}$ ($1 \cdot 10^{-7}$)	$5 \cdot 10^{-7}$ ($3 \cdot 10^{-7}$)
3	Максимальное выпускное давление, измеренное в сечении выходного фланца насоса (при давлении на стороне высокого вакуума $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.), мм рт. ст.	0,5—0,6	0,9±1,0	0,3
4	Количество ступеней откачки	2	2	3
5	Мощность электронагревателя, Вт	300	450	1 000
6	Напряжение электронагревателя, В	127	220	220
7	Количество ртути Р-1 или Р-2, заливаемой в насос, см ³	20	50	1 000
8	Внутренний диаметр корпуса насоса, мм	35	62	260
9	Высота насоса (с электронагревателем), мм	210	245	729
10	Площадь в плане, мм	106×150	125×168	340×500
11	Вес насоса (без ртути), кг	2,6	3,8	60

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Насос Н-5Р	Насос Н-10Р	Насос Н-1ТР
12	Размеры присоединительных фланцев:			
	а) Входной фланец			
	Внешний диаметр, мм	80	118	340
	Диаметр окружности по центрам болтов, мм	64	96	308
	Диаметр болтов, мм	8	10	12
	Количество болтов, шт.	6	6	8
	Паз для резиновой прокладки, мм	—	—	276×266×4,8
	Паз для медной прокладки, мм	52×42×3,0	82×72×4,0	—
	Медная прокладка входного фланца, мм	52×42×0,5	82×72×0,5	—
	б) Выходной фланец			
	Внешний диаметр, мм	—	—	110
	Диаметр окружности по центрам болтов, мм	—	—	90
	Диаметр болтов, мм . .	—	—	8
	Количество болтов, шт.	—	—	4
	Паз для резиновой прокладки, мм	—	—	70×60×3,5
	Резьба выходного штуцера насоса	1М18×1,5	1М18×1,5	—
	Резьба водяных штуцеров насоса	2М12×1	2М12×1	—
13	Расход охлаждающей воды, л/час	30	50	300
14	Рекомендуемый насос предварительного разрежения	ВН-494	ВН-494	ВН-2

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Марка насоса						
		Модель А-338-03	Модель И076-00	ДМН-20	ММ40-А	ЦВЛ-100	Н-5	ЦВЛ-15М
1	Средняя быстрота действия насоса в интервале давлений 1·10 ⁻⁵ —2·10 ⁻⁴ мм рт. ст. л/сек	5	5,5	20	30—40	125—140	500	1500
2	Пределный вакуум при работе на масле Д1 (без вымораживающей ловушки), мм. рт. ст.	2·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶
3	Максимальное выпускное давление, мм рт. ст.	0,075	0,2	0,05	0,050—0,1	0,2	0,12	0,12
4	Количество ступеней откачки	2	2	2	2	3	3	2
5	Мощность электронагревателя, кВт	0,085	0,2	0,2	0,45	0,45	1,0	1,2
6	Напряжение электронагревателя, в	36	36	220	127	127	220	220
7	Количество масла, заливаемого в насос, л	0,03	0,03	0,1	0,04	0,1	0,5	1,0
8	Внутренний диаметр корпуса насоса, мм	—	—	49	62	86	162	—
9	Высота насоса, мм	190	155	310	440	410	616	1000
10	Площадь в плане, мм	85×80	88×78	130×125	120×116	250×130	315×240	460×283
11	Вес насоса, кг	1,8	0,6	4,2	6,9	6,3	27	60
12	Расход охлаждающей воды, л/час	30	30	Воздушное охлаждение	50	50	120	200
13	Рекомендуемый насос предварительного разрежения	ВН-494	ВН-494	ВН-494	ВН-494	ВН-461М	РВН-20, ВН-2	ВН-2

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОВАКУУМНЫХ НАСОСОВ ЕДИНОЙ СЕРИИ

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Н-1С	Н-5С	Н-2Т	Н-5Т	Н-8Т
1	Средняя скорость действия насоса в интервале давлений 1.10-5-2.10-4 мм рт. ст., л/сек	100	500	2000	5000	8000
2	Пределный вакуум при работе на масле ДИА (без йодображивающей ловушки), мм рт. ст.	3.10-6	3.10-6	3.10-6	3.10-6	3.10-6
3	Максимальное выпускное давление, мм рт. ст.	0,075 2	0,075 2	0,100 3	0,100 3	0,100 3
4	Количество ступеней откачки	0,45—0,48	1,00	1,25	2,0	2,8
5	Мощность электронагревателя, кВт	220	220	220	220	220
6	Напряжение электронагревателя, в	Однофазная	Однофазная	Трехфазная	Трехфазная	Трехфазная
7	Схема соединения электронагревателя	1,75	2,5	3,80	4,4	4,10
8	Удельная характеристика, л/сек/см ²	4,5—4,8	2,0	0,6	0,40	0,35
9	Удельная характеристика, вит/л/сек	0,05	0,5	1,0	1,5	4,0
10	Количество масла, заливаемого в насос, л	86	160	260	380	500
11	Внутренний диаметр корпуса насоса, мм	335	478	640	776	1012
12	Высота насоса, мм					

Продолжение прил. 5

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Н-1С	Н-5С	Н-2Т	Н-5Т	Н-8Т
13	Площадь в плане, мм	175×145	325×260	452×370	596×532	779×650
14	Вес насоса, кг	6	20	41	79	140
15	Размеры присоединительных фланцев: а) Входной фланец Внешний диаметр, мм Диаметр окружности болтов, мм Диаметр болтов, мм Количество болтов, шт. Паз для резиновой прокладки, мм б) Выходной фланец Внешний диаметр, мм Диаметр окружности болтов, мм Диаметр болтов, мм Количество болтов, шт. Паз для резиновой прокладки, мм	145 125 6 6 —	235 210 10 8 174×164×3,5	340 308 12 8 276×266×4,8	460 430 12 8 406×396×4,8	600 565 16 8 532×516×6,4
16	Расход охлаждающей воды, л/час	60	70	110	110	145
17	Рекомендуемый насос предварительного разрежения	50 ВН-461М	120 ВН-2 или РВН-20	200 ВН-2	350 ВН-1	600 ВН-1

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНЫХ АГРЕГАТОВ

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Тип		
		ВА-01-1		ВА-05-1
		С азотной ловушкой	Без азотной ловушки	С азотной ловушкой
1	Средняя быстрота откачки воздуха в сечении фланца впускного патрубка агрегата в диапазоне давлений $1 \cdot 10^{-5}$ — $2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., л/сек	25	50	100
2	Предельный вакуум при работе на масле Д-1, мм рт. ст.	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$
3	Максимальное выпускное давление, мм рт. ст.	0,075	0,075	0,075
4	Мощность электронагревателя, квт	0,45—0,48	0,45÷0,48	1,0
5	Напряжение электронагревателя, в	220	220	220
6	Схема соединения электронагревателя	Однофазная	Однофазная	Однофазная
7	Количество масла, заливаемого в насос, л	0,05	0,05	0,5
8	Емкость азотной ловушки, л	0,5	—	0,5
9	Расход жидкого азота в ловушке агрегата:			
	а) при первоначальной заливке, л	0,9	—	2,5
	б) в установившемся режиме, л/час	0,12	—	0,25
10	Продолжительность действия ловушки, заполненной жидким азотом (после заливки), ч	2,5	—	1,0
11	Высота от пола до оси впускного патрубка агрегата, мм	630	600	870

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Тип агрегата						
		ВА-2-3		ВА-5-4		ВА-8-4		
		Без азотной ловушки	С азотной ловушкой	Без азотной ловушки	С азотной ловушкой	Без азотной ловушки	С азотной ловушкой	Без азотной ловушки
1	Средняя быстрота откачки воздуха в сечении фланца впускного патрубка агрегата в диапазоне давлений $1 \cdot 10^{-5}$ — $2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., л/сек	250	500	1 000	1 200	2 200	2 500	4 000
2	Предельный вакуум при работе на масле Д-1, мм рт. ст.	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$
3	Максимальное выпускное давление, мм рт. ст.	0,075	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4	Мощность электронагревателя, квт	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,8	2,8
5	Напряжение электронагревателя, в	220	220	220	220	220	220	220
6	Схема соединения электронагревателя	Однофазная	Трехфазная	Трехфазная	Трехфазная	Трехфазная	Трехфазная	Трехфазная
7	Количество масла, заливаемого в насос, л	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	4,0	4,0
8	Емкость азотной ловушки, л	—	15	—	15	—	15	—
9	Расход жидкого азота в ловушке агрегата:							
	а) при первоначальной заливке, л	—	2	—	3,5	—	5	—
	б) в установившемся режиме, л/час	—	1	—	1	—	1,5	—
10	Продолжительность действия ловушки, заполненной жидким азотом (после заливки), ч	—	13	—	12	—	7	—
11	Высота от пола до оси впускного патрубка агрегата, мм	820	1 120	1 045	1 310	1 230	1 535	1 450

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Тип		
		ВА-01-1		ВА-05-1
		С азотной ловушкой	Без азотной ловушки	С азотной ловушкой
12	Высота агрегата, мм	760	730	1 080
13	Площадь в плане, мм	520×340	520×340	540×670
14	Вес, кг	47	43	90
15	Размеры присоединительных фланцев			
	А. Входные фланцы агрегата (горизонтальный и вертикальный)			
	Наружный диаметр головки затвора, мм	145	145	235
	Внутренний диаметр головки затвора, мм	86	86	160
	Диаметр центральной линии болтов, мм	125	125	210
	Количество болтов, шт.	4	4	8
	Диаметр болтов, мм	8	8	10
	Б. Выходной фланец агрегата			
	Наружный диаметр, мм	60	60	70
	Внутренний диаметр, мм	17	17	30
	Диаметр центральной линии болтов, мм	45	45	56
	Количество болтов, шт.	4	4	4
	Диаметр болтов, мм	6	6	6
16	Используемый высоковакуумный насос	H-1C	H-1C	H-5C
17	Расход охлаждающей воды, л/час	50	50	120
18	Рекомендуемый насос предварительного разрежения	ВН-461М	ВН-461М	РВН-20 или ВН-2

	агрегата					
	ВА-2-3		ВА-5-4		ВА-8-4	
	Без азотной ловушки	С азотной ловушкой	Без азотной ловушки	С азотной ловушкой	Без азотной ловушки	С азотной ловушкой
	1 030	1 320	1 250	1 650	1 570	1 990
	540×670	1100×735	790×735	1250×820	910×820	1360×1035
	85	200	190	330	315	500
	235	340	340	460	460	600
	160	260	260	380	380	500
	210	308	308	430	430	565
	8	8	8	8	8	8
	10	12	12	12	12	16
	70	110	110	110	110	145
	30	50	50	50	50	80
	56	90	90	90	90	125
	4	4	4	4	4	4
	6	8	8	8	8	8
	H-5C	H-2T	H-2T	H-5T	H-5T	H-8T
	120	200	200	400	400	500
	РВН-20 или ВН-2	ВН-2	ВН-2	ВН-1	ВН-1	ВН-1

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ (БУСТЕРНЫХ) НАСОСОВ**

№ по пор.	Наименование параметра или характеристики	Марка насоса		
		БН-3	ДРН-10	ДРН-50
1	Максимальная быстрота действия, л/сек	450 при 1.10 ⁻² мм рт. ст.	10 при 1.10 ⁻² мм рт. ст.	30 при 1.10 ⁻¹ мм рт. ст.
2	Предельный вакуум, мм рт. ст.	5.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁷ (с азотной ловушкой)	1.10 ⁻⁷
3	Максимальное выпускное давление, мм рт. ст.	0,3÷0,6	1—1,5	20
4	Количество ступеней откачки	2	2	
5	Мощность электронагревателя, кВт	3,5	0,6	2,5
6	Напряжение электронагревателя, в	220	220	220
7	Марка рабочей жидкости	Масло Г	Ртуть Р-1, Р-2	Ртуть Р-1, Р-2
8	Количество рабочей жидкости, заливаемой в насос, л	1,5	0,15	0,25
9	Внутренний диаметр корпуса насоса, мм	162	35	50
10	Высота насоса, мм	610	540	875
11	Площадь в плане, мм	418×413	170×170	280×280
12	Вес насоса, кг	33,5	7,5	25
13	Расход охлаждающей воды, л/час	180	180	
14	Рекомендуемый насос предварительного разрежения	ВН-1	ВН-494	ВН-461М

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЗОТНЫХ ЛОВУШЕК, ПРИМЕНЯЕМЫХ
В ВАКУУМНЫХ АГРЕГАТАХ**

А. Эксплуатационные данные

№ по пор.	Наименование характеристик	Тип ловушки					
		ДУ-80	ДУ-160	ДУ-260	ДУ-380	ДУ-500	
1	Пропускная способность, л/сек	133	313	1460	2840	6100	
2	Минимальная температура пластин, °С	-170	-170	-170	-170	-160	
3	Расход жидкого азота: а) на предварительное охлаждение, л б) в установившемся режиме, л/час	0,9 0,12	2,5 0,25	1,5—2 0,9—1	3,5 0,9—1	4,5—5 1,3—1,5	
4	Время на предварительное охлаждение, ч	0,5	1,5	1,2	1,5	1,5—2	
5	Время действия ловушки без доливки жидкого азота при работе со стеклянными сосудами Дьюара, ч	2,5	1	13	12	6—7	
6	Рабочее давление в сосуде Дьюара емкостью 15 л, мм рт. ст.	—	—	90	48	90	

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАГРАНИЧНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСАХ

Таблица 1

Технические характеристики масляных вращательных насосов, выпускаемых в Англии

Тип насоса	Быстрота действия насоса в л/сек при 760 мм рт. ст.	Предельный вакуум, мм рт. ст.		Максимальное количество водяного пара, откачиваемого насосом, г/мин	Мощность мотора, квт
		без балластного газа	с балластным газом		
2SC20*	0,37	1.10 ⁻³	5.10 ⁻²	0,23	0,184
1SC30**	0,53	2.10 ⁻²	1,0	0,45	0,184
1SC50	0,80	1.10 ⁻²	1,0	0,68	0,184
2SC50*	0,80	2.10 ⁻⁴	5.10 ⁻³	0,57	0,245
1SC150	2,40	1.10 ⁻²	1,0	2,20	0,245
1SC450	7,50	1.10 ⁻²	1,0	15,0	0,736
GkS47	22,0	1.10 ⁻²	0,5	32,0	2,2
GkS110	50,0	1.10 ⁻²	0,5	74,0	3,7
GkD310	145,0	1.10 ⁻²	0,5	212,0	11,0
GkD485	227,0	1.10 ⁻²	0,5	325,0	18,4
GkD780	365,0	1.10 ⁻²	0,5	520,0	29,4

* Двухступенные насосы.

** Насос может работать как компрессор, нагнетая газ под давлением 0,7 ата.

Таблица 2

Технические характеристики паромасляных бустерных насосов

Тип насоса	Быстрота действия в л/сек при давлении 10 ⁻¹ мм рт. ст.	Предельный вакуум, мм рт. ст.	Максимальное выпускное давление, мм рт. ст.	Мощность электронагревателя, квт	Вес, кг	Примечание
ODP-7	7	10 ⁻³	9	1,5	36	ФРГ
ODP-50	50	10 ⁻³	3	1—3	130	
ODP-300	300	10 ⁻³	3	9	350	
9B1	40	10 ⁻⁴	2—5	1,85	—	Англия
9B3	140	10 ⁻⁴	2—3	2,25	—	
18B3	800—900	10 ⁻⁴	2—3	6,4	—	

Б. Габариты и вес

Наименование	ДУ-86	ДУ-160	ДУ-260	ДУ-380	ДУ-500
1 Высота корпуса, мм	32	48	72	74	85
2 Высота общая, мм	240	320	810	810	810
3 Площадь в плане, мм	132×230	240×400	340×650	460×810	600×850
4 Вес, кг	2,1	4,5	9,2	15	24,1

В. Размеры присоединительных корпусов ловушек

Наименование	ДУ-86	ДУ-160	ДУ-260	ЗУ-380	ДУ-500
1 Внутренний диаметр мм	86	160	260	380	500
2 Диаметр центральной линии шпилек, мм	125	210	308	430	565
3 Количество шпилек, шт.	8	8	8	8	8
4 Диаметр шпилек	M6	M10	M12	M12	M16
5 Паз для уплотняющей прокладки, мм	102×92×2,5	190×180×4,8	290×280×4,8	410×400×4,8	538×522×6,4

Таблица 3

Технические характеристики масляных вращательных насосов, выпускаемых в ФРГ

Тип насоса	Быстрота действия насоса в л/сек при 760 мм рт. ст.	Пределный вакуум, мм рт. ст.		Мощность мотора, кВт	Вес с мотором, кг	Число ступеней
		без балластного газа	с балластным газом			
S2	0,5	2·10 ⁻³	1,0	0,22	30	1
D2	0,5	1·10 ⁻⁵	5·10 ⁻²	0,22	38	2
S5	1,4	2·10 ⁻³	1,0	0,33	40	1
D5	1,4	1·10 ⁻⁵	5·10 ⁻²	0,33	61	2
S10	2,8	2·10 ⁻³	1,0	0,5	68	1
D10	2,8	1·10 ⁻⁵	5·10 ⁻²	0,8	97	2
D25	7,0	1·10 ⁻⁴	5·10 ⁻²	2,2	144	2
S50	14,0	2·10 ⁻³	1,0	2,2	190	1
S150	42	2·10 ⁻³	1,0	5,5	666	1
S300	83	6·10 ⁻³	1,0	10	1 150	1
S600	165	6·10 ⁻³	1,0	16	2 390	1
S50—S2*	14,0	—	1·10 ⁻³	2,2+0,22	300	2
S150—S5*	42	—	1·10 ⁻³	5,5+0,33	250	2
S300—S10*	83	—	1·10 ⁻³	10+0,5	1 300	2
S600—S50*	165	—	1·10 ⁻³	16+2,2	2 700	2

* Последовательное соединение насосов S50, S150 и т. п. с насосами S2, S5 и т. п.

Таблица 4

Технические характеристики двухступенных масляных вращательных насосов, выпускаемых в ГДР

Тип насоса	Быстрота действия, л/сек		Пределный вакуум, мм рт. ст.		Мощность, мотора, кВт
	параллельное включение	последовательное включение	параллельное включение	последовательное включение	
43/42	19,5	12,5	5·10 ⁻²	3·10 ⁻³	2,5
45/43	35	22	5·10 ⁻²	3·10 ⁻³	4,5
46/45	56	36	4·10 ⁻²	2·10 ⁻³	5,5
47/46	89	56	4·10 ⁻²	2·10 ⁻³	7,5
48/47	139	83	3·10 ⁻²	10 ⁻³	11,0
49/48	195	111	3·10 ⁻²	10 ⁻³	15,0

Таблица 5

Технические характеристики паромасляных насосов, выпускаемых в ГДР

Тип насоса	Быстрота действия в л/сек при давлении; мм рт. ст.				Выпускное давление, мм рт. ст.	Мощность электронагревателя, кВт
	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹		
032/3T	195	180	153	5,6	4·10 ⁻¹	1,0
033/4T	550	417	280	14	6·10 ⁻¹	2,0
034/4T	830	723	500	22	6·10 ⁻¹	2,5
035/4T	1 400	1 250	800	45	6·10 ⁻¹	4,0
036/4T	2 800	2 500	1 660	83	6·10 ⁻¹	6,5
037/4T	5 800	5 000	3 300	195	6·10 ⁻¹	8,5

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. И. Королев, Основы вакуумной техники, Госэнергоиздат, 1953.
2. А. А. Иванов, Электровакуумная технология, Госэнергоиздат, 1944.
3. Р. Яккель, Получение и измерение вакуума, ИЛ, 1952.
4. Г. А. Тягунов, Основы расчета вакуумных систем, Госэнергоиздат, 1948.
5. С. Дэшман, Научные основы вакуумной техники, ИЛ, 1950.
6. А. Гутри и Р. Уокерлинг, Вакуумное оборудование и вакуумная техника, под редакцией М. И. Меньшикова, ИЛ, 1951.
7. В. А. Ланис и Л. Е. Левина, Практические основы вакуумных испытаний, Госэнергоиздат, 1955.
8. ГОСТ 5197-50, Вакуумная техника, Терминология.
9. Вакуумный насос ВН-1 (инструкция по уходу и эксплуатации). ЦБТИ Министерства электростанций и электропромышленности СССР, 1953.
10. Вакуумный насос ВН 2 (инструкция по уходу и эксплуатации), ЦБТИ Министерства электростанций и электропромышленности СССР, 1953.
11. Вакуумный насос типа ВН-6 (инструкция по уходу и эксплуатации), МЭИ СССР, 1954.
12. Вакуумный насос типа ВН-4 (инструкция по уходу и эксплуатации), МЭИ СССР, 1954.
13. Компрессоры воздушные и газовые. Каталог-справочник, Москва, 1954.
14. Описания и инструкции по вакуумным насосам и агрегатам НИИ МРТЦ, 1954.
15. К. А. Савинский, „Заводская лаборатория“, 1955, XXI, 9.
16. Металлические ртутные выпрямители, Технический справочник, Госэнергоиздат, 1951.
17. Кремниорганические соединения, Министерство химической промышленности, 1956.
18. Сборник по обмену передовым опытом, вып. 11 МРТЦ, 1955.
19. ГОСТ 7904-56, Масло для вакуумных парогруйных насосов (масло Д-1). Технические условия.
20. ГОСТ 7903-56. Масло для форвакуумных насосов. Технические условия.
21. Б. С. Данилин, Измерительная техника, 1957, № 1.
22. К. А. Савинский, „Заводская лаборатория“ 1957, XXIII, 1