

55.

E17

TK 39.911

1972
international book year



KFKI-72-4

М. Вертеш-Туняк

**НЕКОТОРЫЕ ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ВЫСОКОВАКУУМНЫХ ПАРОМАСЛЯННЫХ
НАСОСОВ**

**Венгерская Академия Наук
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ
ФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**



БУДАПЕШТ

2017

"НЕКОТОРЫЕ ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ВЫСОКОВАКУУМНЫХ ПАРОМАСЛЯННЫХ НАСОСОВ"

М. Вертеш-Туняк

Центральный институт физических исследований, Будапешт, Венгрия

Главный технический отдел

РЕЗЮМЕ

В публикуемой статье-обзоре, исходя из опыта известных мировых вакуумных фирм, рассматриваются возможные пути усовершенствования широко распространенного в вакуумной технике и почти универсального средства создания вакуума - высоковакуумного паромасляного насоса в направлении: увеличения скорости его действия; увеличения предельно достижимого вакуума; уменьшения его чувствительности к изменениям наибольшего выпускного давления; уменьшения обратного потока паров рабочей жидкости; подбора кипятильника оптимальной конструкции и других конструктивных усовершенствований.

KIVONAT

A publikált cikkben az ismert külföldi vákuumberendezéseket gyártó vállalatok tapasztalataiból kiindulva megvizsgáljuk az olajdiffúziós szivattyúk tökéletesítésének lehetséges utjait, és azok széles felhasználását univerzális eszközként a vákuumtechnikában:

szivósebesség növelése;
az elérhető végvákuum növelése;
a szivattyú érzékenységének csökkenése az elővákuum-nyomás függvényében;
az alkalmazott olaj gőzei visszaáramlásának csökkentése;
a forraló optimális konstrukciójának kiválasztása és a szivattyú más konstrukciós tökéletesítései.

SUMMARY

The experiences of foreign vacuum equipment manufacturers may be used as a starting point for surveys of possible ways of improving oil diffusion pumps and ensuring their wide application as a universal tool in vacuum technology:

increase of pumping speed;
increase of ultimate pressure;
reduction of pump sensitivity to critical backing pressure;
reduction of backstreaming of pump oil vapour;
selection of optimal construction for the boiler, and
other constructional refinements.

"НЕКОТОРЫЕ ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ВЫСОКОВАКУУМНЫХ ПАРОМАСЛЯНЫХ НАСОСОВ."

М. Вертеш-Туняк

Центральный институт физических исследований, Будапешт

Введение:

Вакуумные пароструйные насосы, описанные впервые Боровиковым в 1912 году и Геде в 1915 году, за шестидесятилетие своего существования нашли широкое применение в науке, технике и различных отраслях промышленности.

Этому, безусловно, способствовали их основные достоинства:

- 1/ простота и надежность конструкции;
- 2/ возможность обеспечения ими больших скоростей откачки (до 100.000 л/сек) при сравнительно скромных размерах и сравнительно небольших энергетических затратах;
- 3/ широкий диапазон рабочих давлений от 1 атм. до 10^{-12} тор;
- 4/ возможность откачки ими различных газов;
- 5/ надежность работы;
- 6/ простота эксплуатации.

В этой статье автор рассматривает некоторые пути усовершенствования высоковакуумных паромасляных насосов в направлении улучшения их основных характеристик, исходя из опыта ведущих мировых вакуумных фирм и останавливается на рассмотрении некоторых конструктивных особенностей производимых ими насосов.

Возможные пути усовершенствования основных характеристик паромасляных высоковакуумных насосов.

Принцип действия их общеизвестен. В качестве введения, рассмотрим из теории насосов некоторые факторы, влияющие на их характеристики. Как известно, к основным характеристикам вакуумных пароструйных насосов, к группе которых принадлежат паромасляные и парортутные насосы, относятся: скорость откачки (литературный термин "быстрота действия"); предельный вакуум, обеспечиваемый данным насосом; производительность его и наибольшее выпускное давление.

I. Быстрота действия насосов.

1. Некоторые общие положения из теории паромасляных насосов.

В зависимости от конструктивных особенностей насоса быстрота его действия остается постоянной в широком интервале давлений и не зависит от величины впускного давления. Спад ее при низких давлениях обуславливается:

- а) противодиффузией газа через паровую струю;
- б) газами, сжатыми паровой струей до повышенного давления на стенках насоса и вносимыми затем ею же в конденсат и выносимыми затем паровой струей из кипяtilьника в сопельную сборку;
- в) газоотделением стенок насоса.

Спад скорости откачки при больших значениях впускного давления происходит из-за возникновения скачка уплотнения в паровой струе, перемещения его в направлении к соплу и, наконец, из-за отрыва струи от стенок насоса, т.е. к нарушению нормального парового занавеса, ведущего к перетоку газа из флоробласти в область высокого вакуума [1].

Скорость откачки насоса зависит:

- а) от внутренней геометрии насоса, определяемой в основном площадью диффузионной диафрагмы;
- б) структуры паровой струи;
- в) величины впускного давления;
- г) от рода и температуры откачиваемого газа;
- д) рода рабочей жидкости.

Три признака а + в определяются в основном конструкцией насоса.

Зависимость скорости откачки от площади диффузионной диафрагмы (F) достаточно сложная. Для современных насосов с углом наклона паровой струи к стенке насоса $10^{\circ} \pm 20^{\circ}$ она зависит от ширины (δ) диффузионной диафрагмы, являющейся функцией оптимальной с точки зрения прямой и обратной диффузии длины паровой струи (l). Изменение же (δ) вызывает изменение $-s_H$ по кривой с $-max-$ (рис. I) [1]. Оптимальное увеличение площади "диффузионной диафрагмы" вместе с соответствующей конструкцией верхней ступени, создающей нужный режим проходящему пару, обеспечивают в насосе $-max-$ возможную $-s_H$ [2].

Скорость откачки зависит от структуры паровой струи, т.е. от характера распределения и величины ее плотности, скорости, давления и температуры в ней, и от расширения сопла. Структура же паровой струи за соплом определяется значением параметров пара перед соплом и за расширением сопла, а именно:

- а) от плотности струи, обеспечивающей необходимую диффузию газа в струю;

б) от скорости струи, обеспечивающей достаточный перенос ею газа.

Плотность парового потока и скорость его в струе пропорциональны мощности, подводимой к кипятильнику насоса и имеющей для данной конструкции насоса и для данной рабочей жидкости свое оптимальное значение. Поэтому и быстрота действия зависит от величины проводимой мощности (рис. 2). Характер зависимости скорости откачки от расширения сопла (А) представлен на рис. 3 [I].

Зависимость s_H от выпускного давления. До определенного предела s_H не зависит от выпускного давления. Скачок же уплотнения в паровой струе, возникающий с ростом выпускного давления, ведет к отрыву струи от стенки насоса и перетоку газа из фобласти в область высокого вакуума, что уменьшает быстроту действия и увеличивает выпускное давление (рис. 4) [I].

Зависимость быстроты действия высоковакуумного насоса от рода откачиваемого газа в идеальном случае обратно пропорциональна \sqrt{M} из молекулярного веса газа:

$$\frac{s_1}{s_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

и для случая оптимального режима откачки воздуха с переходом на H_2

$$\frac{s_{H_2}}{s_{\text{возд.}}}$$

должна равняться 3,8. При этом величина f должна по порядку быть соизмеримой с λ — молекул откачиваемого газа. Но это значение (3,8) практически не достижимо из-за обратной диффузии молекул газа из форлинии через струю в область высокого вакуума. Влияние обратной диффузии на скорость откачки учитывается коэффициентом β , вводимым в уравнение для выражения s_H — практической;

$$s_{\text{практическая}} = \frac{f \times \sqrt{\frac{8RT}{M}}}{4} \left(k \times \alpha \beta \times \frac{P_{\text{впуск.}}}{P_{\text{вып.}}} \right) \text{ л/сек,}$$

где f — площадь диффузионной диафрагмы;

k — доля молекул газа, уносимых струей, от общего количества молекул, подошедших к струе;

α — доля молекул газа, доходящих до паровой струи в результате акта столкновения с молекулами пара и отражения от них, учитывающая влияние константы диффузии D_0 — для каждого откачиваемого газа.

Для газов с малыми молекулярными весами влияние обратной диффузии сказывается больше, чем для тяжелых газов. Влияние коэффициента β может быть значительно уменьшено увеличением скорости и плотности струи, т.е. увеличением мощности подогрева. Поэтому необходим регулируемый подогрев насоса. При откачке легких газов для увеличения $-s_H$ необходимо увеличивать $N_{\text{подогрева}}$ до оптимального значения, величина которого определяется уменьшением обратной диффузии газа в струю из фобласти и уменьшением диффузии откачиваемого газа в струю из-за возрастания ее плотности. Получение наибольших значений $-s_H$ по различным газам возможно установлением оптимального режима подогрева насоса для каждого газа. Конструктивные особенности насоса определяют степень приближения оптимальных $-s_H$ различных газов к значению $\frac{M_2}{M_1}$. Причем для газов с M близким к $M_{\text{воз.}}$ или более тяжелых

$$\frac{s_{\text{оптим. газа}}}{s_{\text{оптим. воз.}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{воз.}}}{M_{\text{газа}}}}$$

для газов же легких (H_2 , He) оптимальные значения $-s_H$ в зависимости от конструкции насоса могут приближаться к значениям обратно пропорциональным \sqrt{M} , это приближение будет тем лучше, чем меньше перепад давлений газа над и под струей, что осуществляется в многоступенчатых насосах.

Выбор оптимальной мощности подогрева насоса $-N$ при откачке газов различного молекулярного веса может быть произведен по эмпирическому уравнению:

$$\frac{N_{\text{оптим. газа}}}{N_{\text{оптим. воздуха}}} = 0,78 + \frac{1,17}{\sqrt{M_{\text{газа}}}}$$

В своей книге А.Б. Цейтлин дает расчет $-s_H$, производительности насоса и выбора оптимальной мощности подогрева для столь часто встречаемых в практике эксперимента и производства различных газовых смесей [I].

Быстрота действия прямо пропорциональна квадратному корню из абсолютной температуры откачиваемого газа. Но в обычной практике имеющиеся изменения температуры практически не сказываются на величине $-s_H$.

Так увеличение $-s_H$ на 10% возможно в случае возрастания $-t$ с $20^\circ \rightarrow 80^\circ\text{C}$ (т.е. в 4 раза) [I].

Зависимость быстроты действия от используемой рабочей жидкости объясняется тем, что последние имеют различные термодинамические и физико-хими-

ческие характеристики, обуславливающие различные режимы кипятильника, различные режимы истечения пара из сопла и соответственно различные структуры струй, различные количественные соотношения при взаимодействии молекул газа с молекулами пара. Это большое количество различных факторов, обуславливающих влияние рабочей жидкости на работу насоса и неопределенность большинства из них, не позволяют выразить каким-либо простым соотношением характер изменения $-s_H-$ от рода рабочей жидкости.

Т.к. конструирование и отработку насоса ведут для вполне определенной рабочей жидкости с оптимальными характеристиками для нее, то при использовании другой рабочей жидкости необходимо:

- а) установить новую мощность подогрева, обеспечивающую оптимальный режим работы насоса;
- б) ввести некоторые изменения в конструкцию паропровода, гл. образом изменить размеры критических сечений сопел для получения наилучших характеристик [1].

2/ Некоторые конструктивные возможности увеличения $-s_H-$.

Из группы высоковакуумных паромасляных насосов наиболее интересным решением являются:

А) серия насосов - vns - фирмы n.r.c. (u.s.a.), имеющая уникальное конструктивное оформление - бочкообразную форму корпуса из нержавеющей стали (рис.5). Эти насосы по сравнению с насосами лучших конструкций с таким же диаметром впускного патрубка имеют:

- а) $-s_H-$ по крайней мере на 30% большую
- б) производительность \approx в 2 раза большую.

Значительное увеличение $-s_H-$ стало у них возможным за счет:

- 1/ увеличения в оптимальных пределах площади диффузионной диафрагмы;
- 2/ за счет особой конструкции сопельной сборки - точно нанесенных на паропроводе отверстий-сопел, которые вместе с соответствующей конструкцией верхней части обращенных зонтичных сопел, создают в каждой ступени паровой поток той скорости и плотности, которые обеспечивают нужную работу каждой ступени.

Рассмотрение значений скоростей откачки насосов этой серии вместе с определяющими их геометрическими размерами, приведенными в таблице I, в сравнении с близкими по значению геометрическими размерами насосов серии "Blueline" фирмы Bell & Howell (США), таблица 2, говорит об их значительном преимуществе (увеличение $-s_H-$ на 75%, 71% и прибл. 25%).

Кривые скоростей откачки в зависимости от входного давления быстро входят в оптимальный режим (при давлении 10^{-3} тор) и сохраняют его до значений предельного вакуума. (См. рис. 6,7,8).

Б) Существенное увеличение $-s_H-$ и эффективности насоса наблюдается у много-сопловой конструкции ступеней, в которой каждое сопло является соплом Лаваля, обеспечивающим в более жестких пределах оптимальные параметры парового потока и при тех же размерах, значительно большую поверхность паровой струи, т.е. возможность захватывать большое количество откачиваемого газа. Но насосы этого типа не нашли широкого распространения из-за большой сложности их изготовления (см. рис. 9) [1,5].

В) Большую скорость откачки $-s_H-$ ≈ 10.000 л/сек при $\varnothing_{\text{вход.}} = 550$ мм и $h = 687$ мм, т.е. сравнительно небольших размерах, обеспечивает интересная конструкция паромасляного насоса фирмы Бальцерс (рис. 10 -а, б-). Эта конструкция представляет собой насос в насосе: внутри - трехступенчатый паропровод, ограниченный конденсатором, охлаждаемым водой; вокруг него расположен второй трехступенчатый паропровод кольцевого сечения, окруженный также конденсатором [6, 1].

Г) Подбор соответствующей рабочей жидкости для каждого используемого насоса и строгий подбор оптимального режима подогрева для каждой используемой рабочей жидкости. Так опыт эксплуатации французского синхротрона "Сатурн" показывает, что замена ранее использовавшегося масла ДС-703 на масло ДС-704, увеличило $-s_H-$ в используемых ими паромасляных насосах с 500 л/сек до 700 л/сек [7].

В приводимых ниже таблицах I+7 даются значения $-s_H-$, определяющих её геометрических размеров и рабочие диапазоны давлений для выпускаемых в мире серии высоковакуумных паромасляных насосов.

II. Предельный вакуум паромасляных насосов

1. Некоторые общие положения.

Предельный вакуум - одна из самых важных и вместе с тем одна из самых неточных характеристик паромасляных насосов.

С одной стороны предельный вакуум насосов достаточно точно определяется:

- а) противодиффузией газов со стороны предварительного разряжения;
- б) выносом газов со струей пара из кипятильника;
- в) упругостью пара рабочей жидкости при $-t-$ - стенок насоса;
- г) газовой выделением стенок и других конструкционных материалов насоса [1].

Но с другой стороны многое зависит от техники снятия этого параметра для паспортных данных, так если измерение предельного вакуума производится с использованием резиновых уплотнений, являющихся как источником тех же газов, что стенки и конструктивные материалы насосов, так и источником углеродородов и составляющих воздуха, за счет их газопроницаемости, то данные по предельному вакууму будут завышенными, неточными и ничего не говорящими об истинных возможностях насоса [8].

Рассмотрим определяющие факторы:

а) Противодиффузия через струю, откачиваемого газа и продуктов крекинга, как уже говорилось ранее, зависит:

от величины перепада давления газа над и под струей;
скорости и плотности паровой струи;
молекулярного веса диффундирующего газа.

Противодиффузия тем меньше, чем больше мощность подогрева насоса, пропорциональная произведению скорости и плотности струи, и чем больше молекулярный вес откачиваемого газа и меньше его постоянная диффузия. Противодиффузию при откачке легких газов с целью получения лучшего предельного вакуума нужно уменьшать, увеличением $N_{\text{насоса}}^{\text{подогрева}}$ [I]. Но увеличение с этой целью $N_{\text{насоса}}^{\text{подогрева}}$ нужно производить в оптимальных пределах, чтобы не вызвать увеличение термического крекинга масла в кипятильнике и исключить проникновение продуктов крекинга его - H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , H_2O - обратно в реципиент, ведущее к значительному ухудшению предельного вакуума насоса.

Уменьшение перепада давления над и под струей, ведущее к уменьшению влияния противодиффузии, как уже говорилось ранее, достигается использованием многоступенчатых насосов с числом ступеней более 3-х.

В многоступенчатых (трех-, четырех и пятиступенчатых) насосах при откачке данного газа на оптимальной для него - $N_{\text{подогрева}}$ противодиффузия не является фактором, определяющим предельный вакуум [I].

б) Газы, выносимые струей из кипятильника, имеют 2 основных источника:

Первый - частичное растворение откачиваемого газа в конденсате при конденсации паровой струи на стенках насоса, попадание его в кипятильник и затем увлечение его с паром к соплу и выделение из струи в реципиент.

Второй -, как уже говорилось выше, образование в кипятильнике газообразных продуктов за счет термического крекинга рабочих жидкостей и вынесение их в реципиент струей пара.

Выделение газов, уносимых конденсатом в кипятильник, из струи, зависит:

- от растворимости газов в конденсате;
- от температуры конденсата;
- от давления, при котором происходит растворение газа в конденсате.

Растворимость газов в вакуумных маслах при низких давлениях изучена еще недостаточно. Очевидно, что чем ниже давление, при котором газ контактирует с конденсатом, и чем выше t - конденсата, тем меньше газ будет растворяться в конденсате, тем меньше будет эмиссия газов из струи и ниже предельный вакуум [1]. Для улучшения условий обезгаживания стекающего по охлаждаемым стенкам насоса конденсата еще в 1957 г. Bachler и Nöller [9] предложили введение обезгаживания конденсата, обеспечившего, по их данным улучшение предельного вакуума \sim в 200 раз. Конструктивно это решается так:

охлаждение корпуса насоса заканчивается на уровне нижнего сопла или чуть ниже нижнего сопла, в зависимости от конструкции насоса, тогда участок корпуса насоса от этой точки до точки соприкосновения с горячей поверхностью кипятильника нагревается до $t \approx 150^{\circ} + 180^{\circ}C$, и стекающий в виде тонкой пленки конденсат нагревается и обезгаживается, а выделяющиеся газы откачиваются насосом предварительного разряжения [1, 2].

Т.к. рабочие жидкости высоковакуумных паромасляных насосов, как известно, являются:

- 1/ либо смесями, состоящими из нескольких мономолекулярных составов с разной упругостью пара - это масла VM-1, VM-2, VM-5, VM-7, Апиэзоны - А, В, С, вв₇, силиконы - ВКЖА-94; П.Ф.М.С.-2 и ДС-702; ДС-703, смеси изомеров пентафенил эфира - Конвалекс-10; Santovac-5; жидкость 5Ф-4Э;
- 2/ либо однокомпонентными мономолекулярными составами - это силиконы ДС-704, ДС-705, ФМ-1, то в зависимости от своего состава, их чувствительности к подводимой к кипятильнику насоса мощности и наличию потенциальных катализаторов (конструктивных материалов насоса) все они подвергаются термическому крекингу, о чем уже говорилось ранее, с образованием легкоиспаряющихся фракций и перманентных газов, захватываемых паровым потоком и переносимых к верхнему высоковакуумному соплу [10].

Еще Хикмен указывал на то, что в области низких давлений их влияние проявляется значительно сильнее [2].

Все это привело к необходимости разработки систем фракционирования, из которых наиболее часто употребляемая представляет собой 2 кольцевые и одну круглую центральную части, создаваемые соответствующими прорезями в

днище кипятильника и концентрическими паропроводами (рис. II). Охлажденный конденсат по этому удлиненному пути попадает через отверстие -1- во внешнее кольцо, циркулирует до следующего отверстия -2- и далее попадает во внутрь через отверстие -3-. Наиболее летучие фракции конденсата с высокой упругостью пара, присутствовавшие в смеси или возникшие за счет термического крекинга, испаряются во внешнем паропроводе и питают нижнюю ступень насоса. Следующая ступень питается паром, обедненным летучими фракциями. Утяжеленное масло, содержащее фракции с низкой упругостью пара и обедненное растворенными газами, питает верхнюю высоковакуумную ступень [1, 2]. В большинстве конструкций современных вакуумных насосов используется боковая эжекторная ступень, работающая в сторону форвакуума, или форвакуумного конденсатора, если он предусмотрен конструкцией насоса, что способствует созданию более низкого давления в области под нижним кольцевым соплом и улучшает откачку летучих компонентов из стекающей по нагретой стенке насоса пленке конденсата. Внешняя область кипятильника снабжает паром эжекторную ступень, т.е. она питается относительно легкими фракциями и удаляет их из насоса, что способствует еще более лучшему фракционированию и обезгаживанию ("самоочистке" - термин Б.Д. Пауэра) рабочей жидкости [2]. Такая "жесткая" система фракционирования особенно необходима при использовании в высоковакуумных насосах многокомпонентных и нестойких рабочих жидкостей, легко крекингуемых в бойлере (углеводородных масел).

Использование в них силиконов ДС-705, ФМ-1, ДС-704 и рабочих жидкостей на полифениловом эфире (см. выше), обладающих повышенной термической стойкостью и подвергающихся лишь незначительному термическому крекингу в бойлере, для получения низкого предельного вакуума делает достаточной менее жесткую систему фракционирования без направляющих колец.

На рис. 12, 13 приводятся некоторые другие конструктивные решения систем "жесткого" фракционирования.

Улучшению предельного вакуума способствует и более высокая скорость истечения струи пара из высоковакуумного сопла, уменьшающая угол поворота потока вокруг края сопла и уменьшающая тем самым число линий тока, направленных в реципиент (см. рис. 30) [1].

в) Получению более низкого предельного вакуума способствует использование в паромасляных высоковакуумных насосах рабочих жидкостей, обладающих низкой упругостью пара, таких как силикон ДС-705 с $P_{\text{парц.}}^{20^{\circ}\text{C}} = 3 \times 10^{-10}$ и полифениловые масла с $P_{\text{парц.}}^{20^{\circ}\text{C}} \approx 1 \times 10^{-10} + 1 \times 10^{-9}$ тор, молекулы которых к тому же достаточно термически и радиационно устойчивы.

г) Существенное влияние на величину предельного вакуума оказывает газовыделение стенок насоса и арматуры. Этот тип газоотделения можно значительно уменьшить использованием малогазящих конструктивных материалов и обезгаживанием стенок прогревом. Прогрев стенок до температуры $100^{\circ} \pm 150^{\circ}$ позволяет снизить предельный вакуум на целый порядок [1, 8, 9]. Правда, изготовление прогреваемого диффузионного насоса технологически трудно осуществимо.

Предельный вакуум и его значения в конструкциях современных высоковакуумных паромасляных насосов.

Кратко рассмотрим технические параметры, связанные с предельным вакуумом паромасляных насосов, выпускаемых известными вакуумными фирмами.

Рассмотрение произведем в порядке уменьшающейся, с точки зрения предельного вакуума, их значительности.

Данные по значениям предельного вакуума в таблицах приведены без использования низкоохлаждаемых ловушек.

Американская фирма - NRC - выпускает 2 серии высоковакуумных паромасляных насосов: серию - vns-, о которой уже подробно говорилось в предыдущей главе, и серию - ns-. Интересующие нас в данный момент параметры, обеспечивающие достижение столь низкого предельного вакуума и широкой области постоянства рабочих давлений, представлены в таблице 8, а внешний вид насосов на рис. 14, 15, 16. На рис. 17 приведены кривые зависимости $-S_H-$ от впускного давления для 2-х типов насосов серии -ns - [12, 13].

Американская фирма bell & howell, c.v.c. выпускает серию насосов blue line, обеспечивающую на витоновых прокладках P_{min} , равное 10^{-9} тор, технические параметры этой серии с точки зрения предельно достижимого вакуума приведены на табл. 9, а на рис. 18(а,б) - типичные насосы этой серии. Кривая типичной зависимости $-S_H-$ от $P_{впускного}$ приведена на рис. 19 [17].

Западно-германская объединенная фирма Leybold-Heraeus выпускает 3 серии высоковакуумных диффузионных насосов, технические данные которых по отношению к предельному вакууму приведены на таблице 10 и принципиальные схемы насосов каждой серии представлены на рис. 20. Типичные кривые зависимости $-S_H-$ от впускного давления для каждой серии приведены на рис. 21, 22, 23 [14].

Разработанная и выпускаемая в СССР с середины 60-х годов серия высоковакуумных паромасляных насосов ("II-ая единая серия") обеспечивает с использованием наилучшей рабочей жидкости ВМ-5 (аналога \approx Апиэзона-С) и металлических уплотнений $P_{min} = 5 \times 10^{-8}$ тор. Их основные технические параметры, связанные с предельным вакуумом, приведены на таблице 11, на рис. 24 приве-

ден один из насосов этой серии и на рис. 25 кривые зависимости $-s_H-$ от впускного давления.

На таблице I2 приведены технические данные 2-х серий диффузионных насосов фирмы Balzars [I6] и на рис. 26 - внешний вид насосов. На рис. 27 - характерная зависимость $-s_H-$ от $P_{\text{впускного}}$.

Английская фирма Edwards High Vacuum [29] выпускает 2 серии высоковакуумных диффузионных насосов, данные которых относительно предельного вакуума приведены в таблицах I4 -а- и -б-, внешний вид насосов - на рис. 26 -а- и -б-, а характерная зависимость $-s_H-$ от $P_{\text{впуск.}}$ на рис. 27 -а- и -б-.

Интересна также и серия насосов французской фирмы Alcatel, технические данные которой в отношении к предельному вакууму приведены на таблице I3, внешний вид насосов этой серии на рис. 28, и кривые зависимости $-s_H-$ от $P_{\text{впускного}}$ - на рис. 29 [I8].

III. Наибольшее выпускное давление.

Величина наибольшего выпускного давления насоса определяется работой последней выходной ступени и зависит главным образом: от плотности струи, расхода пара через сопло и от конструкции ступени. Наибольшее давление высоковакуумного насоса зависит от величины впускного давления и эта зависимость определяется конструкцией выходной ступени [I].

Используемая в большинстве конструкций высоковакуумных современных насосов парожеторная выходная ступень (см. таблицы предыдущей главы) с конической сужающейся камерой смещения, о роли которой в лучшем обезгаживании конденсата от легколетучих фракций говорилось уже в предыдущей главе, вместе с увеличением до определенного оптимума мощности подогрева способствуют увеличению наибольшего выпускного давления при увеличении впускного давления и делают работу насоса мало чувствительной к изменениям в широком интервале, давлений в форлинии. Некоторые вариации конструктивного оформления жеторной ступени разными фирмами см. на рис. 5, I3, 24, 50. Данные по величинам наибольшего выпускного давления рассматриваемых серий насосов приведены в соответствующих столбцах таблиц 8 + I4.

IV. Обратный поток паров рабочей жидкости.

Для современных высоковакуумных паромасляных насосов одним из важнейших параметров считается и величина обратного потока паров рабочей жидкости (backstreaming), вносимая последнее время в таблицы их технических данных наряду со значениями $-s_H-$, P_{min} и др. Величина обратного потока паров вакуумных масел из насоса в реципиент зависит:

- 1/ от конструктивных особенностей сопельной сборки, обеспечивающих соответствующие параметры истекающего пара, особенно оптимально выбранной с этой точки зрения конструкции сопла, т.е. оптимального угла раствора сопла при неизменной площади критического сечения, и тщательности обработки их поверхностей [1, 12, 13, 14];
- 2/ оптимально подобранной мощности кипятильника;
- 3/ от рода применяемой рабочей жидкости;
- 4/ от наличия "механических уловителей" обратного потока:
 - а) наличия "осушающих" устройств в сопельной сборке
 - б) наличия защитных колпаков над верхним соплом насоса.

Остаточное давление паромасляного диффузионного насоса, работающего без применения охлаждаемых отражателей на входе в насос, не может быть ниже, чем эффективное значение упругости паров масла, соответствующее температуре холодных стенок насоса, но обычно оно превышает это значение, что объясняется существованием кроме пленки конденсата на холодных стенках других источников миграции паров рабочей жидкости из насоса в реципиент, их давления суммируются и значительно превышают значение упругости пара при температуре стенок насоса. Наличие в системе вымораживающих поверхностей вызывает непрерывную миграцию и конденсацию паров рабочей жидкости в ней, последнее хорошо предотвращается специальными ловушками [2]. Рассмотрим другие важные источники миграции рабочей жидкости кроме пленки конденсата на стенках насоса:

- 1./ Частичный унос пара из насоса паровыми струями, направленными в сторону реципиента и диффузия молекул масла из паровой опухи, возникающей из-за трения пограничного слоя пара о неподвижную стенку сопла и приводящей к изменению величины скорости и направления молекул масла (рис. 30) и к образованию облака хаотически движущихся паровых молекул [1, 2]. Это явление может быть уменьшено увеличением скорости истечения пара.
- 2./ Пленка конденсата рабочей жидкости (см. рис. 30), скапливающаяся вдоль стенок сопла и на выходе из него из-за постоянной конденсации легкоконденсируемых паров рабочей жидкости на внутренних стенках сопла. Температура сопла достаточно высока, т.к. его нагрев осуществляется самим истекающим паром, но одновременно оно охлаждается за счет теплоизлучения, т.е. его температура ниже t кипятильника и конденсация будет иметь место [2, 1]. Использование перегретого пара способствует повышению $-t-$ сопла.
- 3./ В некоторых конструкциях насосов в прошлом сопло крепилось с помощью шпильки, гайки и шайбы и неплотности в их креплении приводили к просачиванию рабочей жидкости, сконденсировавшейся на внутренних поверхностях сопла, на внешнюю его поверхность вдоль винтовой нарезки и из-под гайки, и к испарению ее оттуда (см. рис. 30). Это и являлось основным источником обратного потока.

Наилучшие способы борьбы с указанными источниками миграции паров рабочей жидкости:

- 1/ вторым - изготовление сопел из толстых материалов с высокой теплопроводностью и малой излучающей способностью с последующей тщательной полировкой поверхностей для большего снижения радиационных потерь;
- 2/ третьим - колпачки высоковакуумных сопел крепить герметично, исключив всякую возможность просачивания рабочей жидкости наружу;
- 3/ первым и всеми вместе - а) уменьшение плотностей линий тока пара, огибающих кромку сопла и увеличивающих обратный поток, за счет увеличения угла раствора сопла, ведущее к увеличению его расширения при неизменной площади критического сечения, и за счет использования перегретого пара. И как следствие - увеличение скорости и уменьшение плотности паровых струй в выходном сечении [1, 2]. б) использование специального защитного колпачка, полностью окружающего зонт сопла и уменьшающего, в зависимости от своей конструкции, величину обратного потока в $2 \div 100$ раз (рис. 31) [8].

Обычно величина обратного потока у правильно сконструированного диффузионного насоса (с отсутствием конденсации пара в сопле) не больше $0,01 \div 0,05$ мг/(мин \times см²) или $0,0002 \div 0,0009$ мг/(сек \times см²) [1, 2].

Величина обратного потока зависит от рода рабочей жидкости и по данным [19] существует значительная разница в её значениях обратного потока: так для масла ДС-705 обратный поток в 2,25 раза меньше, чем для масла ДС-704, а для масла Convalex-10 в 20 раз меньше, чем ДС-705. Относительно влияния на изменение величины обратного потока включения и выключения насоса существуют противоречивые мнения: Цейтлин и Пауэр [1, 2] подтверждают и объясняют это возрастание обратного потока, в то время, как авторы исследования [20], не заметили существенного влияния циклов включения-выключения на его величину.

Цейтлин рекомендует при пуске и остановке насоса отсоединять его вентилем от реципиента для уменьшения возможности загрязнения последнего.

Количество мигрирующей из насоса рабочей жидкости зависит и от состояния пара. Обычно пар, вытекающий из сопел, влажный и его увлажнение - следствие как эруптивного (взрывообразного) кипения рабочей жидкости, когда он уносит с собой капельки рабочей жидкости, так и возникающих скачков конденсации, следствий больших расширений, приводящих к значительному увлажнению пара. Еще в 1954 году Пауэр и Кроули показали, что установление в паропроводе специальных брызгоуловителей уменьшает величину обратного потока в 2,5 раза [2].

Так в серии насосов НРС-УНС - брызгоуловитель встроен в паропровод насоса (см. рис. 5) и вместе с колпачковым отражателем, охлаждаемым тепло-

проводностью и укрепленным на внутренней охлаждаемой стенке насоса, обеспечивает на масле ДС-705 очень низкий обратный поток рабочей жидкости от $0,0005 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ до $0,0007 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$, в зависимости от типа насоса. Эти приспособления улавливают до 98% от общей величины его.

Кроме паробразной составляющей обратного потока, рассмотренной выше, существует еще и жидкостная составляющая его, попадающая в реципиент миграцией по стенке насоса пленки конденсата. Скорость миграции зависит от температуры поверхности и стремится к 0 при $t = -196^\circ\text{C}$ []. Эту составляющую обратного потока можно полностью исключить введением в конструкции ловушек антимиграционного барьера, охлаждаемого жидким азотом (рис. 32 а, б) либо использованием специальных перегородок из плохо смачиваемых маслом материалов (тефлона, например) (рис. 32 -в- и 33).

Величины обратного потока и типы защитных колпачков в современных высоковакуумных насосах.

В советских насосах "2-ой единой серии" используется колпачковый отражатель, представляющий собой охлаждаемый водой медный или стальной колпачок, закрепляемый на отдельном фланце и размещаемый над верхним соплом насоса (см. рис. 34 -а-). Величина обратного потока за ним на маслах ВМ-1 или ВМ-5 равна $0,002 \div 0,0004 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ [1], а скорость откачки уменьшается на 25%.

Американская фирма N.R.C. в серии - ns- использует охлаждаемый водой защитный колпачок, являющийся патентом фирмы Edwards High Vacuum, улавливающий до 98-99% обратного потока и с использованием масла ДС-705, снижающим величину обратного потока до $0,0015 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ (см. рис. 15). В серии -vns- - защитный колпачок типа - cold cap -, крепимый к охлаждаемой стенке насоса, охлаждение которого осуществляется за счет теплопроводности и конвекции (см. рис. 5), а с 1971 года используют защитный колпачок "Mexican Hat" (рис. 5 -а-), снижающий величину обратного потока до $0,0003 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$, а скорость откачки - на 30% [30].

Западно-германская фирма Leybold-Heraeus в высоковакуумной серии насосов - Leybojet- использует систему защитных колпачков (см. рис. 20 -с-), из которых наружный (III-ий) самый глубокий охлаждается проточной водой. Величина обратного потока у насосов серий Leybojet с использованием масла ДС-705 - $1 \times 10^{-4} \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ [25]. Защитные колпачки, используемые в насосах серии - vi-, приведены на рис. 34 -в-.

Английская фирма Edwards High Vacuum в серии своих насосов использует защитный колпачок (см. рис. 50), крепимый к стенке специальными держателями и охлаждаемый за счет теплопроводности. Величина обратного потока при использовании масла ДС-705 равняется $5 \times 10^{-3} \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$.

В насосах фирмы Bell & Howell G.m.b.H., S.V.C. используется зачерненный для уменьшения теплоотдачи, глубоко погруженный защитный колпачок (рис. 35). Данные по величине обратного потока не приводятся.

v. Возможности уменьшения флюктуаций впускного давления и стабилизации режима кипения рабочей жидкости

Рабочая жидкость из кипятильника пароструйного насоса должна испаряться по возможности более равномерно, чтобы плотность потока пара и скорость выхода его из сопла оставались постоянными, что обеспечивает постоянные $-S_H-$, коэффициент обратной диффузии, газов через паровую струю и более стабильные значения предельного разряжения.

Но в диапазоне высокого и сверхвысокого вакуума в вакуумных системах, откачиваемых паромаслянными насосами, наблюдаются флюктуации давления, которые в отдельных спектрах давления проявляются в виде пиков заметной величины, следующих через определенные интервалы времени, в других - нерегулярно повторяющиеся пики, различные по высоте. $-max-$ наблюдаемые значения флюктуаций достигают иногда 10% среднего значения выпускаемого давления, а временные интервалы - менее 1 сек и более длительные [2, 21].

Исходя из экспериментальных данных, заключили, что существует 3 причины флюктуации давления:

- а) Шумы в измерительной аппаратуре (рис. 36), возникающие из-за резкого снижения ионного тока манометра при низких давлениях и возросшего наведенного тока в соединительном кабеле (для измерения $p < 10^{-9}$ тор рекомендуется применять специальный кабель.)
- б) флюктуации давления, вызванные газоотделением разборных уплотнений и материалов прокладок, также натеканием через них (рис. 37). Это явление наиболее ярко проявляется на уплотнениях, покрытых пленкой рабочей жидкости [2, 26]. Для резкого уменьшения его необходимо:
 - 1/ либо предотвратить путь рабочей жидкости к соединительным фланцам с прокладками; либо использовать специальную форму кольцеобразной канавки с массивным уплотнением, обеспечивающих в комплексе захват масляных пленок по [26].
 - 2/ использовать двойные кольцевые уплотнения, лучше из Витона-А, с промежуточной откачкой, исключающие возможность диффузии газов из атмосферы через прокладку с последующей десорбцией их из нее в реципиент.
- в) Самая значительная причина - это флюктуации давления, вызванные интенсивным неравномерным кипением рабочей жидкости с разбрызгиванием в кипятильнике паромасляного насоса (эруптивное взрывообразное кипение) (рис. 38).

Кипение рабочей жидкости в кипятильнике обычного насоса начинается интенсивным образованием паровых пузырьков на перегретых поверхностях кипятильника; перегретых участках самой рабочей жидкости, существующих из-за ее плохой теплопроводности; на частицах различных загрязнений в ней, с последующим подъемом их к поверхности при катастрофическом увеличении их объема из-за большой разницы давлений и взрывом их с разбрызгиванием небольших капелек.

Перед началом кипения испарение со спокойной поверхности жидкости очень мало, после возникновения интенсивного кипения, приводящего в нежелательному разбрызгиванию небольших капелек рабочей жидкости из кипятильника, испарение и соответственно плотность потока пара возрастают значительно [20].

Неоднократно предпринимались различные попытки исключить это крайне нежелательное явление. Так Vächler [21] в 1962 году предложил устройство для перемешивания рабочей жидкости в кипятильнике с целью исключения ее перегрева, приводившегося в движение потоком паров рабочей жидкости (рис. 39). Этот способ не оправдал себя и не нашел применения на практике.

Авторы работы [20] для исключения вышеуказанных причин эруптивного кипения в начале исследования вводили в рабочую жидкость металлические частицы.

Stevenson в [22] предложил так называемый быстродействующий кипятильник (см. рис. 40), используемый в насосах фирмы Bell & Howell, S.V.C. серии BlueLine. Его нагревательные элементы вставлены в трубки, высокоподнимающиеся над поверхностью рабочей жидкости, на которых с целью развития теплопередающей поверхности имеется 6 вертикальных ребер. Доступ рабочей жидкости во внутрь трубки ограничен цилиндром с отверстием. Капли рабочей жидкости, попадающие на верх нагретых поверхностей, переводятся в перегретый пар. Этот кипятильник обеспечивает интенсивное турбулентное перемешивание рабочей жидкости, позволяет почти в 2 раза увеличить мощность подогрева без появления интенсивного эруптивного кипения с разбрызгиванием.

В последние годы была разработана и применена в насосах новая конструктивная разновидность быстродействующего нагревателя, непосредственно помещаемого во внутрь насоса и представляющего собой группу вертикально расположенных пластин-ребер, закрепленных герметично на 2-х горизонтально расположенных цилиндрах, выводимых за пределы насоса (рис. 42). В последние вставляются цилиндрические легко заменяемые подогреватели. Основной нагреватель с основной массой ребер находится над уровнем масла и способствует интенсивному перемещению паров рабочей жидкости внутри паропровода. Множество капель рабочей жидкости, соударяясь с нагретыми металлическими поверхностями, превращаются в перегретый пар [15, 20].

Нижний нагреватель и нижняя часть пластин способствует равномерному нагреву рабочей жидкости без возникновения местных перегревов и равномерному испарению ее. А верхняя часть пластин-нагревателей переводит образующиеся масляные пары в состояние перегретости. Нагреватели этого типа применяют в серии современных насосов DJ-Leybold (фирма Leybold-Heraeus), и несколько видоизмененный тип его - в насосах серии -EP- фирмы Veeco Instrumentsinc, С.Ш.А. (рис. 41, 42, 43).

Описанные выше быстродействующие кипяtilьники (нагреватели) имеют следующие преимущества:

- 1/ обеспечение равномерности прогрева рабочей жидкости;
- 2/ создание перегретого пара, имеющего повышенное давление, (что способствует увеличению скорости паровой струи, т.е. увеличению эффективности откачки), и имеющего повышенную температуру, что уменьшает возможность конденсации его на выходе из сопел, т.е. уменьшает величину обратного потока;
- 3/ малая тепловая емкость системы подогрева, обеспечивающая ей малую инерционность по времени запуска и остановки насоса;
- 4/ уменьшение количества потребляемой электроэнергии, за счет небольших тепловых потерь системы подогрева;
- 5/ возможность использования под днищем насоса эффективной системы быстрого охлаждения его.

Основной недостаток нагревателей этого типа: наличие в пространстве насоса, в самой рабочей жидкости и в непосредственной близости от нее большой массы перегретых металлических поверхностей, значительно убыстряет термический крекинг рабочей жидкости в присутствии металлов-катализаторов, ведет к ее деградации и освобождению легколетучих продуктов крекинга - H_2 , H_2O , CO , CO_2 - и др. и выносу их со струей пара в реципиент.

Новый тип кипяtilьника - кипяtilьник типа - N -, предложенный и обследованный авторами [20], представляет собой цилиндр с внешним кольцевым нагревателем (рис. 44), расположенным несколько выше уровня рабочей жидкости, залитой в него. Рабочая жидкость значительно нагревается с краев, здесь и достигается более высокая скорость испарения, следовательно, в пространстве между стенками и центром кипяtilьника возникает разность давлений, что приводит к занижению уровня рабочей жидкости у стенок и вызывает вращение ее. Последнему способствует и небольшая асимметрия в распределении температур. Возникающий вращательный момент является основным фактором автоматического перемешивания рабочей жидкости, что значительно снижает вероятность перегрева ее и исключает возможность возникновения эруптивного кипения. Достаточно равномерное перемешивание рабочей жидкости обеспечивает и равномерное испарение ее, сохраняя постоянной скорость испарения, причем величина скорости испарения значительно превышает значение, характерное для кипяtilьников обычного типа при той же рабочей температуре.

Перемешивание рабочей жидкости начинается при температуре $\approx 170^{\circ}\text{C}$ и разность температур в ней не превышает $+5^{\circ}\text{C}$, а при достижении температуры $200^{\circ}\div 240^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow \Delta T = +2^{\circ}\text{C}$. Для кипяtilьника с плоским донным подогревателем $\Delta t \approx 20^{\circ}\div 30^{\circ}\text{C}$ при $t = 200^{\circ}\text{C}$ до возникновения эруптивного кипения, затем температура жидкости сразу падает на несколько градусов. (Данные приведены для масла ДС-705). Частота перемешивания рабочей жидкости сильно зависит от диаметра кипяtilьника и, меньше, от мощности подогревателя и количества рабочей жидкости. Вращение прекращается после прекращения подачи напряжения на подогреватель. На рис. 45 приведены сравнительные флюктуации давления с внешним и внутренним подогревателями в разных интервалах давления.

Исключение возникновения эруптивного кипения в кипяtilьнике "N-типа, вызывавшего изменение давления в высоко- и сверхвысоковакуумных системах, является одним из самых важных его достоинств. Кроме того, насосы с кипяtilьником этого типа имеют:

- а) большую скорость откачки
- б) более устойчивый и более глубокий предельный вакуум за счет исключения массы металлических нагретых поверхностей от непосредственного соприкосновения с рабочей жидкостью и уменьшения явления термического крекинга её.

VI. Некоторые конструктивные особенности высоковакуумных паромасляных насосов.

До настоящего времени разработано множество различных конструкций паромасляных насосов, наиболее значительные и интересные из них были рассмотрены выше.

Корпуса высоковакуумных паромасляных насосов, несмотря на то, что масла обеспечивают хорошую защиту от коррозии, предпочитают изготавливать из нержавеющей стали лучших марок, дающей -min - газоотделение (см. таблицы 8 \div 14) [1, 2, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Паропроводы и сопельные сборки, как уже говорилось выше, изготавливаются из материалов, обладающих высокой теплопроводностью, имеющих малую степень черноты, т.е. и малую излучательную способность и обеспечивающих интенсивную передачу тепла к ним от паров рабочей жидкости, что необходимо для поддержания паропровода достаточно горячим и для исключения возможности увлажнения и конденсации паров рабочей жидкости [1, 2, 26]. Это алюминий и его сплавы, никелированная медь, иногда, и менее желательно, тщательно отполированная нержавеющая или малоуглеродистая никелированная стали. Данные по использованию различных конструктивных материалов паропроводов и сопельных сборок в рассмотренных сериях насосов приводятся в таблицах 8 \div 14, а на рис. 5, 12, 13, 20, 24, 35, 40, 42, 43, 50 - конструктивное оформление сопельных сборок паромасляных насосов различных фирм.

К конструкции кипятильников и нагревателей высоковакуумных масляных пароструйных насосов, принимая во внимание особенности используемых в них рабочих жидкостей, предъявляются особые требования, часть которых уже была подробно рассмотрена с соответствующими конструктивными решениями в V-ой главе.

Необходимо: чтобы градиент температуры между теплопроводящей поверхностью и поверхностью испарения масла был бы по возможности меньшим; чтобы тепло подводилось равномерно к рабочей жидкости для исключения местного перегрева и возможности возникновения термического крекинга её.

При использовании внешнего плоского донного подогревателя это достигается расположением его непосредственно под корпусом насоса впритык к его днищу без воздушного зазора и увеличением поверхности соприкосновения нагреваемого участка кипятильника с рабочей жидкостью за счет вытачивания на ней пазов (см. рис. 5). Это решение позволяет значительно уменьшить инерционность подогрева, время же разогрева до рабочей температуры уменьшается до $\tau = 10$ мин. Правда, при использовании подогревателя этого типа разница температур между верхними и нижними слоями рабочей жидкости достигает $20 \div 30^\circ\text{C}$ [20]. Значительное улучшение условий теплопередачи наблюдается при использовании встроенных нагревателей, герметически соединенных с корпусом насоса и вводимых непосредственно в рабочую жидкость. Эти т.н. "быстродействующие" нагреватели были уже подробно рассмотрены в V главе. Они объединяют в себе попытку использовать преимущества: перегретого пара, внутреннего нагрева рабочей жидкости и развитой теплопередающей поверхности. Основной недостаток подогревателей этого типа: наличие в непосредственной близости от рабочей жидкости нагретых металлических поверхностей, убыстряющих ее термический крекинг, может ограничить их применение.

Этот недостаток значительно уменьшен у вводимого во внутрь рабочей жидкости и не выступающего из нее нагревателя, используемого в насосах типа Leybojet фирмы Leybold-Heraeus (рис. 46). Кипятильник типа -н-, как уже говорилось раньше, лишен этого и других существенных недостатков и является наиболее совершенным.

Системы охлаждения современных паромасляных насосов, как уже говорилось в главе II, при охлаждении корпусов насосов делаются укороченными приблизительно до уровня нижнего кольцевого сопла. Охлаждение производится: либо с помощью змеевика из меди круглого или прямоугольного сечения, как в насосах фирм:

Leybold-Heraeus - все 3 серии насосов кроме насосов из серии DJ с $-S_H-$ от 30.000÷50.000 л/сек;

N.R.C. - серии v.n.s. и n.s.;

Balzars - тип dif. 5000, изображенных на рис. 5, I2, I4, I5, I6, I8 -а-, -б-, 20, 26 -а-, -б-, 42, 49, 50;

либо с помощью водяной рубашки, оболочка которой из обычной или нержавеющей стали наваривается на корпус насоса:

это - советские насосы; насосы фирмы Balzers от dif. 60 + dif. I.900; насосы Leybold-Heraeus DJ - серии и Galileo - типа v3 (см. рис. I3, 24, 26, 28).

В некоторых конструкциях насосов умеренно охлаждают патрубок эжекторной ступени и форвакуумный конденсатор - в насосах II-ой и I-ой единой серии СССР; в насосах фирмы n.r.c. - v.n.si некоторых типов n.s ; насосах типа Leybojet и Blueline c.v.c.; в насосах фирмы Edwards High Vacuum (см. рисунки 5, I2, I4, I5, 24, 26, -а, б-).

Фирма Leybold-Heraeus разработала, запатентовала и применила в насосах серии Leybojet систему охлаждения, состоящую из 2-х циркуляционных кругов охлаждения: циркуляционный круг от верхнего сопла до уровня 4-ого (последнего) зонтичного сопла; нижний циркуляционный круг - от уровня последнего зонтичного сопла до дна насоса и на форвакуумный патрубок (рис. 47). I-ый круг охлаждения остается подключенным во всех рабочих режимах - высоковакуумном и средневакуумном. II-ой - подключается в области среднего вакуума для перекачки больших количеств газа.

Для быстрого охлаждения насосов фирма Bell & Howell c.v.c. на насосах серии "blueline" имеет специальный охлаждающий змеевик на бойлере (см. рис. I8 -а-).

Фирма Leybold-Heraeus в насосах серии - DJ - использует специальный охладитель, располагаемый подо дном кипятильника (рис. 48).

Устройства для контроля и удобств обслуживания

Для наблюдения за уровнем рабочей жидкости в насосах фирмы n.r.c., Leybold-Heraeus серий - dif - и -DJ - используется специальный измеритель уровня масла (рис. 49), а на насосах большой производительности для этой цели предусмотрено смотровое окно (см. рис. 47). Эти же насосы, насосы французской фирмы Alcatel и насосы фирмы Edwards High Vacuum снабжены патрубками впуска и выпуска масла, обеспечивающими его быструю смену (рис. I3, 20, 28, 47, 50).

Для удобства демонтажа у насосов серии Leybojet с большой -s_н- корпус сконструирован разъемным (см. рис. 20, 46). С целью предохранения насосов от перегрева используется фирмами nrc, Leybold-Heraeus, Balzers - термостат, вынесенный за пределы насоса и контролирующим заданный температурный режим между дном бойлера и последним витком охлаждающего патрубка. В

случаях:

а) отключение охлаждающей воды;

б) понижения уровня масла и перегрева этого участка -

- термостат отключает подогрев кипятильника. Смотри рисунки 5, 15, 20(в), 26.

Заклучение:

Из всего вышесказанного вырисовывается образ высоковакуумного паромасляного насоса со следующими особенностями:

- 1/ бочкообразная форма корпуса насоса в сочетании со специальной конструкцией сопельной сборки, обеспечивающие значительное увеличение (не менее чем на 30%) скорости откачки, за счет оптимального увеличения площади диффузионной диафрагмы и за счет оптимальной плотности, скорости и структуры, создаваемой паровой струи;
- 2/ Многоступенчатая (4-, 5-, 6-, ступеней, но не менее 3-х ступеней) система паропроводов, обеспечивающая меньший перепад давлений над и под паровой струей и тем самым уменьшающая обратную диффузию газов из форобласти в струю и через струю, что способствует уменьшению изменений $-s_H-$ в зависимости от рода откачиваемого газа и улучшению предельного вакуума за счет снижения противо диффузии;
- 3/ обезгаживание конденсата по пути к кипятильнику, способствующее улучшению предельного вакуума;
- 4/ использование рабочих жидкостей с низкой упругостью пара ($P_{\text{парц.}}^{20^{\circ}\text{C}} \leq 10^{-10} \text{ тор}$), обладающих также достаточной термической и радиационной устойчивостью, обеспечивающих низкий предельный вакуум, без применения "жесткой" фракционирования, и низкий обратный поток;
- 5/ введения парожетктерной выходной ступени, способствующей лучшему обезгаживанию конденсата, увеличению наибольшего выпускного давления, делающей работу насоса нечувствительной к изменениям давлений в форлинии;
- 6/ наличия в паропроводе специальных брызгоуловителей, осушающих пар и уменьшающих величину обратного потока;
введение защитных колпачков и антимиграционных барьеров с целью уменьшения величины обратного потока;
- 7/ использование кипятильника типа -Н- или быстродействующих внутренних нагревателей, обеспечивающих равномерное прогревание рабочей жидкости и исключение эруптивного кипения ее;
- 8/ использование в качестве конструктивных материалов:
для корпуса - нержавеющей стали,

для паропровода и сопельной сборки - алюминия и его сплавов из нержавеющей стали,

с соответствующей обработкой поверхностей;

9/ использование 2-х циркуляционных кругов охлаждения - верхнего и нижнего - для обеспечения оптимального режима работы насоса во всех режимах: высоко- и средневакуумном;

10/ снабжение насоса специальным измерителем уровня масла, патрубками впуска и выпуска масла и контрольным термостатом.

Литература:

- [1] Цейтлин А.Б. "Пароструйные вакуумные насосы", 1965, Из-во "Энергия", Москва-Ленинград.
- [2] Пауэр Б.Д. "Высоковакуумные откачные устройства", 1969, Из-во "Энергия", Москва.
- [3] "Very high speed diffusion pumps" , Проспект фирмы N.R.C. /Norton Company, U.S.A./, 1968.
- [4] Данилин Б.С. "Вакуумное нанесение тонких пленок", Из-во "Энергия", Москва, 1967 г.
- [5] Мёнх Г. "Техника высокого вакуума", 1965, Из-во "Энергия", Москва-Ленинград.
- [6] Power B.D. "High Vacuum Pumping Equipment". 1966, Chapman Hall.
- [7] Rommel G. "Quelques remarques sur l'exploitation du système de pompage de Saturne, "Le Vide", 1966, N 125, 369-374.
- [8] Э. Тренделенбург "Сверхвысокий вакуум", 1966, Из-во "Мир", Москва.
- [9] Bachler W., Nöller H.G. "Ztschr. f. angew. Phys.", Bd 9, n. 12, 612, 1957.
- [10] М. Вертеш-Туняк "Рабочие жидкости для пароструйных высоковакуумных насосов", Выпуск Центрального института физических исследований при Венгерской Академии наук, Будапешт, 1970 г.
- [11] М.М. Сорокин "Высоковакуумные паромасляные насосы с улучшенными характеристиками", П.Т.Э., №6, 1965, стр. 145÷149
- [12] "Fractionating diffusion pump" Проспекты фирмы NRC 1965÷1966 годы.
- [13] "high speed diffusion pump" Проспекты фирмы NRC 1966÷1967 годы.
- [14] "Vakuumkatalog HV-150", Leybold-Heraeus G.m.b.H. 1969.
- [15] "Hochvakuumkatalog", Heraeus G.m.b.H. 1966.
- [16] Каталоги фирмы Balzers, 1968÷1971 г.
- [17] Каталог Consolidated Vacuum Corporation, Bell & Howell G.m.b.H., U.S.A., 1967÷1969.
- [18] Каталог фирмы Alcatel "Techniques du Vide" Societe alasacienne de constructions atomiques de télécommunications et d'électronique, 1967.
- [19] W.M. Langdon, E.G. Fochtman "Backstreaming in baffled systems", Trans. 1963 Nat. Symp. Amer. Vac. Soc. p. 128÷133.
- [20] Okamoto H., Murakami Y. "A new type of dif. pump boiler for ultrahigh vacuum use", 1967, N 2, p. 79-85.

- [21] W. Bächer, "Trans. 9.A.V.S. Nat. Vac. Symposium, 1962, p.395.
- [22] D.L. Stevenson, Trans. 6. A.V.S. Nat. Vac. Symposium, 1959, 134.
- [23] Проспект фирмы "high vacuum Galileo", 1967.
- [24] Г.Л. Эшбах "Практические сведения по вакуумной технике", 1966, Из-во "Энергия".
- [25] "La plus grosse pompe á diffusion européenne" "Le Vide" , 1965 г, 20; № II9; 390.
- [26] U.R. Bance, E.H. Harden; "Pressuré fluctuations in systems evacuated by diffusion pumps" "Vacuum", 1965, N 9, 437÷441; Teil I.
- [27] U.R. Bance, E.H. Harden; "Pressure fluctuations in systems evacuated by diffusion pumps" "Vacuum", 1966, N11, p. 619÷621; Teil II.
- [28] "Vakuumkatalog HV-152", Leybold-Heraeus G.m.b.H. 1970.
- [29] Каталог фирмы Edwards High Vacuum Ltd, England 1965÷1968 годы.
- [30] Varian vacuum views XI. 1971 г.

ТАБЛИЦА-1

Фирма N.R.C. /USA/

Наименование серии и марка насоса	диаметр входного патрубка в-мм-	Средняя - s_H - в л/сек	Высота насоса в-мм-	диаметр выходного патрубка в-мм-	Рабочий диапазон давлений в торах	Источник
Серия - V.N.S. VNS-4	≈ 108	по воздуху 1.200 л/сек 1.500 л/сек по гелию	≈ 456	≈ 33	$2 \times 10^{-3} \div 1 \times 10^{-9}$	[3]
VNS-6	≈ 159	2.400 по воздуху 3.000 по гелию	≈ 533	≈ 42	$8 \times 10^{-4} \div 8 \times 10^{-10}$	"
VNS-10	≈ 303	5.300 по воздуху 7.020 по гелию	≈ 743	≈ 76	$6 \times 10^{-4} \div 8 \times 10^{-10}$	"
Серия - HS -						
HS-10	≈ 290	4.200 л/сек	≈ 685	≈ 61	$1 \times 10^{-3} \div 4 \times 10^{-8}$	[13]
HS-16	≈ 456	10.000	≈ 1.090	≈ 95	$1 \times 10^{-3} \div 2 \times 10^{-7}$	[12]
HS-20	≈ 540	17.500 по воздуху 21.000 по гелию	≈ 1.219	≈ 127	$4 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-8}$	"
HS-32	≈ 795	33.000	≈ 1.680	≈ 205	$4 \times 10^{-4} \div 4 \times 10^{-8}$	"
HS-35	≈ 880	52.000	≈ 2.130	≈ 205	$4 \times 10^{-4} \div 4 \times 10^{-9}$	"
HS-48	≈ 1.320	95.000 по воздуху 140.000 по гелию	≈ 2.670	≈ 254	$1 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-10}$	[13]

Замечание: Значения - s_H - даны с использованием колпачкового отражателя и масел DC-704, DC-705

ТАБЛИЦА-2

Фирма Bell & Howell, CVC /С.Ш.А./

Наименование серии и мар- ка насоса	диаметр входного патрубка в-мм-	Средняя s_n в л/сек.	Высота насоса в -мм-	диаметр выходного патрубка в -мм-	Рабочий диа- пазон давле- ний в торах	Источник
Серия <u>blue-line</u> PMC-4B PMCs-4B	$\approx 133,4$	690 по воз- духу 760 по водо- роду	≈ 422	≈ 40	$1 \times 10^{-9} \div 1 \times 10^{-3}$	[17]
PMC-6B PMCs-6B	$\approx 177,8$	1.400 по воз- духу 1.600 по водо- роду	≈ 521	≈ 72	$1 \times 10^{-9} \div 1 \times 10^{-3}$	- " -
PMC-10C PMCs-10C	≈ 305	4.300 по воз- духу 5.650 по водо- роду	$\approx 711,2$	≈ 72	$1 \times 10^{-9} \div 1 \times 10^{-3}$	- " -
PMC-20C	≈ 540	18.000 по воз- духу	≈ 1232	≈ 102	$1 \times 10^{-9} \div 7 \times 10^{-4}$	- " -
PMC-32C	≈ 889	52.000 по воз- духу 62.000 по водо- роду	≈ 1.842	≈ 151	$1 \times 10^{-9} \div 4 \times 10^{-4}$	- " -
PMC-48C	≈ 1321	95.000 по воз- духу 140.000 по водо- роду	≈ 2.683	$\approx 152,4$	$1 \times 10^{-9} \div 3 \times 10^{-4}$	- " -

Замечание: использовались масла DC-704 и DC-705.

ТАБЛИЦА-3

Фирма Leybold-Heraeus, Ф.Р.Г.

Наименование серии и марка насоса	диаметр входного патрубка в -мм-	Средняя s_H в л/сек по воз- духу	Высота насоса в -мм-	диаметр выходного патрубка в -мм-	Рабочий диапазон давлений в торах	Источник
Серия <u>Leybodiff.</u>						
" 400	100	400	300	20	$1 \times 10^{-7} \div 1 \times 10^{-3}$	[14]
" 1.000	150	1.000	380	32	" "	"
" 3.000	250	3.000	545	50	" "	"
" 6.000	350	6.000	685	65	" "	"
" 12.000	500	12.000	855	65	" "	"
" 30.000	800	30.000	1553	150	" "	"
Серия - <u>I</u>						
DI - 400	30	400	315	32	$1 \times 10^{-8} \div 4 \times 10^{-4}$	[15]
" 1.000	50	1.000	400	32	" "	"
" 3.000	50	3.000	560	50	" "	"
" 6.000	50	6.000	700	65	" "	"
" 12.000	500	12.000	1.000	100	" "	"
" 30.000	800	30.000	1.560	150	" "	"
" 50.000	1.000	50.000	2.000	150	" "	"
Серия <u>Leibojet</u>						
" 1.000	150	1.000	553	50	$2 \times 10^{-7} \div 1 \times 10^{-2}$	[14,28]
" 3.000	250	3.000	680	100	" "	"
" 6.000	350	6.000	920	100	" "	"
" 12.000	500	12.000	1.380	100	" "	"
" 30.000	800	30.000	1.535	150	" "	"
" 75.000	1250	75.000	2.400	250	" "	"

Замечания :1./ Значения скоростей откачки даны с использованием защитных колпачков.

2./ Использовались масла: Diffelen ultra (аналог Апиэзона-С), Siliconöl-SO-66 (аналог DC-704) и DC-705.

ТАБЛИЦА-4

НАСОСЫ СССР

Марка насосов	диаметр впускного патрубка в - мм -	Средняя $-S_H-$ в л/сек по воздуху	Высота насоса в - мм-	диаметр форвакуумного патрубка -мм-	Рабочий диапазон давлений в торах	Источник
<u>Вторая единая серия "</u>						
Н-1С-2	86	100	364	17	$6 \times 10^{-6} \div 1 \times 10^{-3}$	[I, II]
Н-5С-2	160	500	542	30	$5 \times 10^{-6} \div 1 \times 10^{-3}$	"
Н-2Т-3	260	1.500	615	50	$5 \times 10^{-6} \div 1 \times 10^{-3}$	"
Н-5Т-3	380	3.000	≈ 780	50	$5 \times 10^{-6} \div 2 \times 10^{-3}$	"
Н-8Т-2	500	6.000	≈ 1.020	80	$6 \times 10^{-6} \div 8 \times 10^{-4}$	"
Н-8Т-М	500	7.500	1.234	80	$5 \times 10^{-7} \div 2 \times 10^{-4}$	[I]

Замечания: 1./ Значения $-S_H-$ даны с колпачковым маслоотражателем.

2./ Использовавшаяся рабочая жидкость - углеводородное масло ВМ-5.

ТАБЛИЦА-5 Фирма Balzer /КНЯЖ. Lichtenstein/

Наименование серии и марка насоса	диаметр входного патрубка в-мм-	Средняя- s_H - в л/сек по воздуху	Высота насоса в -мм-	диаметр выходного патрубка в -мм-	Рабочий диапазон давлений в торах	Источник
Серия <u>Diff.</u>						
Diff-260	95	260	259	27	$4 \times 10^{-7} \div 4 \times 10^{-4}$ * $5 \times 10^{-8} \div 4 \times 10^{-4}$	[16]
Diff-900	138	950	356	36	" "	"
Diff-1900	205	1800	458	52	" "	"
Diff-5000	330	5000	580	76	" "	"
Diff-14000	690	13000	1100	138	" "	"
Серия <u>Dif</u>						
Dif-500	540	11500	824	107	* $1 \times 10^{-7} \div 4 \times 10^{-4}$	"
Dif-630	~720	20000	1106	114	" "	"

Замечание: Использовались рабочие жидкости: Balzers Oil - 7I (аналог Апиэзона - BW) и силикон DC-704, полученные на нём данные имеют обозначение *.

ТАБЛИЦА-6

Фирма Alcatel(Франция).

Наименование серии и марка насоса	диаметр входного патрубка в -мм-	Средняя $-S_H-$ в л/сек	Высота насоса в -мм-	диаметр выходного патрубка в -мм-	Рабочий диа- пазон давле- ний в торах	Источник
Серия "Saema"						
ТИП 6.080	80	150 ^л /сек	315	30	$1 \times 10^{-8} \div 1,5 \times 10^{-3}$	[18]
"- 6.150	150	600 ^л /сек	430	30	$1 \times 10^{-8} \div 1,2 \times 10^{-3}$	"
"- 6.210	210	1200 ^л /сек	570	50	$1 \times 10^{-8} \div 1 \times 10^{-3}$	"
"- 6.300	300	2500	700	50	$1 \times 10^{-8} \div 9 \times 10^{-4}$	"
"- 6.425	425	5500	1000	70	$1 \times 10^{-7} \div 7 \times 10^{-4}$	"
"- 6.600	600	11000	1350	100	$1 \times 10^{-7} \div 4,5 \times 10^{-4}$	"

Замечания: 1./ Значения скоростей откачки даны без использования защитного колпачка.

2./ Используемые рабочие жидкости- Апиэзон-С; Силиконы DC-704, DC-705.

Наименование серии и марка насоса	диаметр входного патрубка в-мм-	Средняя $-s_{H-}$ в л/сек	Высота насоса в -мм-	диаметр выходного патрубка в -мм-	Рабочий диапазон давлений в торах	Источник
Серия speedivac						
E-02 - тип	≈ 80мм	150 ^л /сек по воздуху 200 ^л /сек по водороду	279мм	≈ 25мм	$7 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-8}$	[29]
E-04 "	≈ 130мм	600 ^л /сек по воздуху 800 ^л /сек по водороду	370мм	25,4мм	$1 \times 10^{-3} + 4 \times 10^{-8}$	"
E-06 "	" 254мм	1.300 ^л /сек по воздуху 2.000 ^л /сек по воздуху	460мм	≈ 32мм	$1,5 \times 10^{-3} + 5 \times 10^{-8}$	"
F-603 "	" 254мм	650 ^л /сек по воздуху	553мм	25,4мм	$1 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-7}$	"
F-903 "	" 311 "	1.500 ^л /сек по воздуху	683мм	38 "	$5 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-7}$	"
F-1203 "	" 419 "	2.700 ^л /сек по воздуху	759мм	38 "	$3 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-7}$	"
F-1605 "	" 533 "	5.500 ^л /сек по воздуху	1146 "	51 "	$6 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-7}$	"
F-2404 "	" 737 "	12.000 ^л /сек по воздуху	1346 "	51 "	$1 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-7}$	"
F-3605 "	" 1143 "	45.000 ^л /сек по воздуху 65.000 ^л /сек по водороду	1.829 "	≈ 173 "	$1,2 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-8}$	"

Примечания: 1./ * - Размеры наружных диаметров соединительных фланцев;

2./ Используемые рабочие жидкости: Анизон-С, Силиконы- DC-704, DC-705;

ТАБЛИЦА-8 Фирма N.R.C.

Наименование серии и марка насоса	Пределный вакуум P_{min} в торах на масле DC-704	Пределный вакуум P_{min} в торах на масле DC-705	Число и характер ступеней	Диапазон рабочих давлений в торах	Наибольшее выпускное давление в торах	Источник
Серия -VHS- NRC VHS-4 ^R $S_H = 1200$ 1/sec	прокладки маталлические ? 2×10^{-8}	8×10^{-10}	4 зонтичных ступени + I эжектор	$2 \times 10^{-3} \div 1 \times 10^{-9}$	0,65	[3]
NRC VHS-6 ^R $S_H = 2400$ 1/sec	2×10^{-8}	5×10^{-10}	" "	$8 \times 10^{-4} \div 8 \times 10^{-10}$	"	"
NRC VHS-10 ^A $S_H = 5300$ 1/sec	2×10^{-8}	5×10^{-10}	" "	$6 \times 10^{-4} \div 8 \times 10^{-10}$	"	"

Серия - HS -

HS-10 ^N $S_H = 4200$ 1/sec	6×10^{-8}	-	3 зонтич. I эжектор. фракционация	$1 \times 10^{-3} \div 4 \times 10^{-8}$	до 0,75	[13]
HS-16 ^N $S_H = 10000$ 1/sec	1×10^{-7}	-	5 зонтичных, фракционация, I эжектор	$1 \times 10^{-3} \div 2 \times 10^{-7}$	0,65	[12]
HS-20 ^N $S_H = 17500$ 1/sec	4×10^{-8}	-	" "	$4 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-8}$	0,70	"
HS-32 ^N $S_H = 33000$ 1/sec	6×10^{-8}	-	" "	$4 \times 10^{-4} \div 4 \times 10^{-8}$	0,50	"
HS-35 ^N $S_H = 50000$ 1/sec	2×10^{-8}	-	6 зонтич.	$3 \times 10^{-4} \div 3 \times 10^{-8}$	0,35	"
HS-48 ^N $S_H = 95000$ 1/sec	4×10^{-8}	6×10^{-10}	5 зонтич.	$1 \times 10^{-4} \div 10^{-10}$	0,50	[13]

Замечания: 1./ Сопельные сборки изготовлены: а/ из нержавеющей стали - индекс -R
б/ алюминия-индекс -А; с/ никелированной малоуглеродистой стали - индекс -N.
2./ Насосы серии VHS и насос HS-10 серии HS- имеют корпуса из нержавеющей стали, остальные - из малоуглеродистой стали.

ТАБЛИЦА-9

Фирма Bell & Howell, SVC;

Марка насосов	Предельный вакуум - P_{min} - в торах прокладки: из viton-A	Тип используемой рабочей жидкости	Число и характер ступеней	Диапазон рабочих давлений в торах	Наибольшее выпускное давление в торах	Источник
Серия: Blueline [®] PMC-4B A PMCs-4B $S_H = 690$ 1/sec	10^{-9} тор	DC - 705 или Convalex-10	4-зонтичных I-эжектор?	$1 \times 10^{-3} \div 10^{-9}$	0,5	[17]
PMC-6B A PMCs-6B $S_H = 1400$ 1/sec	10^{-9}	"	" "	$1 \times 10^{-3} \div 10^{-9}$	0,54	"
PMC-10C A PMCs-10C $S_H = 4300$ 1/sec	"	"	" "	"	0,48	"
PMC-20C A,R $S_H = 18000$ 1/sec	"	Конвойл-20 (углеводородное масло) аналог Апиэ-зона-BW)	"	$7 \times 10^{-4} \div 10^{-9}$	0,31	"
PMC-32C A,R $S_H = 52000$ 1/sec	"	"	"	$4 \times 10^{-4} \div 10^{-9}$	0,2	"
PMC-48C A,R $S_H = 95000$ 1/sec	"	DC-705, Convalex-10	"	$3 \times 10^{-4} \div 10^{-9}$	0,2	"

Примечание: 1./ Индекс -s- в названии насоса указывает на то, что корпус последнего сделан из нержавеющей стали.

2./ Сопельная сборка-из алюминия-индекс А; А, R -индексы-из алюминия и нержавеющей стали.

ТАБЛИЦА - 10 Фирма Leybold-Heraeus

Марка насосов	Предельный вакуум P_{min} в торах Прокладки из -vitilan-	Тип используемой рабочей жидкости	Число и характер ступеней	Диапазон рабочих давлений в торах	Наибольшее выпускное давление в торах	Источник	
Серия Leybodiff							
" 400	2×10^{-8}	Diffelen ultra	Фракционирующие кольца, 3 зонтичных ступени, нет эжектора	$10^{-3} - 10^{-7}$	0,2	[14]	
" 1000	"	(аналог Апиэсона-С)		" "	" "	"	"
" 3000	"	или Siliconöl SO 66		" "	" "	"	"
" 6000	"	(≈ аналог DC-704)		" "	" "	"	"
" 12000	"			" "	" "	"	"
" 30000	"			" "	" "	"	"
Серия-DJ							
400	$< 1 \times 10^{-9}$	Heraeus-Ultravakuumöl	4 зонтичных ступени, без фракционирующих колец и эжектора	$4 \times 10^{-4} - 10^{-8}$	0,4	[15]	
" 1000	"	или DC-705		" "	" "	"	"
" 3000	"	(значения упругостей пара у них одинаковые)		" "	" "	"	"
" 6000	"			" "	" "	"	"
" 12000	"			" "	" "	"	"
" 30000	"			" "	" "	"	"
" 50000	"		" "	" "	"	"	
Серия Leybojet							
" 1000	2×10^{-8}	Diffelen ultra	4 зонтичных ступени и эжекторная без допл. фракционации	$2 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-2}$	0,6	[14]	
" 3000	"	или Siliconöl SO 66		" "	" "	"	"
" 6000	"			" "	" "	"	"
" 12000	"			" "	" "	"	"
" 30000	"			" "	" "	0,3	"
" 75000	"			" "	" "	"	"

З а м е ч а н и е: 1. Данные приведены с использованием защитного колпачка, охлаждаемого водой. Насосы прогреваемы до $t = 200^{\circ}\text{C}$.
 2. Системы сопельных сборок: в серии Leybodiff- из алюминия и никелированной меди;
 в серии -DI- из алюминия;
 в серии -Leybojet- из алюминия и никелированной меди.

Марка насосов	Предельный вакуум P_{\min} в торах прокладки из вакуумной резины	Предельный вакуум P_{\min} в торах металлических прокладок	Тип используемой рабочей жидкости	Число ступеней и их характер	Диапазон рабочих давлений в торах	Наибольшее выпускное давление в торах	Литературный источник
<u>"Вторая серия"</u>							
Н-1С-2 $S_H=100$ л/сек	5×10^{-7}	5×10^{-8}	ВМ-5	3 зонтичных ступени + двойной эжектор, фракционирующие кольца	$5 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-3}$	0,4	[II, I]
Н-5С-2 $S_H=500$ л/сек	5×10^{-7}	5×10^{-8}	ВМ-5	" "	$4 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-3}$	0,4	"
Н-2Т-3* $S_H=1500$ л/сек	5×10^{-7}	5×10^{-8}	ВМ-5	" "	$4 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-3}$	0,3	"
Н-5Т-3* $S_H=3000$ л/сек	5×10^{-7}	5×10^{-8}	ВМ-5	—	$3 \times 10^{-3} + 6 \times 10^{-6}$	0,3	"
Н-8Т-2 $S_H=6000$ л/сек	5×10^{-7}	5×10^{-8}	ВМ-5	—	$8 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-6}$	0,3	"

З а м е ч а н и е: I./ В качестве рабочей жидкости использовалось масло ВМ-5. Масло ВМ-5-углеводородное, продукт 2^х краткой перегонки медицинского вазелинового масла, содержит в основном тяжелые фракции с низкой упругостью пара.
 2./ Сопельная сборка выполнена из тщательно отполированного алюминия.
 3./ * - Корпуса этих насосов выполнены из нержавеющей стали.

ТАБЛИЦА- I2

Фирма Balzers

Марка насосов	Предельный вакуум P_{min} в торах. Материал прокладок - неопрен, Витон-А /для высшего вакуума/	Предельный вакуум P_{min} в торах на масле DC-704	Число и характер ступеней	Диапазон рабочих давлений в торах	Наибольшее выпускное давление в торах	Источник
<u>Серия "Diff"</u>						
	масло Balzers-Oil 171 (аналог Апиэ-зона-ВВ)					
Diff-260	1×10^{-7}	5×10^{-8}	3 зонтичных ступени без фракционирующих колец и эжектора	$4 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,4	[I6]
Diff-900	1×10^{-7}	5×10^{-8}		" "	0,45	"
Diff-1900	1×10^{-7}	5×10^{-8}		" "	0,45	"
Diff-5000	1×10^{-7}	5×10^{-8}		" "	0,45	"
Diff-14000	4×10^{-7}	8×10^{-8}		" "	0,14	"
<u>Серия "Dif"</u>						
Dif-500	2×10^{-7}	1×10^{-7}	3 зонтичных ступени без фракционирующих колец и эжектора	$6 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,5	"
Dif-630	4×10^{-7}	1×10^{-7}		$7 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,4	"

- Замечания: 1./ Насосы были предварительно прогреты до $t = 80^{\circ}\text{C}$;
 2./ Сопельная сборка - из алюминия с тщательно обработанной поверхностью;
 3./ Корпуса насосов серии -Diff- из нержавеющей стали; серии -Dif- из обычной стали.

Наименование серии и марка насосов	Предельный вакуум P_{\min} в торах прокладки из эластомера	Тип используемой рабочей жидкости	Число и характер ступеней	Диапазон рабочих давление в торах	Наибольшее выпус- ное дав- ление в торах	Источник
<u>Серия "Saema"</u>						
ТИП 6.080	$<5 \times 10^{-7}$	Апиезон-С (возможно использование силиконов	3-зонтичных и I видоизменен- ных эжектор, фракционация.	$1 \times 10^{-8} \div 1,5 \times 10^{-3}$	0,5	[18]
ТИП 6.150	$<5 \times 10^{-7}$	" DC-704 " DC-705)	" "	$1 \times 10^{-8} \div 1,2 \times 10^{-3}$	>0,5	"
ТИП 6.210	$<5 \times 10^{-7}$	" "	" "	$1 \times 10^{-8} \div 1 \times 10^{-3}$	0,5	"
ТИП 6.300	$<5 \times 10^{-7}$	" "	" "	$1 \times 10^{-8} \div 9 \times 10^{-4}$	>0,5	"
ТИП 6.425	$<1 \times 10^{-6}$	" "	" "	$1 \times 10^{-7} \div 7 \times 10^{-4}$	>0,45	"
ТИП 6.600	$<1 \times 10^{-6}$	" "	" "	$1 \times 10^{-7} \div 4,5 \times 10^{-4}$	>0,4	"

З а м е ч а н и я: 1./ Корпуса насосов изготовлены из нержавеющей стали;

2./ Сопельная сборка - из сплава алюминия;

3./ Все внутренние поверхности тщательно отполированы электролитическим полированием.

ТАБЛИЦА- I4-a

Фирма Edwards High Vacuum Ltd.

Название серии и марка насосов	Предельный вакуум - P_{\min} - и значение величины обратного потока - γ -						Число ступеней и их характер	Диапазон рабочих давлений в торах	Наибольшее выпускное давление в торах	Источник
	масло DC-705		масло DC-704		масло Апиэзон - С					
	В торах P_{\min}	γ $\frac{M^2}{\text{МНН} \times \text{СМ}^2}$	В торах P_{\min}	γ $\frac{M^2}{\text{МНН} \times \text{СМ}^2}$	В торах P_{\min}	γ $\frac{M^2}{\text{МНН} \times \text{СМ}^2}$				
Серия: <u>Speedivac</u> E - 02 -тип	3×10^{-8}	0,002	5×10^{-8}	0,004	5×10^{-8}	0,002	4-зонтичных + I эжектор, фракционация	$7 \times 10^{-4} \div 5 \times 10^{-8}$	0,4	[29]
E - 04 "	3×10^{-8}	0,005	5×10^{-8}	0,010	5×10^{-8}	0,005	" "	$1 \times 10^{-3} \div 4 \times 10^{-8}$	0,65	"
E - 06 "	5×10^{-8}	0,005	5×10^{-8}	0,010	5×10^{-8}	0,005	" "	$1,5 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-8}$	0,6	"
F - 3605 "	3×10^{-8}	0,005	5×10^{-8}	0,010	5×10^{-8}	0,005	5-зонтичных, I эжектор, фракционация	$1,2 \times 10^{-4} \div 4 \times 10^{-8}$	0,4	"

З а м е ч а н и я: а/ Корпуса насосов изготовлены из нержавеющей стали; б/ Сопельная сборка - из сплава алюминия.

Название серии и марка насосов	Значения предельного вакуума P_{\min} и ве- личин обратного по- тока на масле Апиэзон-С		Число ступеней и их характер	Диапазон рабочих давлений в торах	Наибольшее выпускное давление в торах	Источник
	P_{\min} в торах	γ в $\frac{\text{МГ}}{\text{МИН} \times \text{СМ}^2}$				
Серия <u>Speedivac</u>	прокладки-металлические					
<u>Е</u> - ТИП - - - - F - 603	5×10^{-7}	0,002	4-зонтичных, + эжектор, фракционация	$1 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,35	[29]
F - 903	5×10^{-7}	0,005	" "	$5 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,35	"
F - 1203	5×10^{-7}	0,005	" "	$3 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,35	"
F - 1605	5×10^{-7}	0,005	" "	$6 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,35	"
F - 2404	5×10^{-7}	0,005	" "	$1 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-7}$	0,35	"

З а м е ч а н и е: Все вышеуказанные насосы могут работать и на ртути с использованием специальной сопельной сборки.

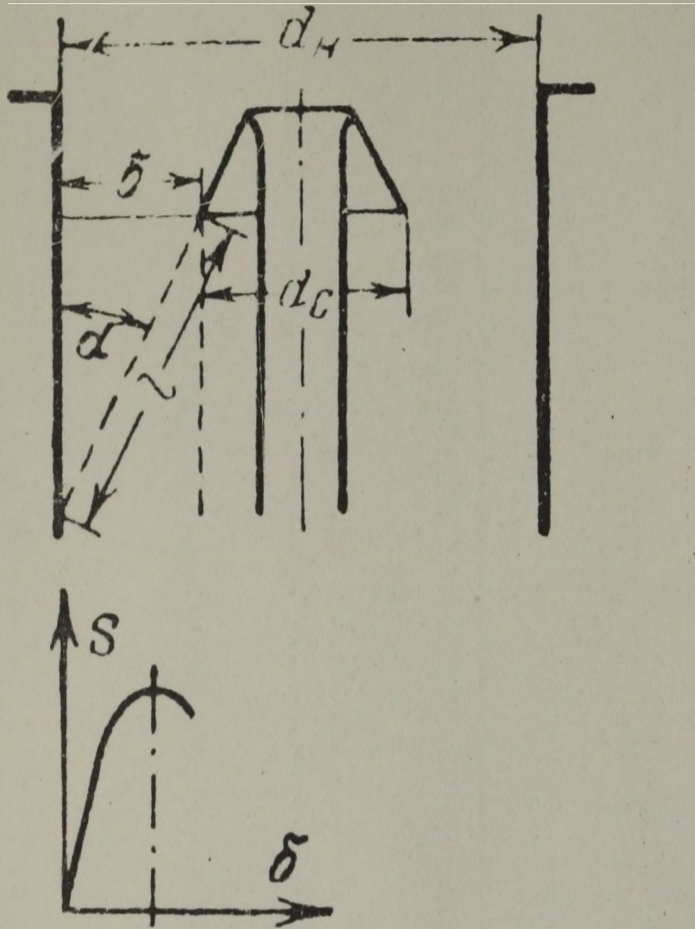


Рис. 1. Зависимость S_H - высоковакуумного насоса, от ширины диффузионной диафрагмы / δ / .

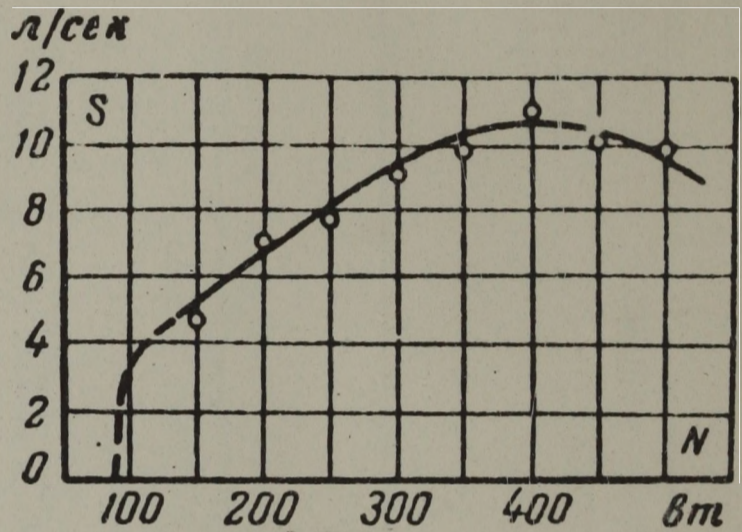


Рис. 2. Зависимость S_H - высоковакуумного насоса от N - подогрева.

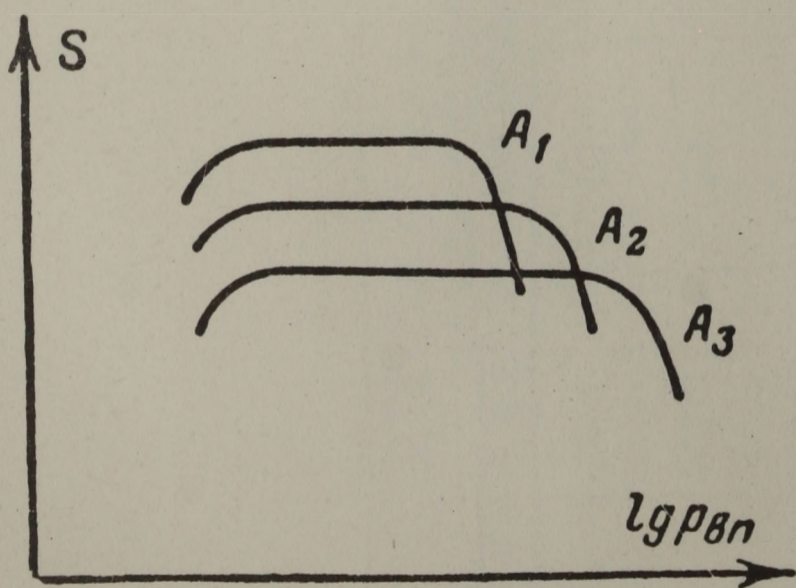


Рис. 3. Зависимость S_H - от $P_{впуск}$ при разных расширениях сопла ($A_1 > A_2 > A_3$).

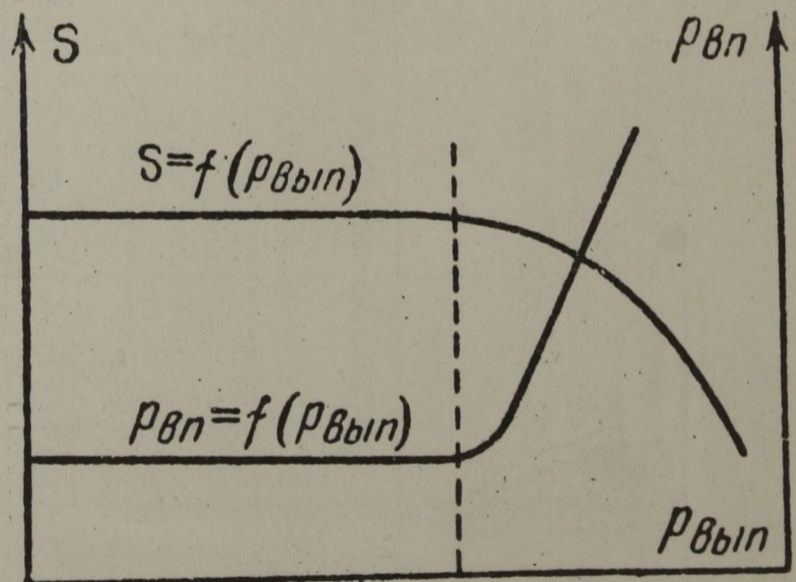


Рис. 4. Зависимость S_H - и $P_{впуск}$ от $P_{выпуск}$.

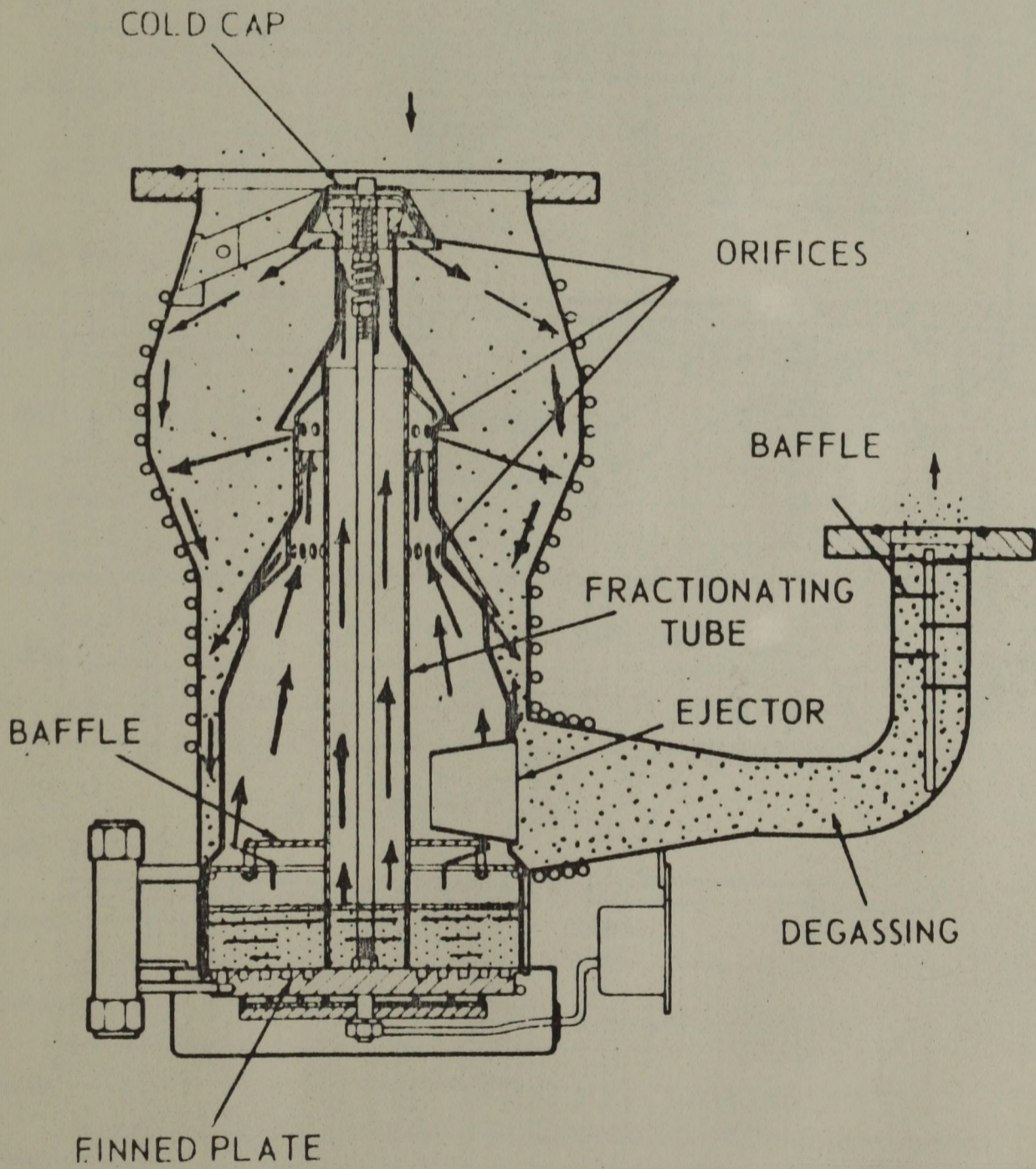
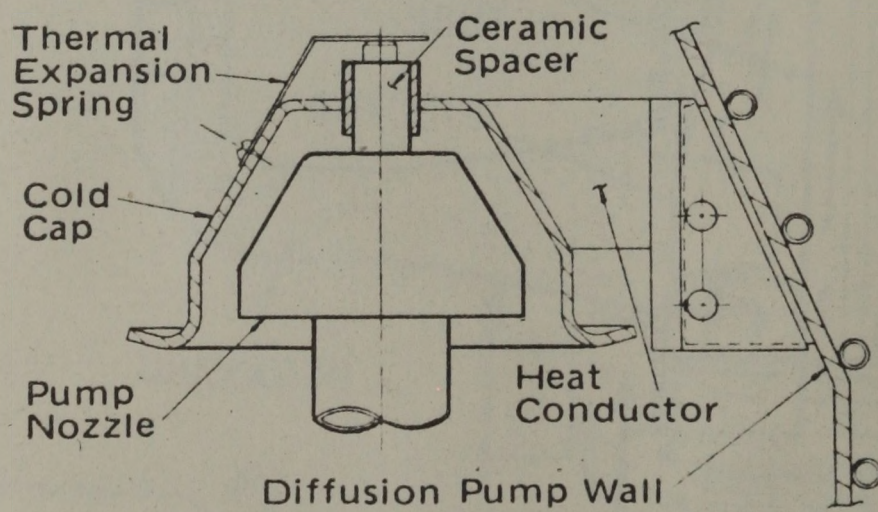
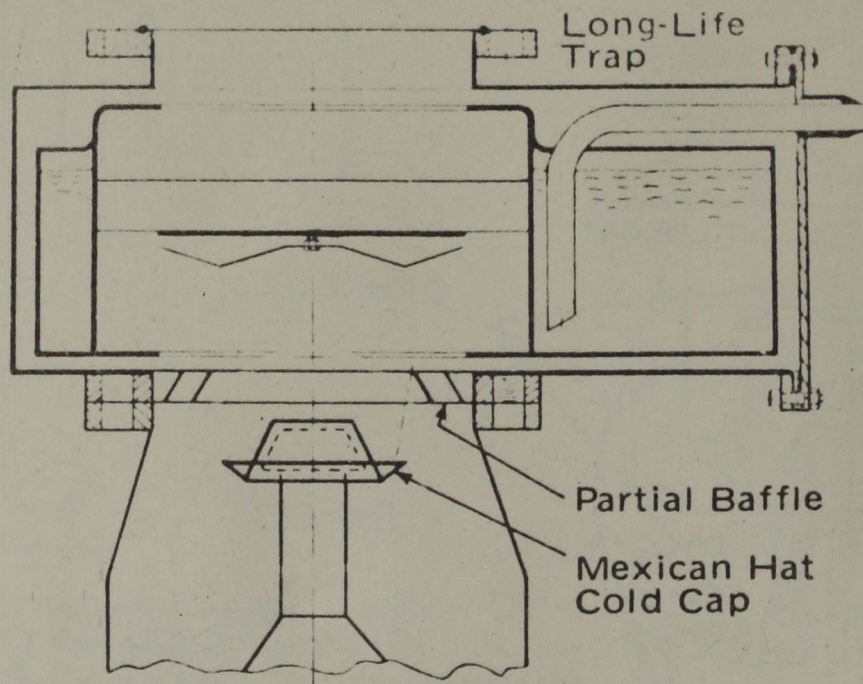


Рис. 5. Конструкция сверхвысоковакуумного паромасляного насоса фирмы N.R.C. /U.S.A./, серия- V.H.S.



'MEXICAN HAT' COLD CAP
(used in place of Standard Cold Cap)

Рис. 5-а-. Защитный колпачок типа " Mexican Hat " фирмы N.R.C. серии - VHS-.

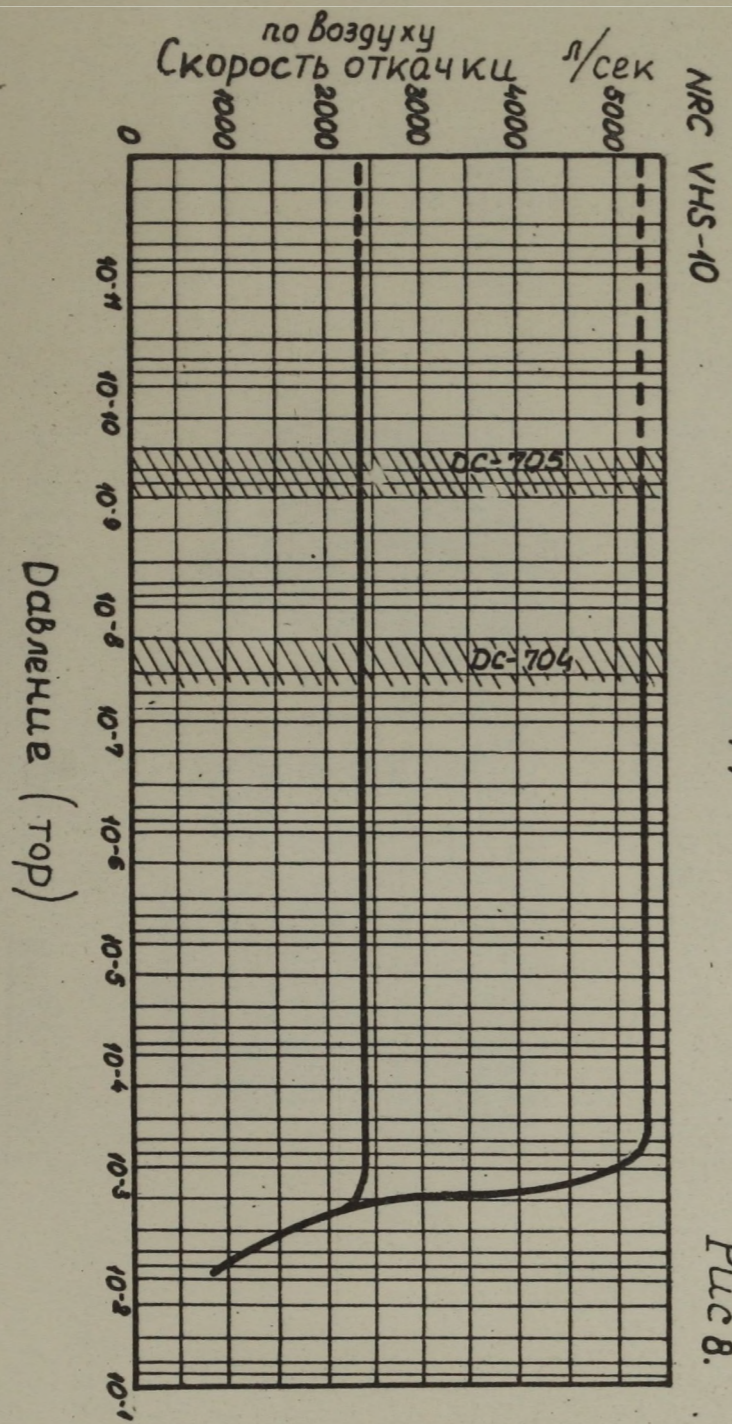
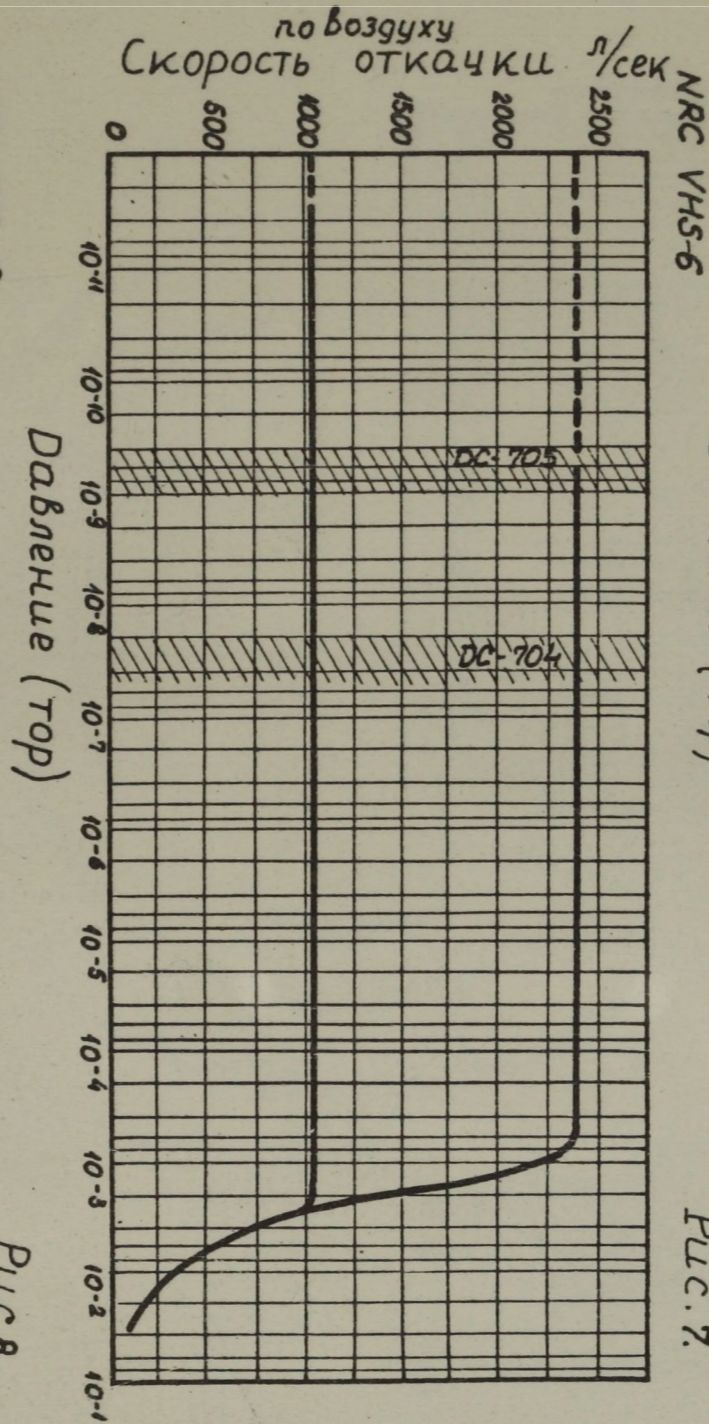
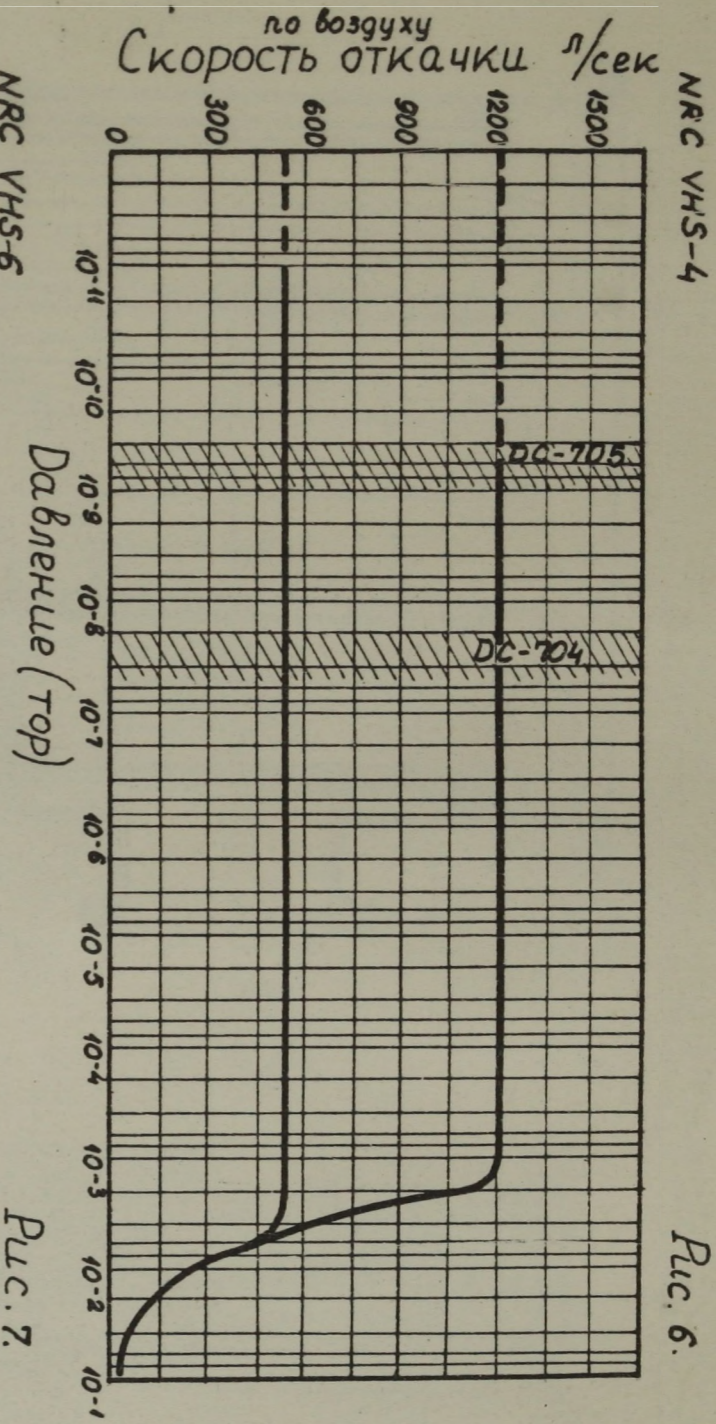


Рис. 6, 7, 8.

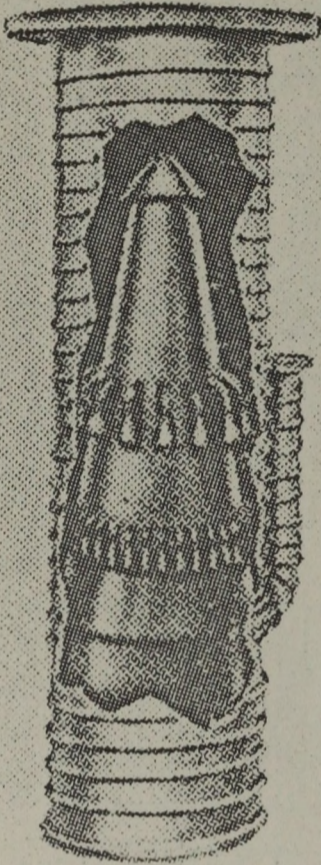


Рис. 9 Многосопловой паромасляный насос фирмы Стокс.

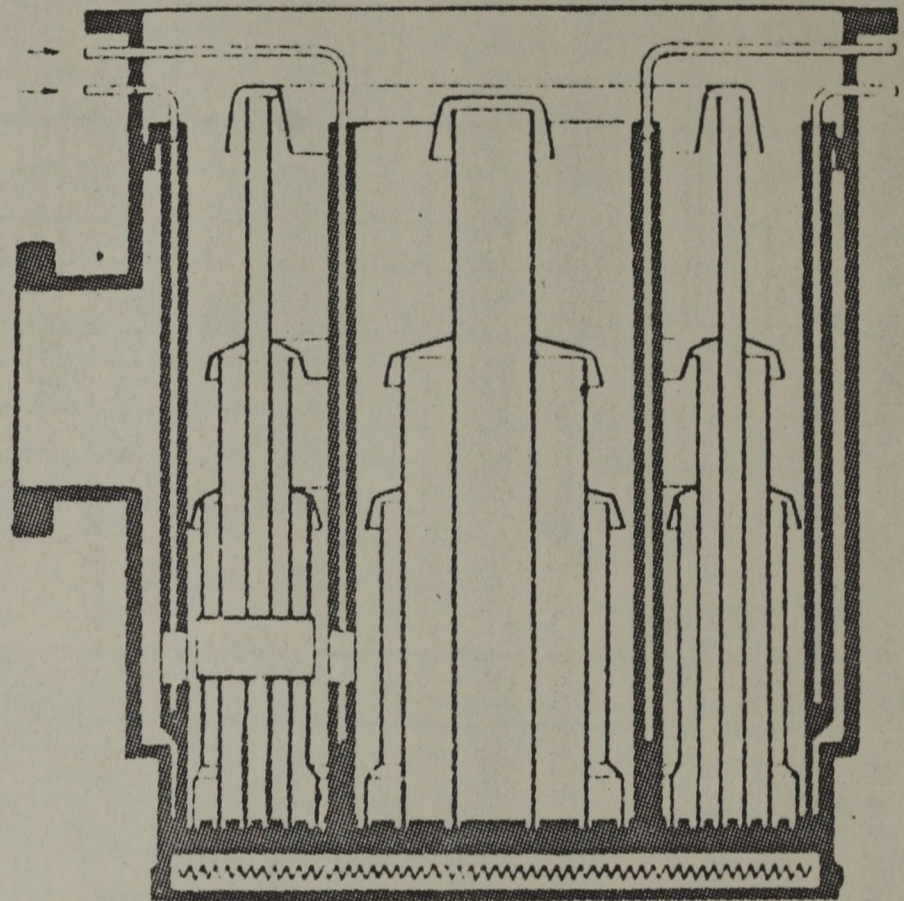


Рис. 10-а Насос фирмы Balzers.

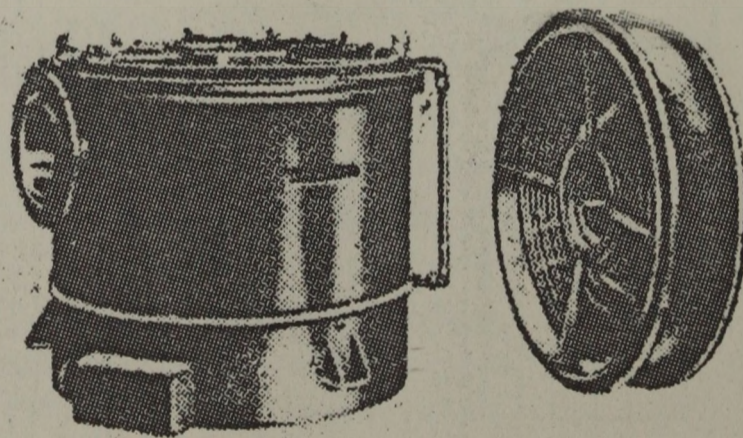


Рис. 10-в Общий вид насоса и маслоотражателя.

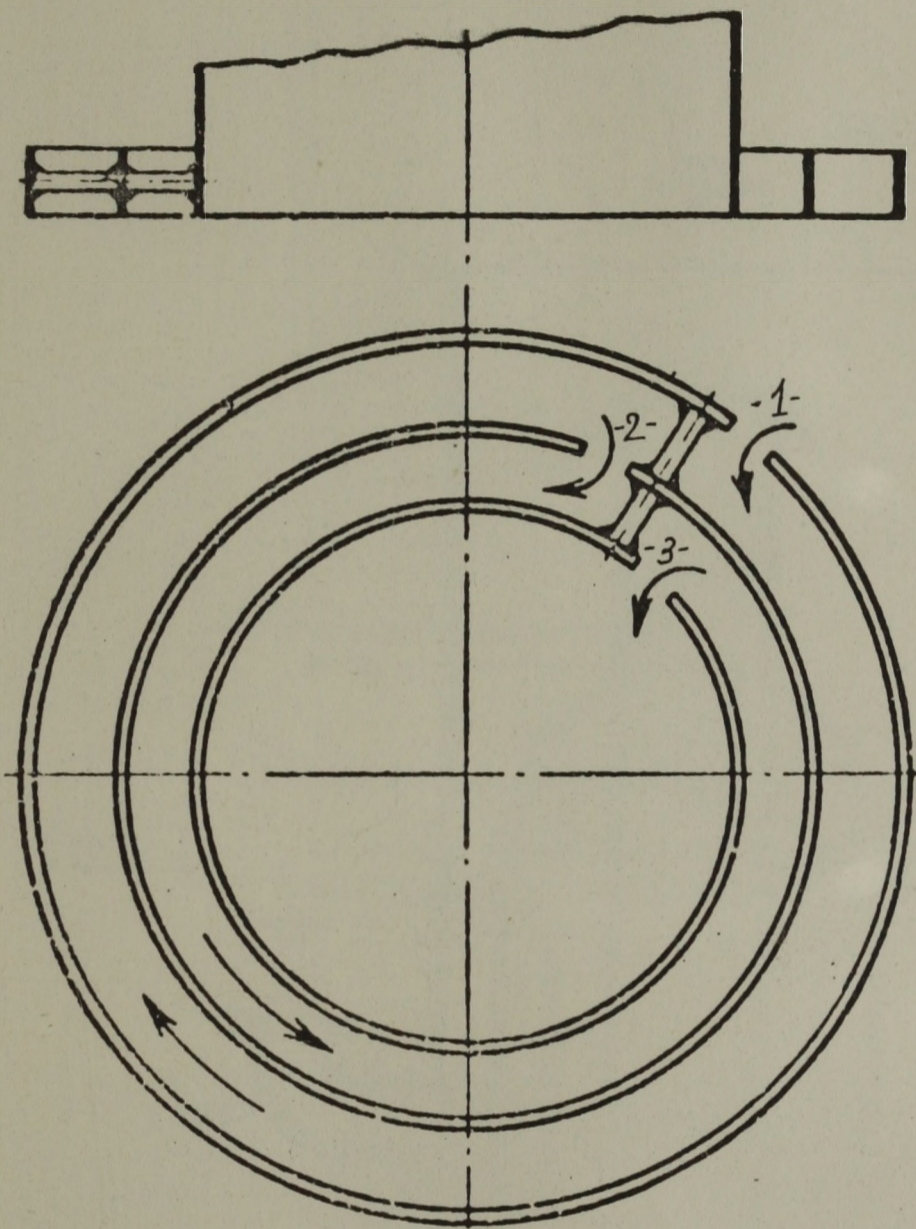


Рис. II Кольцевой лабиринт в кипятильнике
системы "жесткого" фракционирования

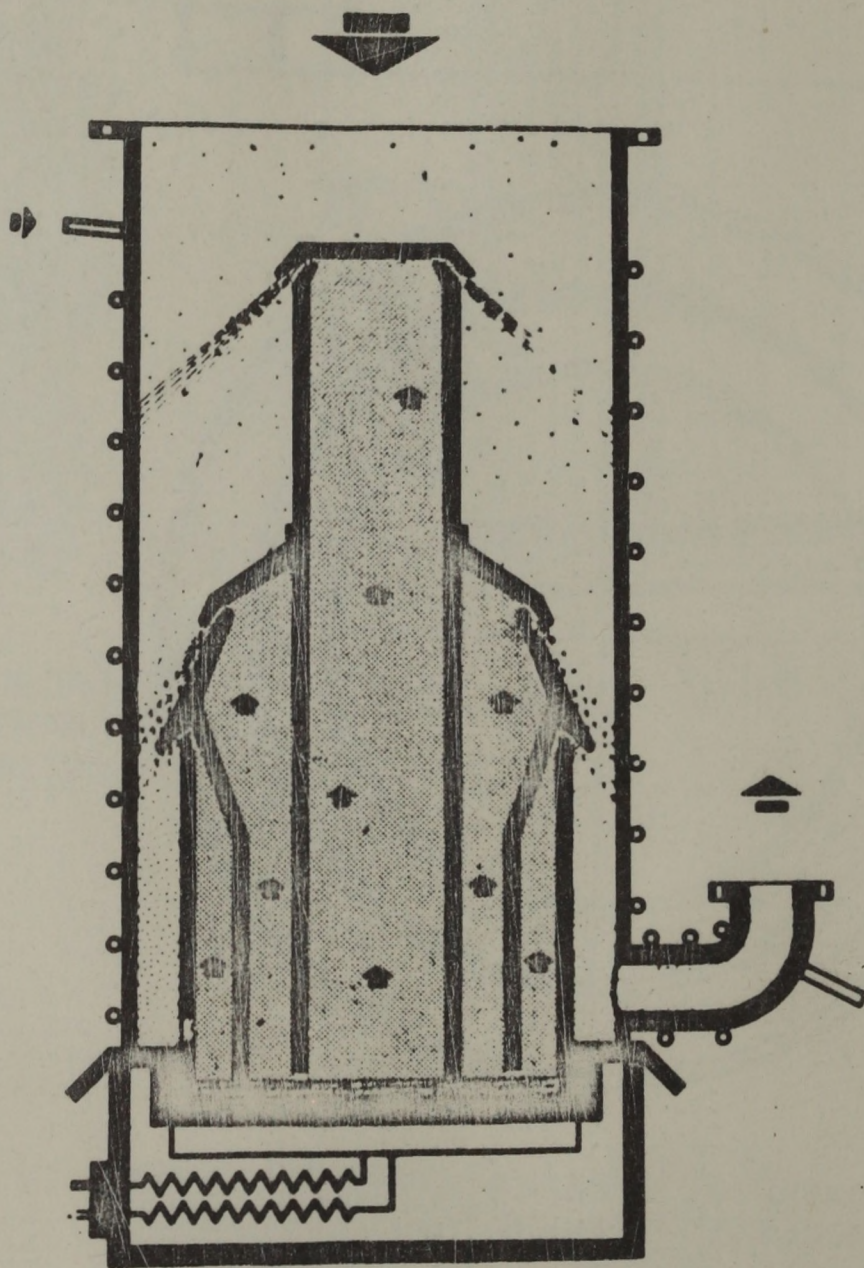


Рис. 12 Система "жесткого" фракционирования фирмы Galileo (Италия).

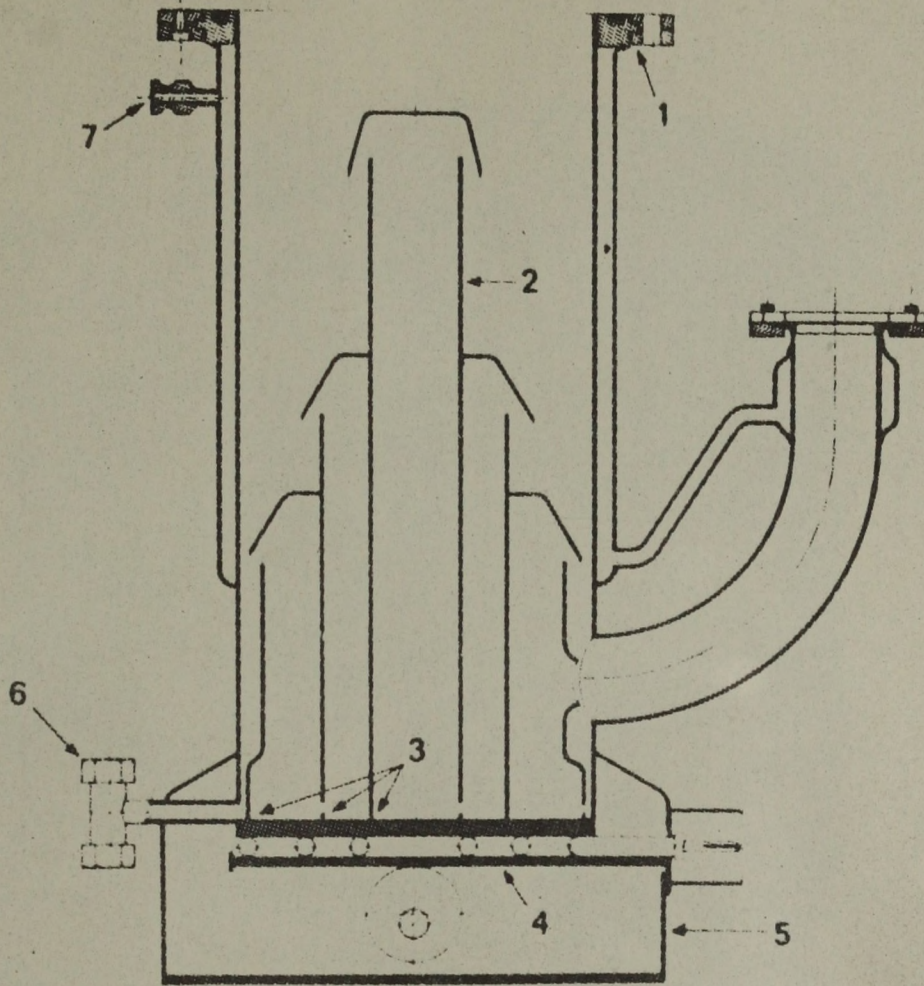


Рис. 13 Система "жёсткого" фракционирования
фирмы Alcatel (Франция)

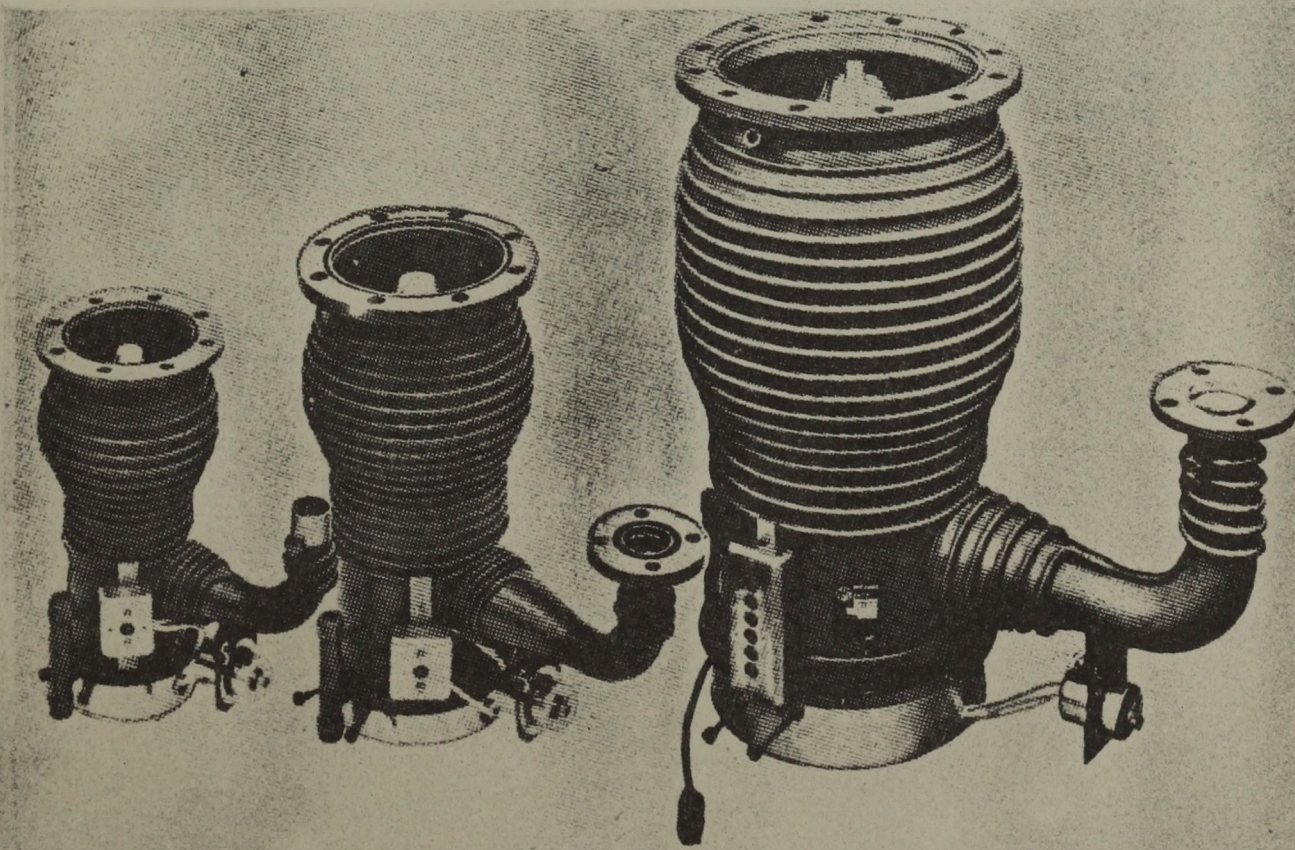


Рис. 14 Серия насосов - V.H.S. - фирмы N.R.C.

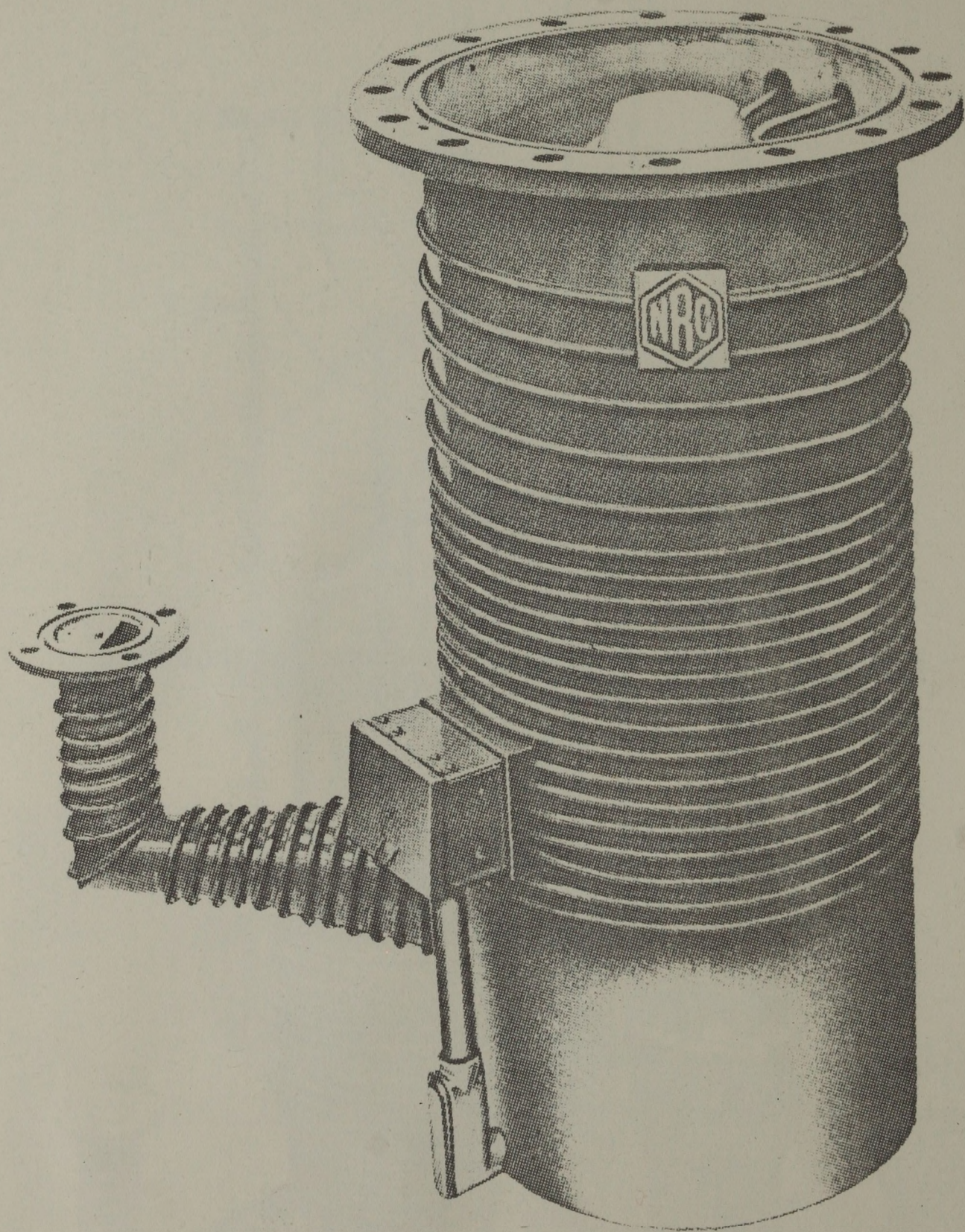


Рис. 15 Серия насосов - НС - Фирмы NRC типы НС-16, НС-20.

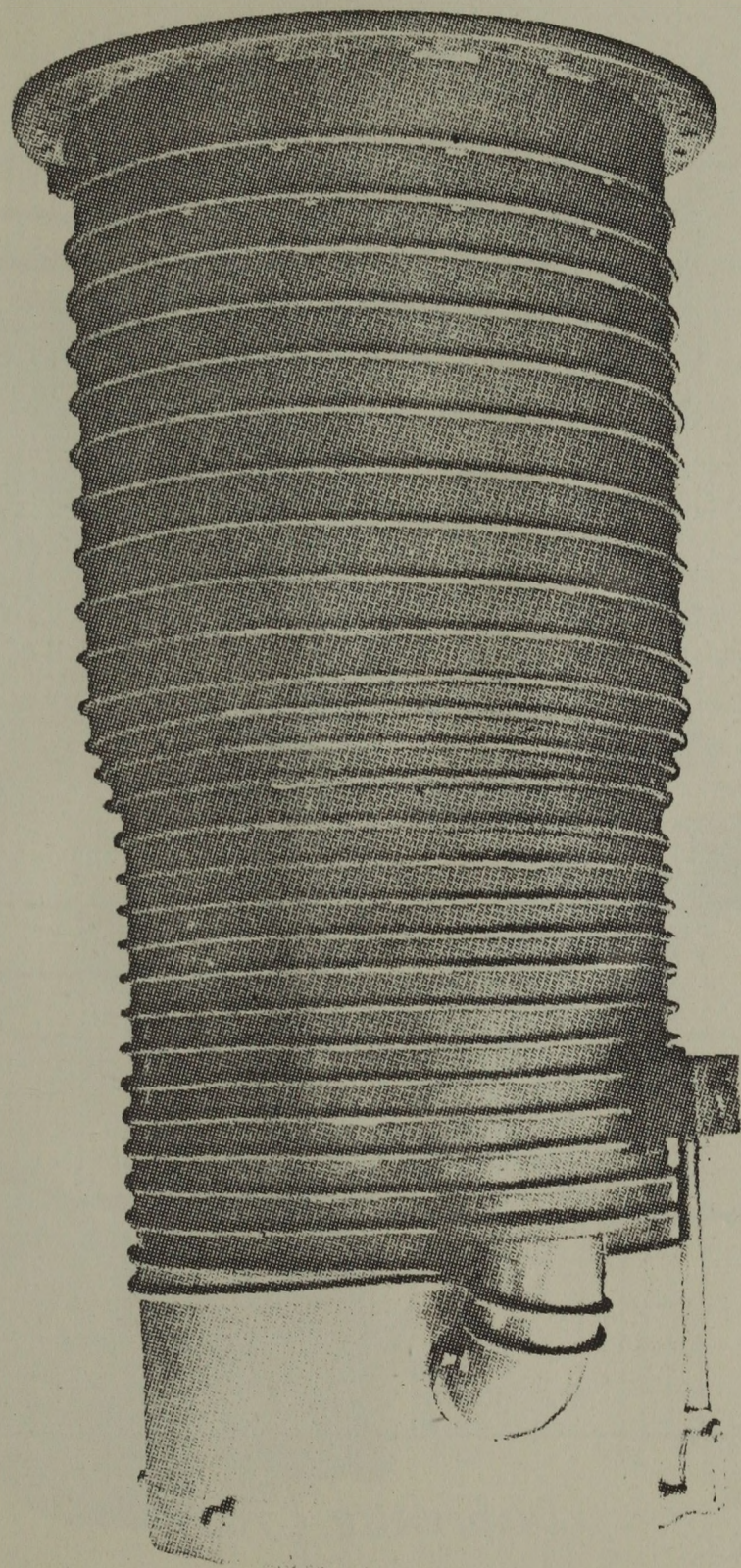
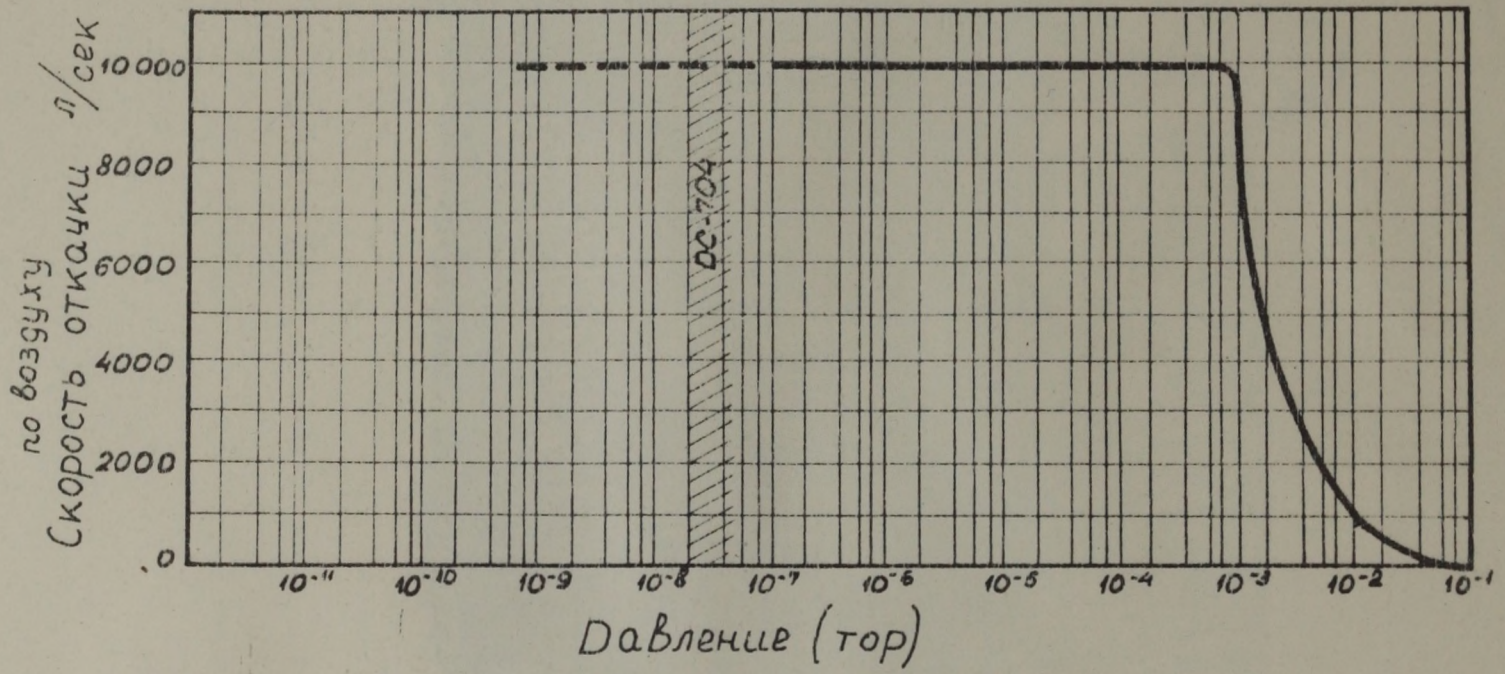


Рис. 16 Серия -HS - Фирмы NRC, тип HS-35.

HS16



HS35

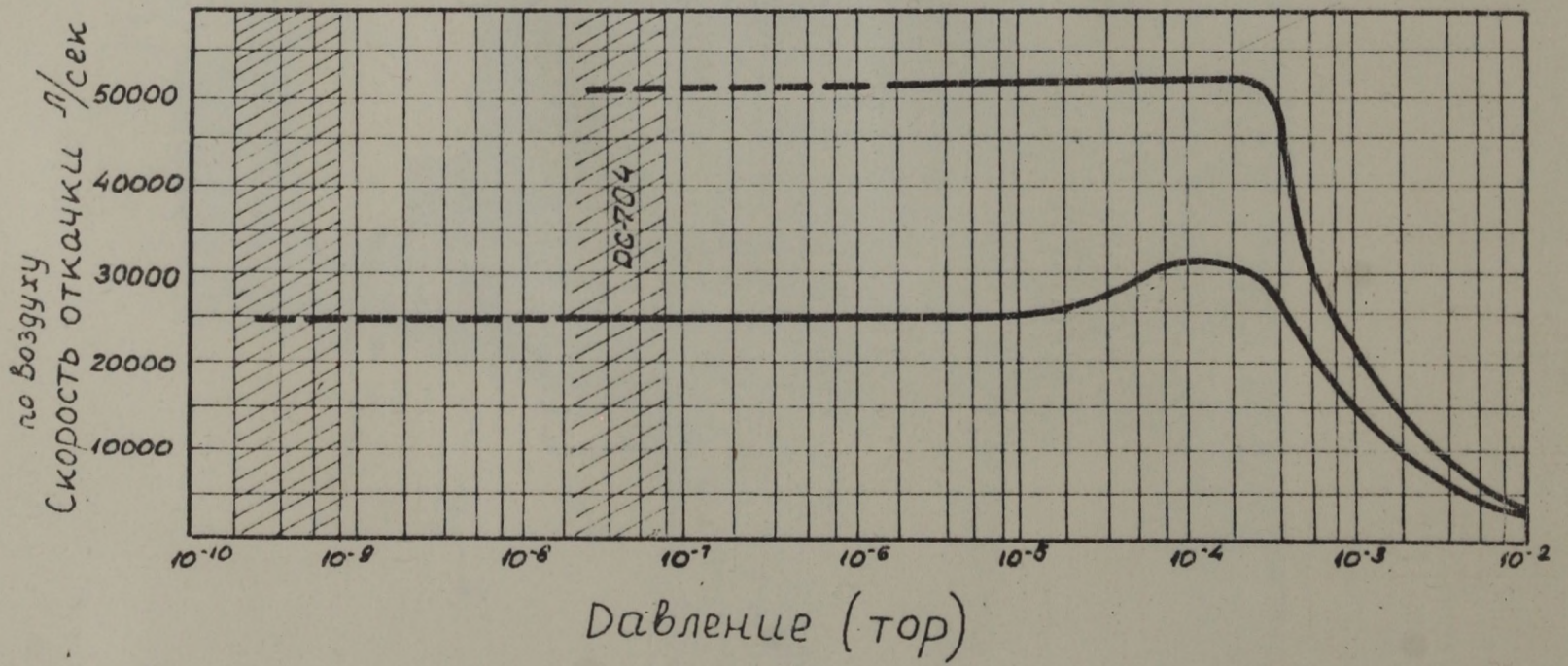


Рис. 17

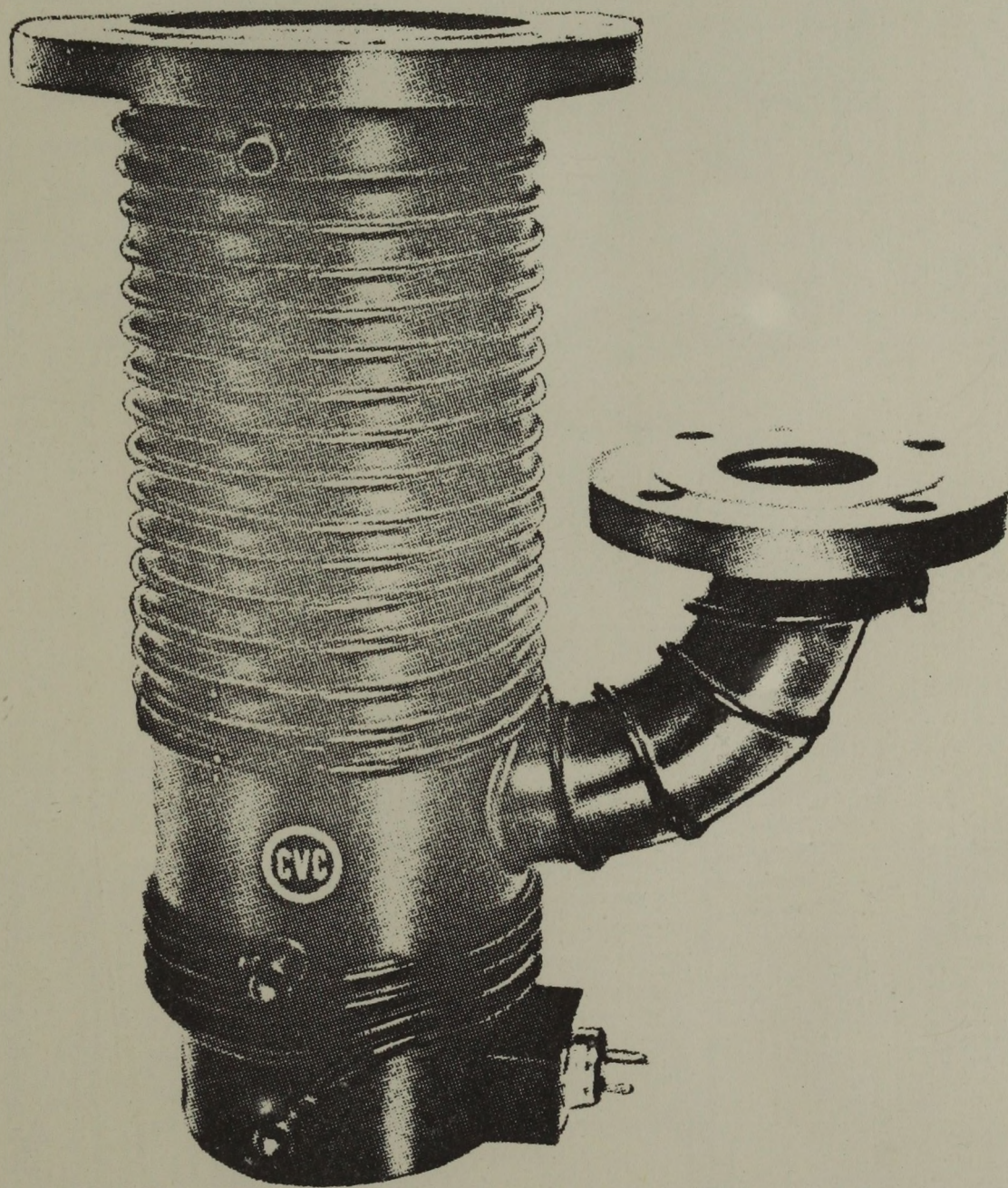


Рис. 18-а-

Серии "Blueline" фирмы C.V.C.

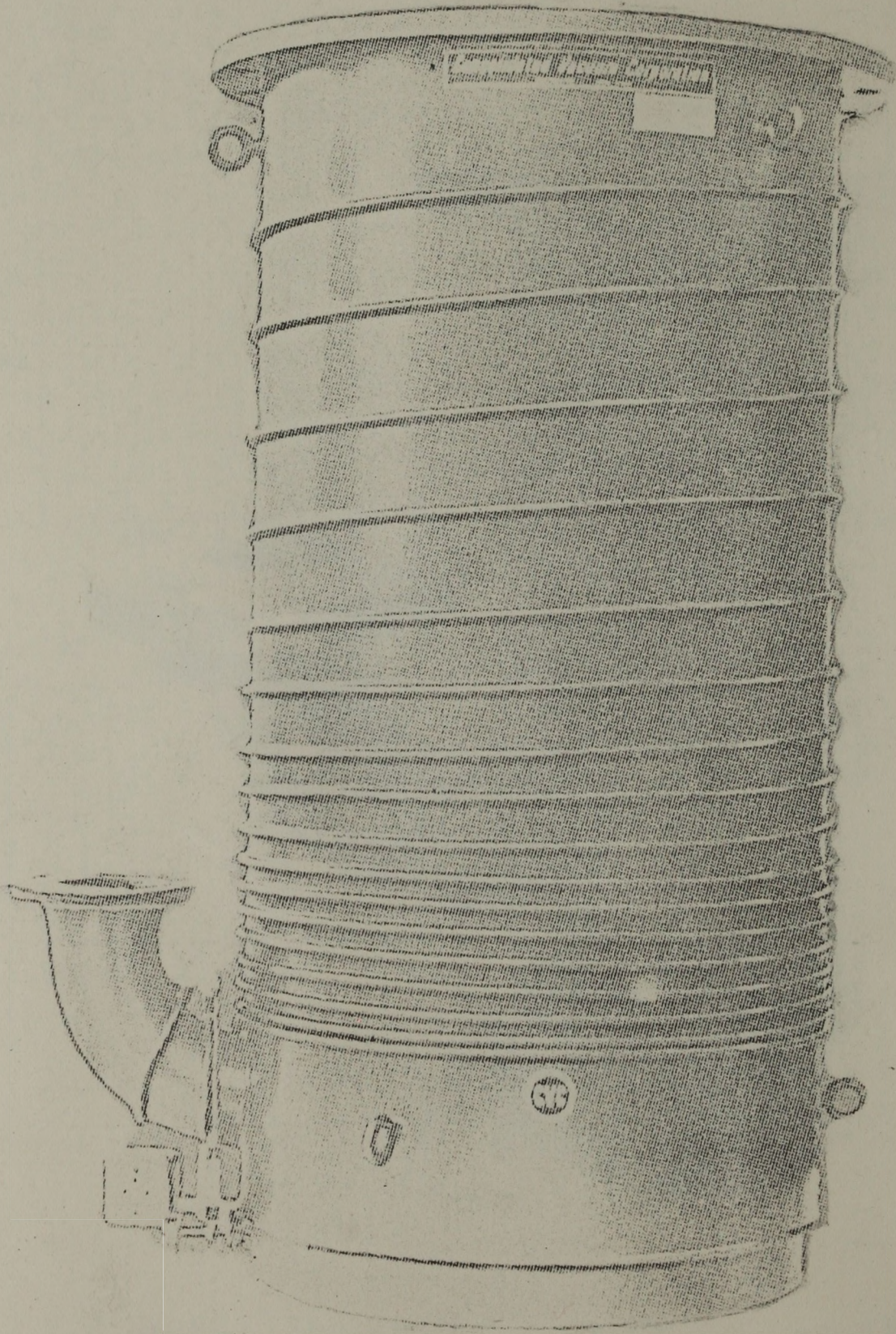


Рис. 18-6

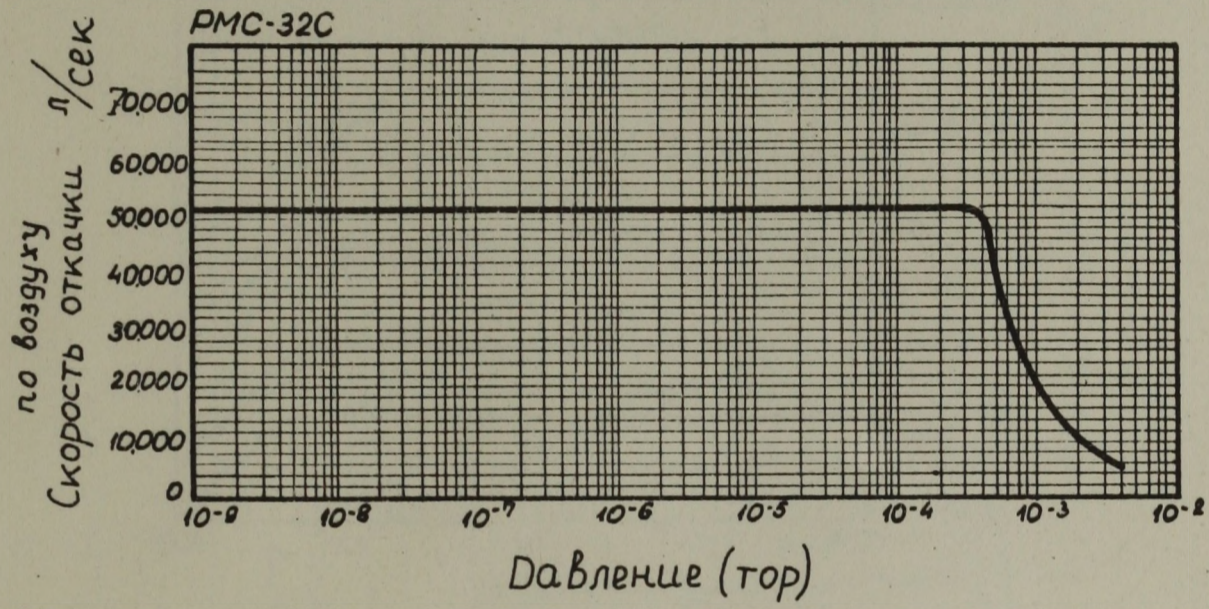


Рис. 19

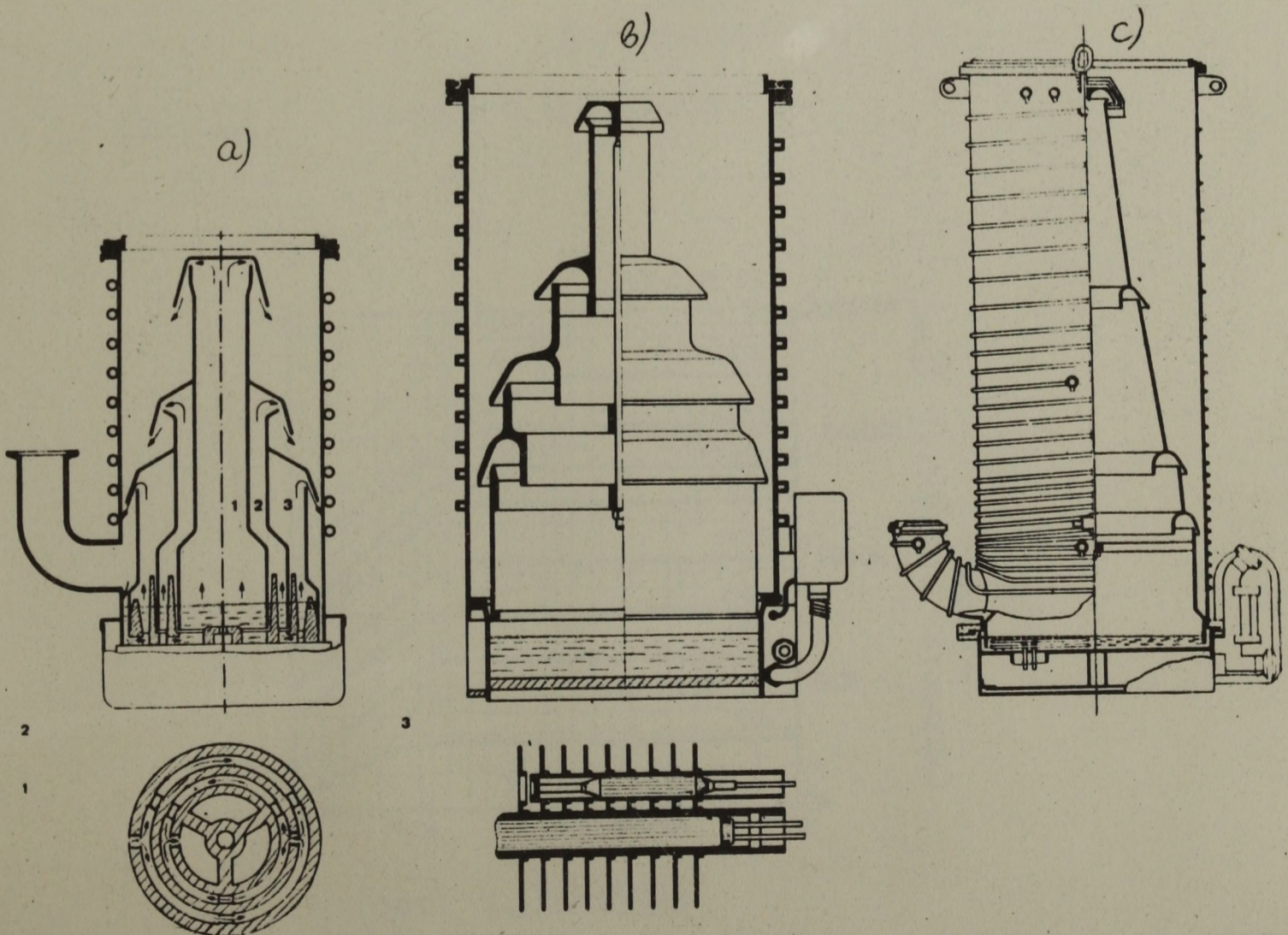


Рис. 20 Насосы фирмы Leybold-Heraeus а/серия Leybodiff Diffusionspumpe (-DJ-) с/серия-Leybojet

б/серия 01-

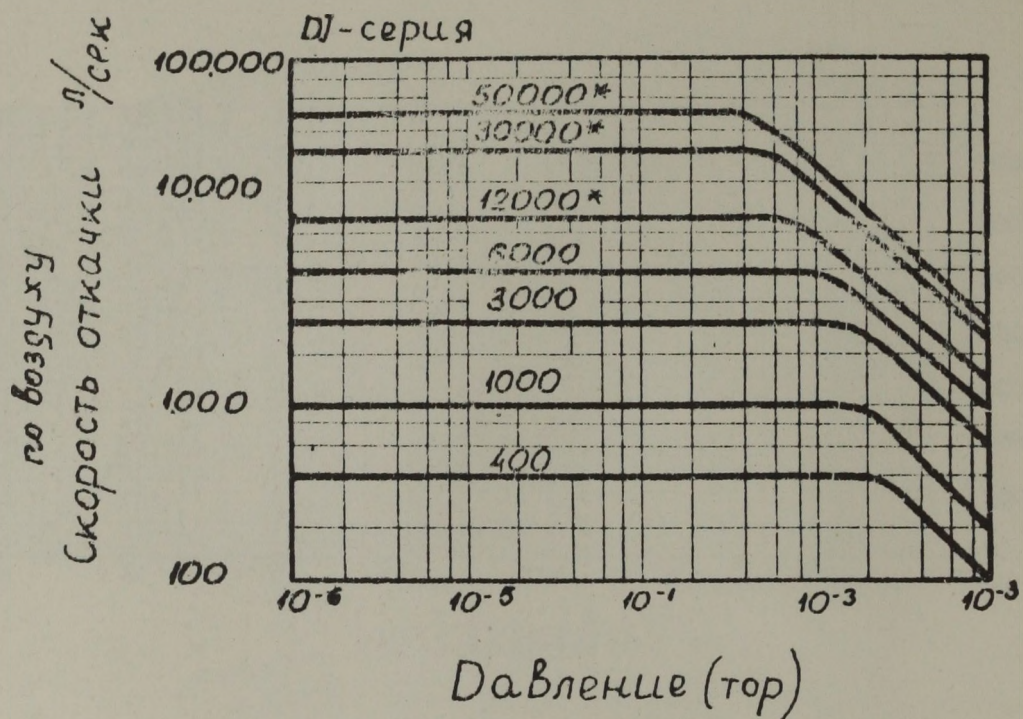


Рис. 21

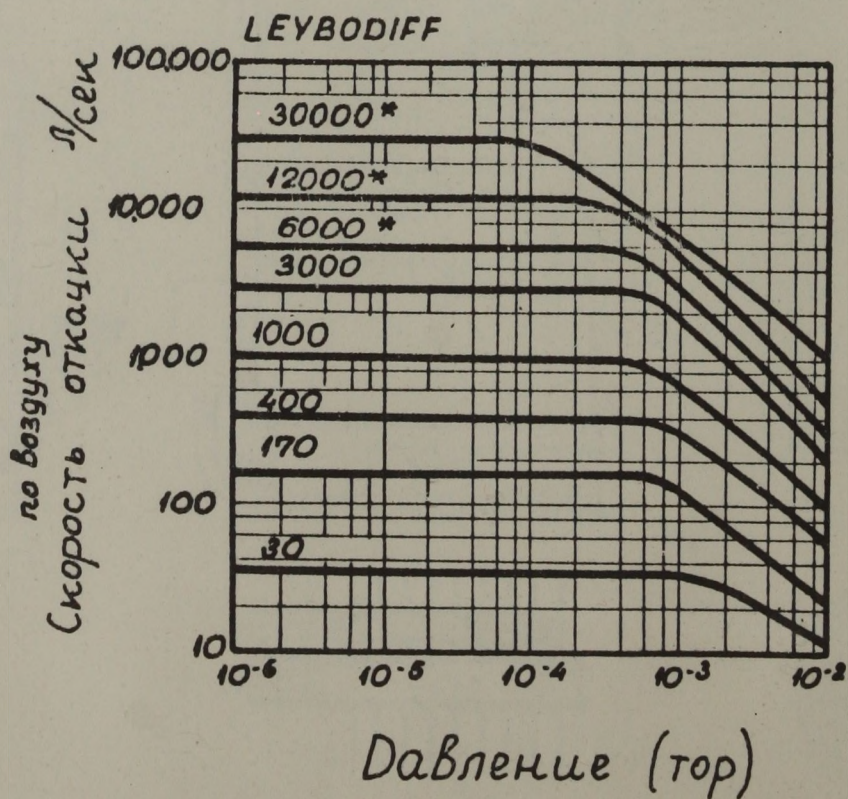


Рис. 22

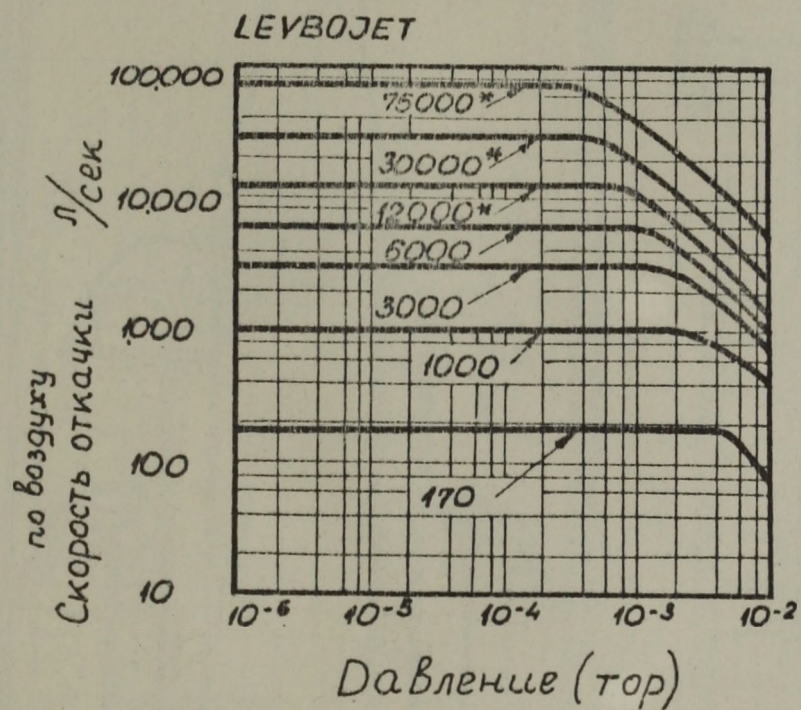


Рис. 23 *-С защитным колпачком

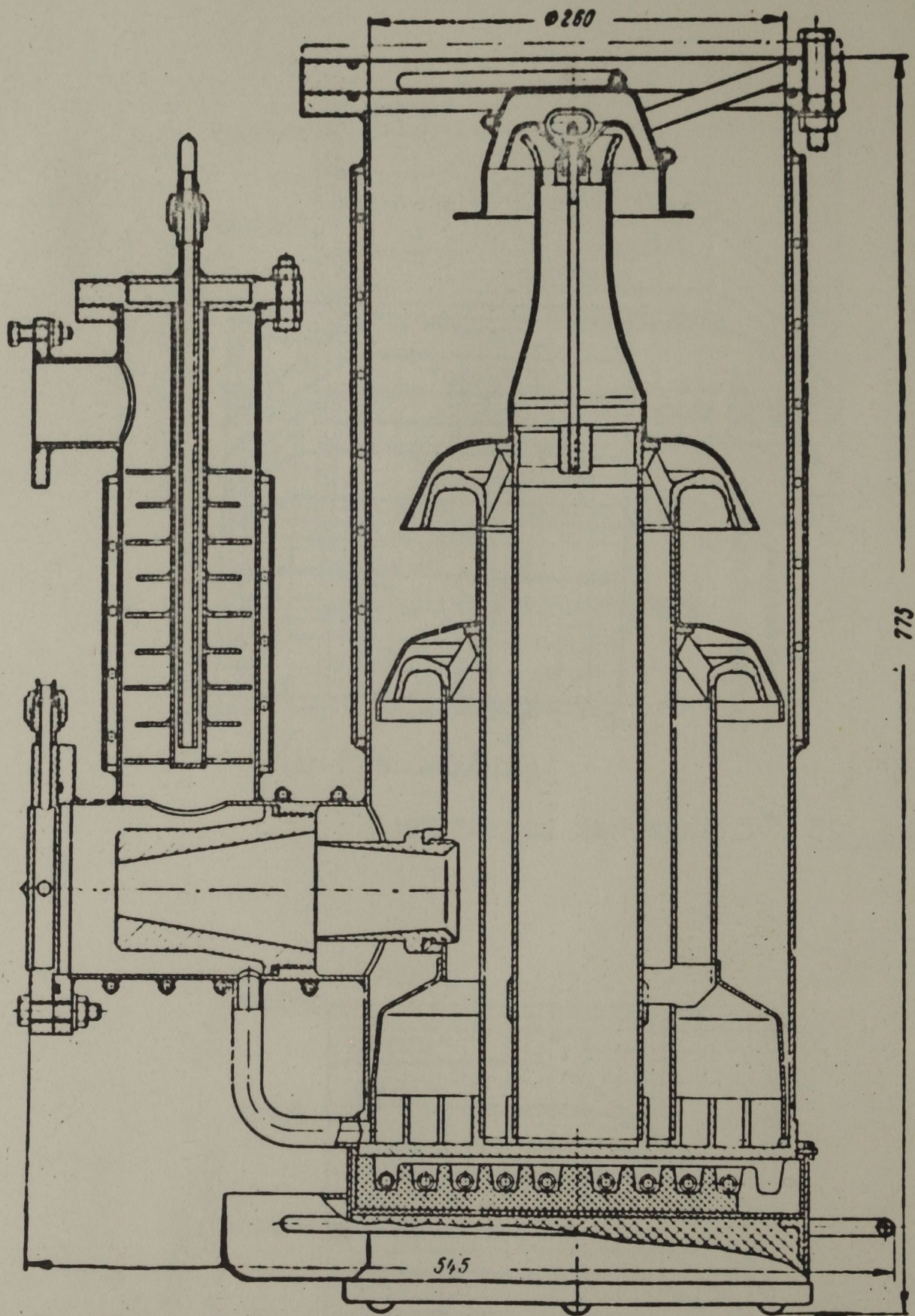


Рис.24 Насос Н-2Т-2 в разрезе.

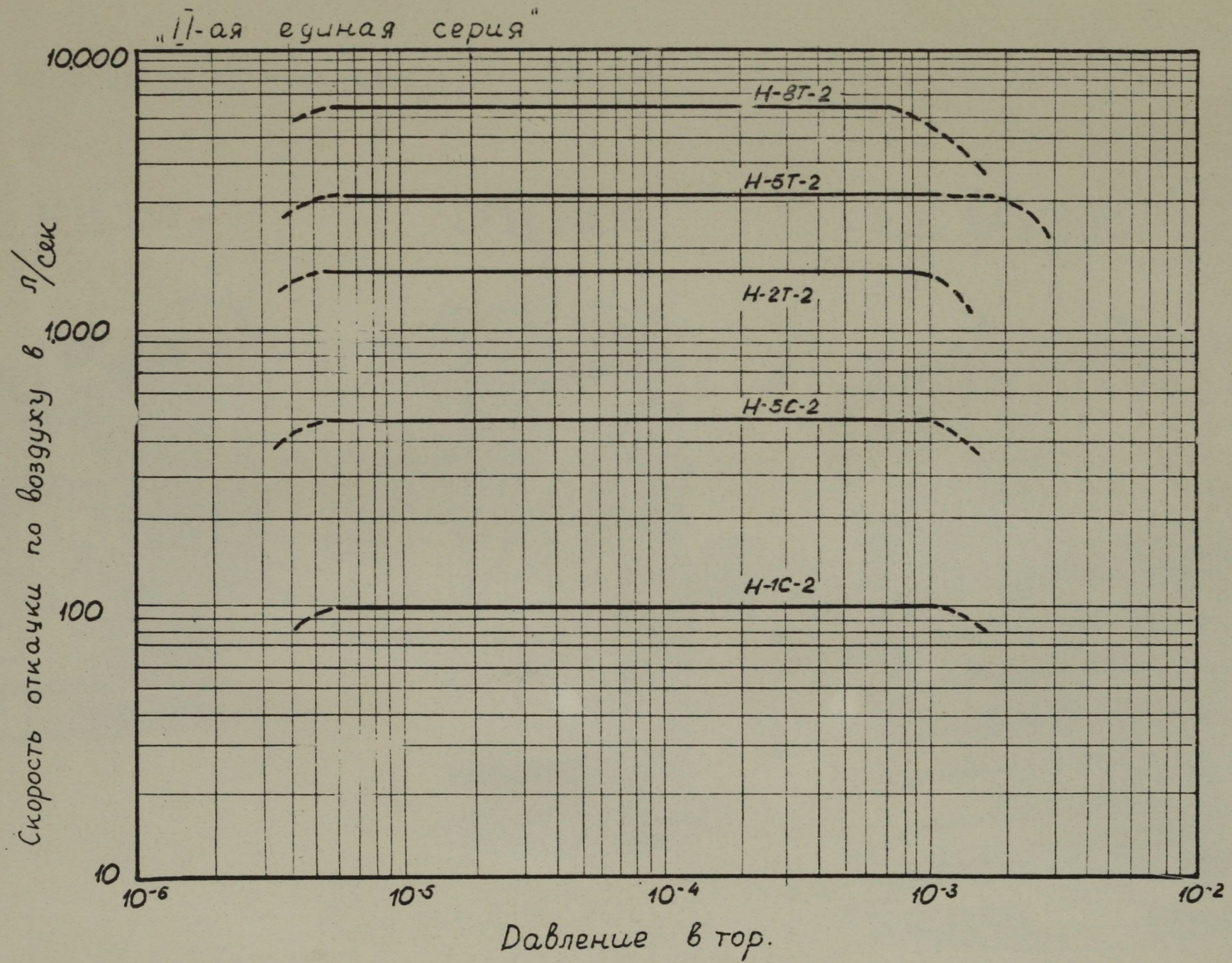
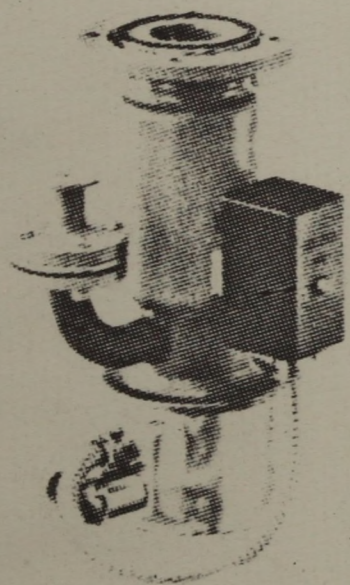
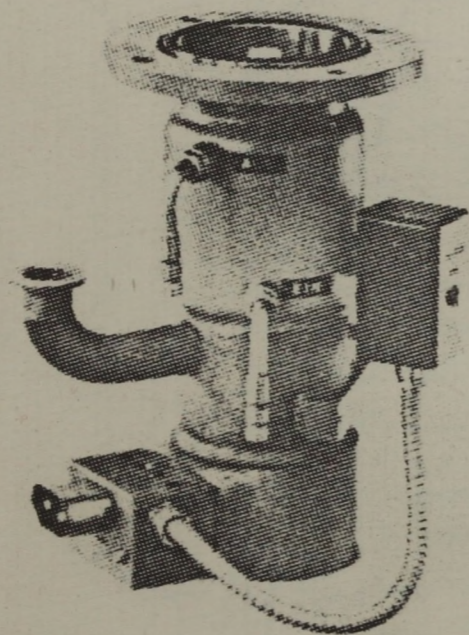


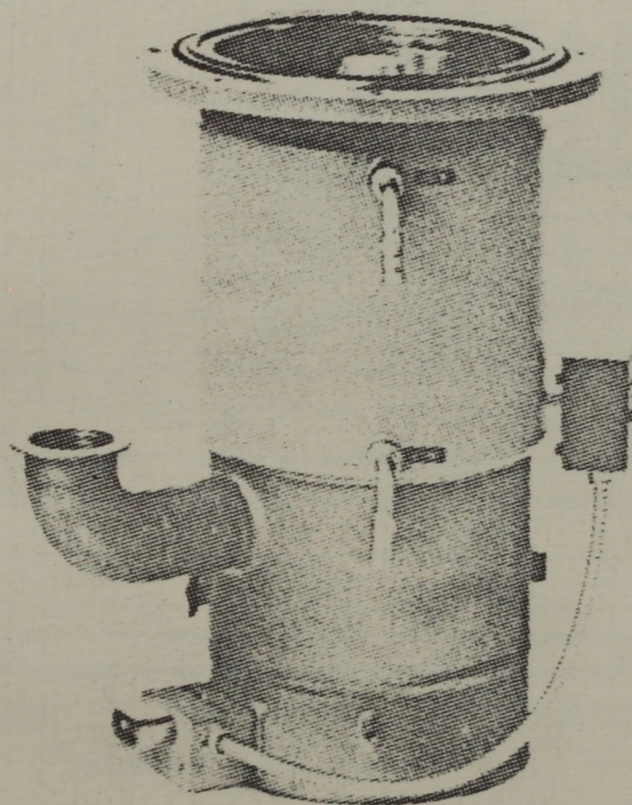
Рис. 25



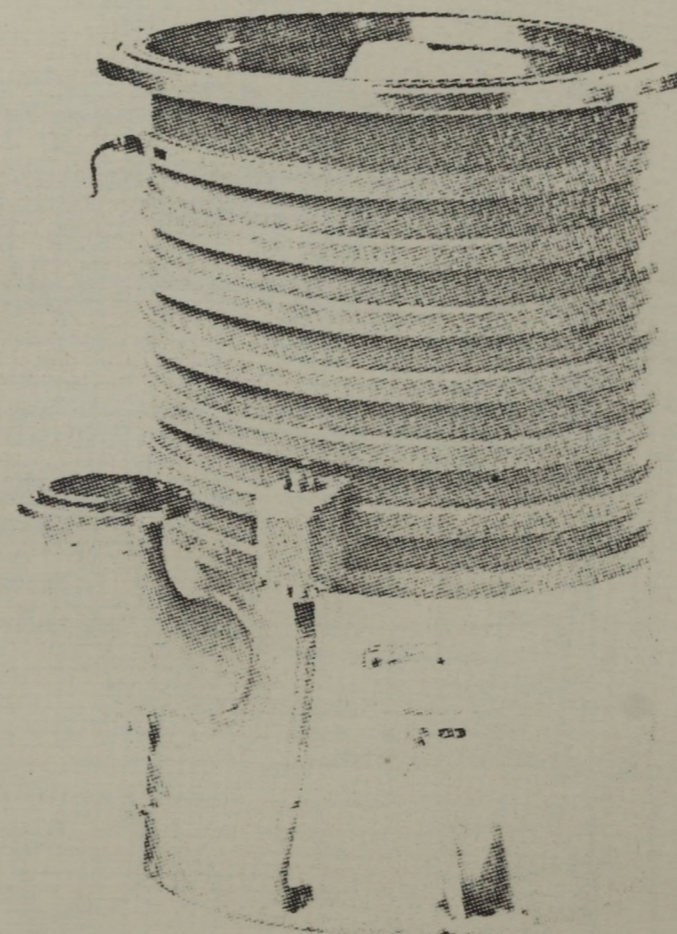
DLRP60



DLF 260



DLF 1900



DLF 500

Рис. 26 Серия насосов фирмы Blazers.

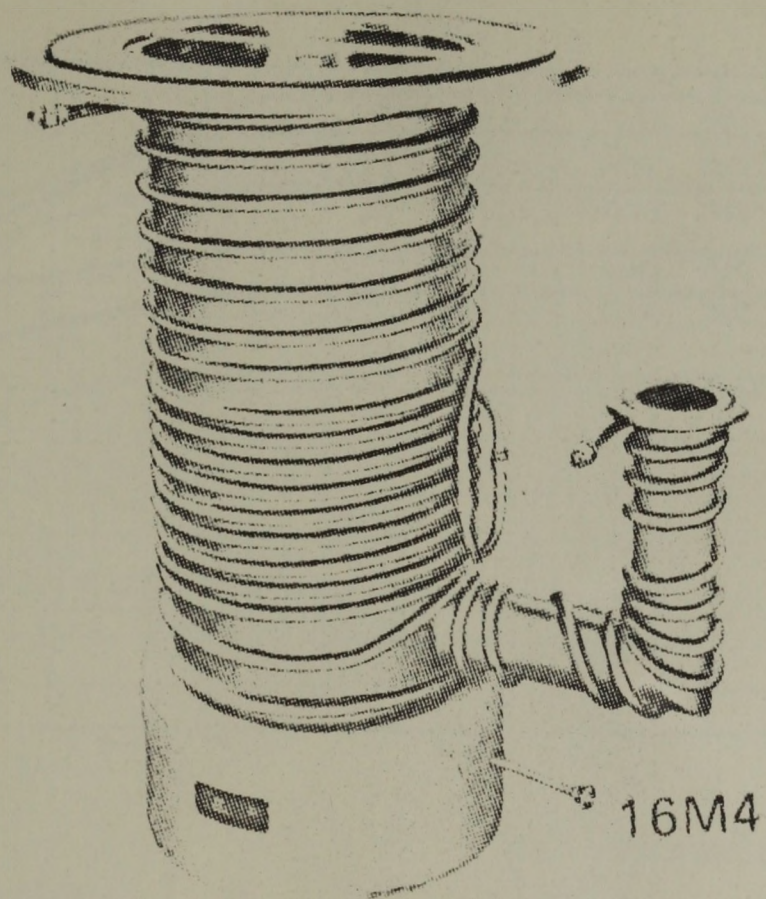


Рис. 26-а-. Серия насосов фирмы Edwards High Vacuum.

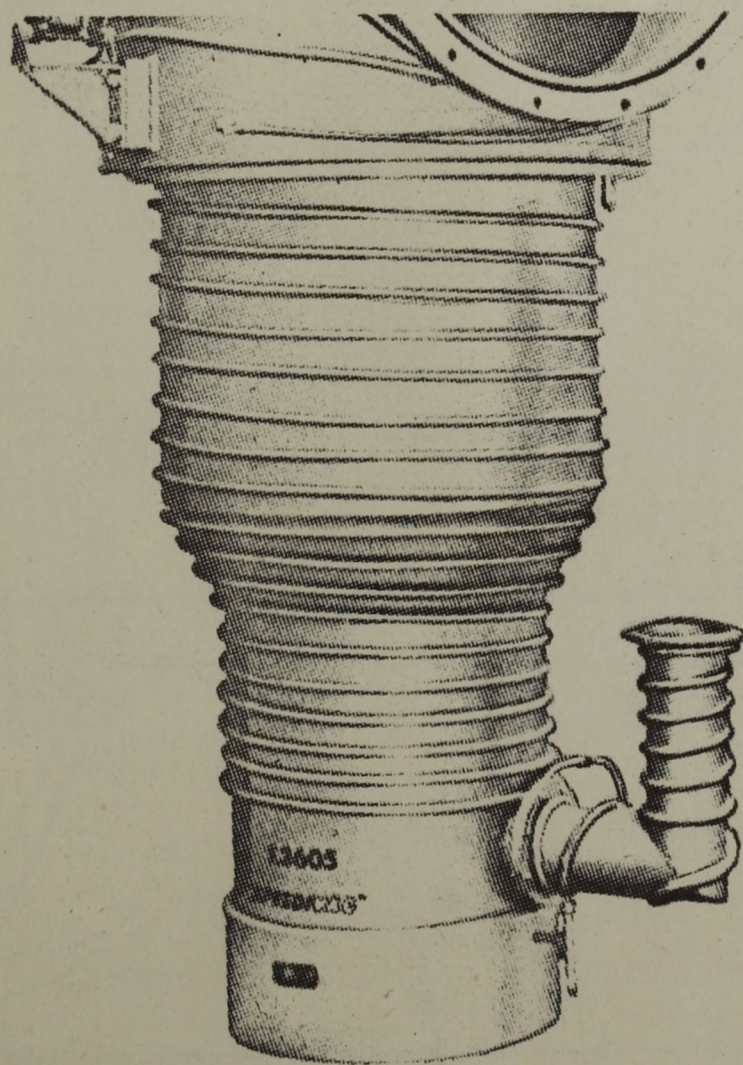


Рис. 26-б-. Серия насосов фирмы Edwards High Vacuum.

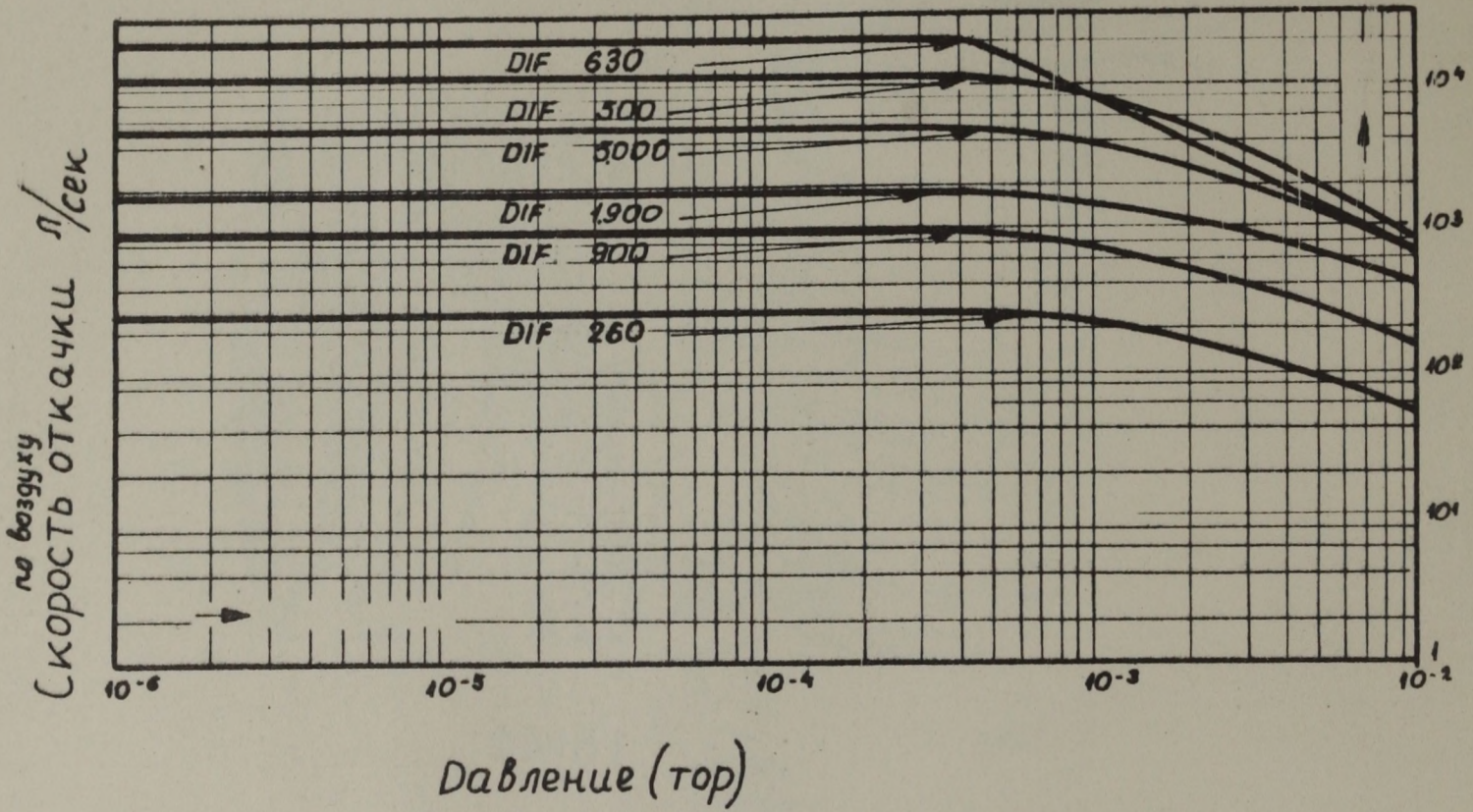


Рис. 27

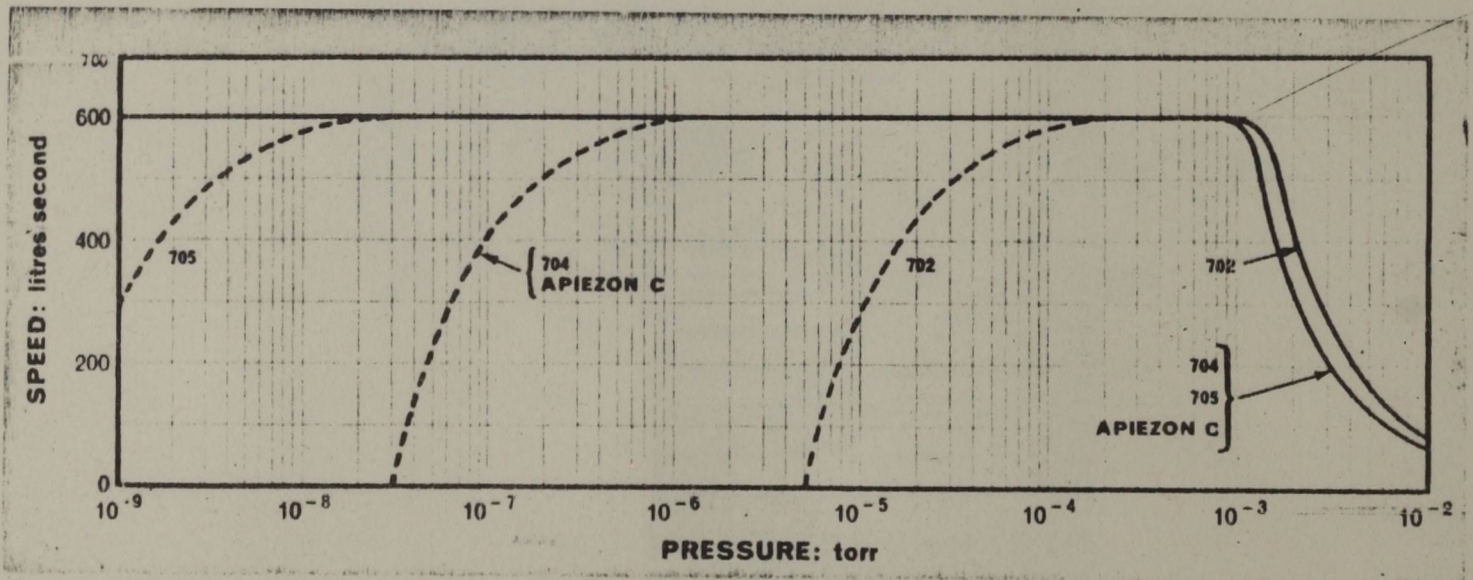


Рис. 27-а-

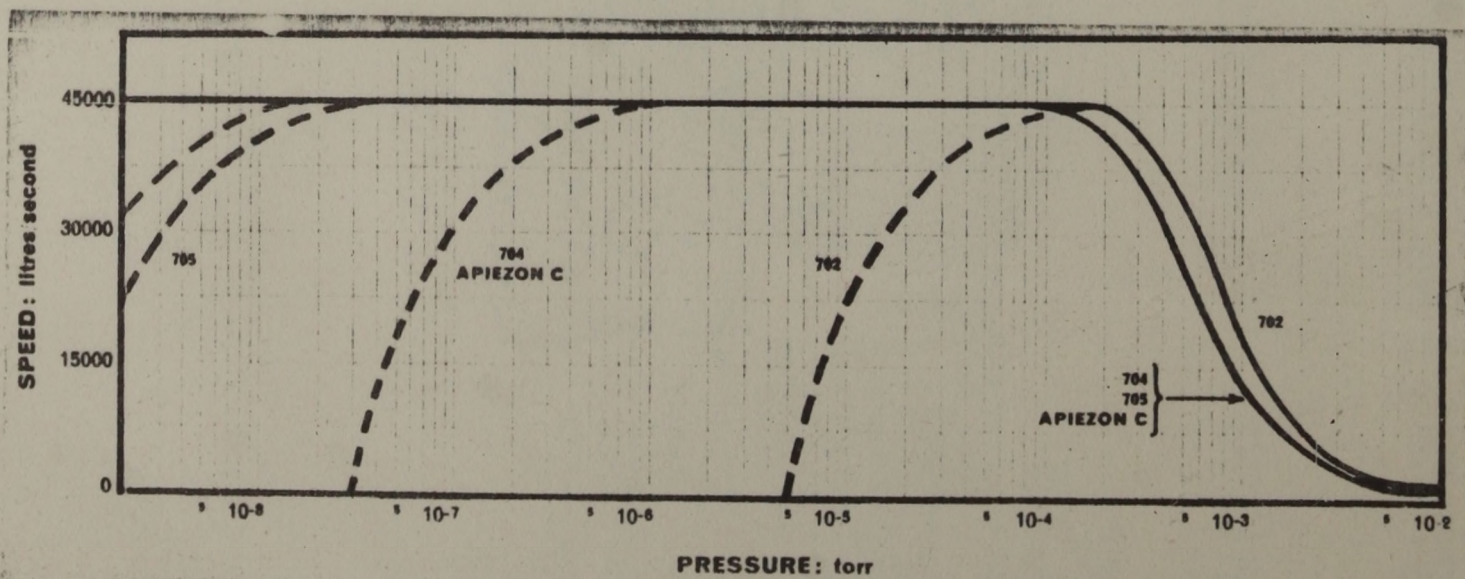


Рис. 27-в-

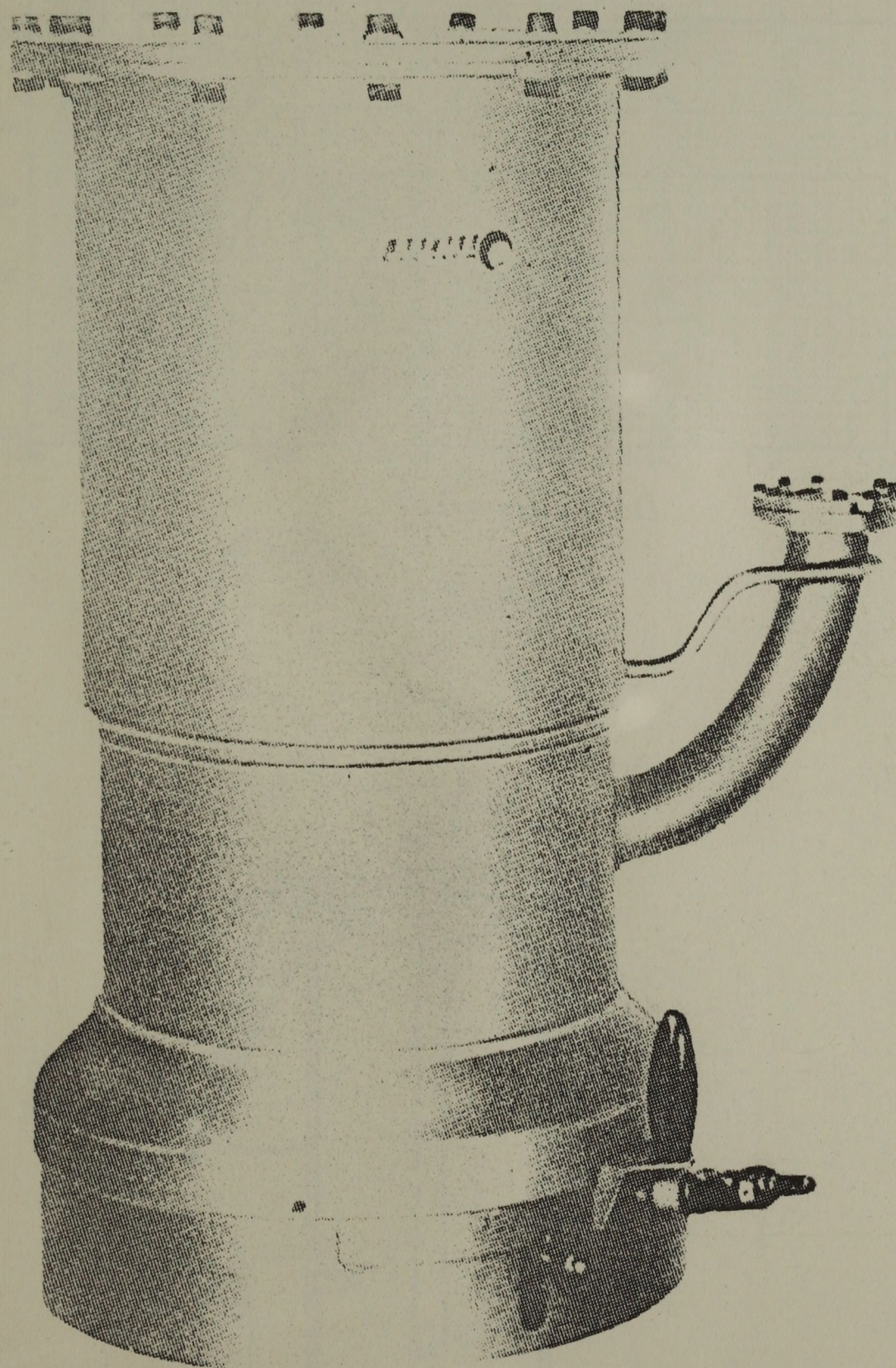


Рис. 28 Типичный паромасляный насос фирмы Alcatel

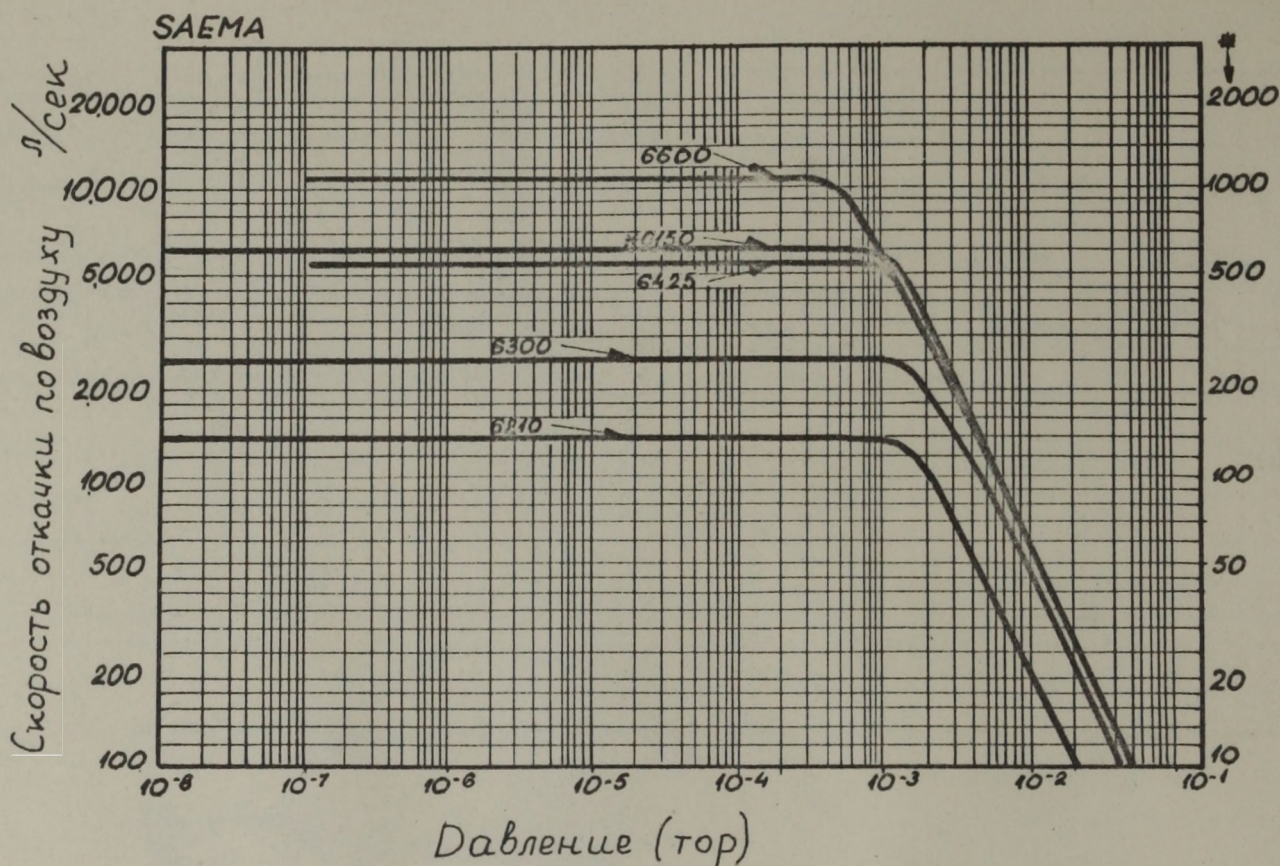


Рис. 29

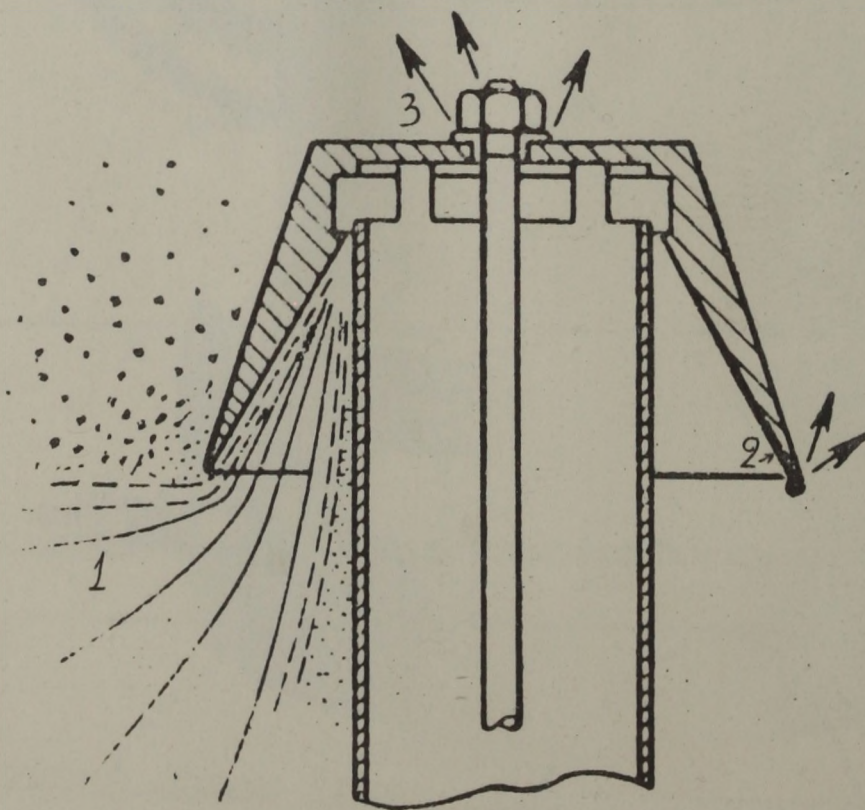
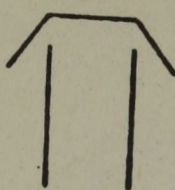
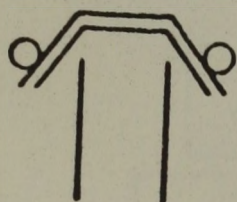


Рис. 30 Источники обратной миграции рабочей жидкости: 1/ - унос пара её паровыми турбулентными струями в реципиент. 2/ - плёнка легкоконденсируемых паров её. 3/ - просачивание рабочей жидкости из-под крепёжной гайки.

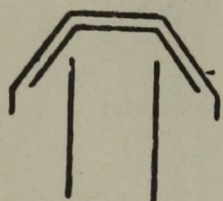
Коэффициент
обратного
потока



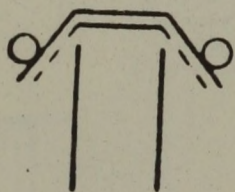
1



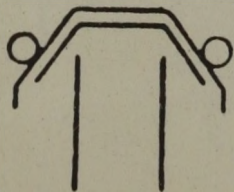
0,5-0,3



0,5-1



0,2-0,15



0,02-0,01

Рис. 31 Уменьшение величины обратного потока масла при применении защитных колпачков разных форм.

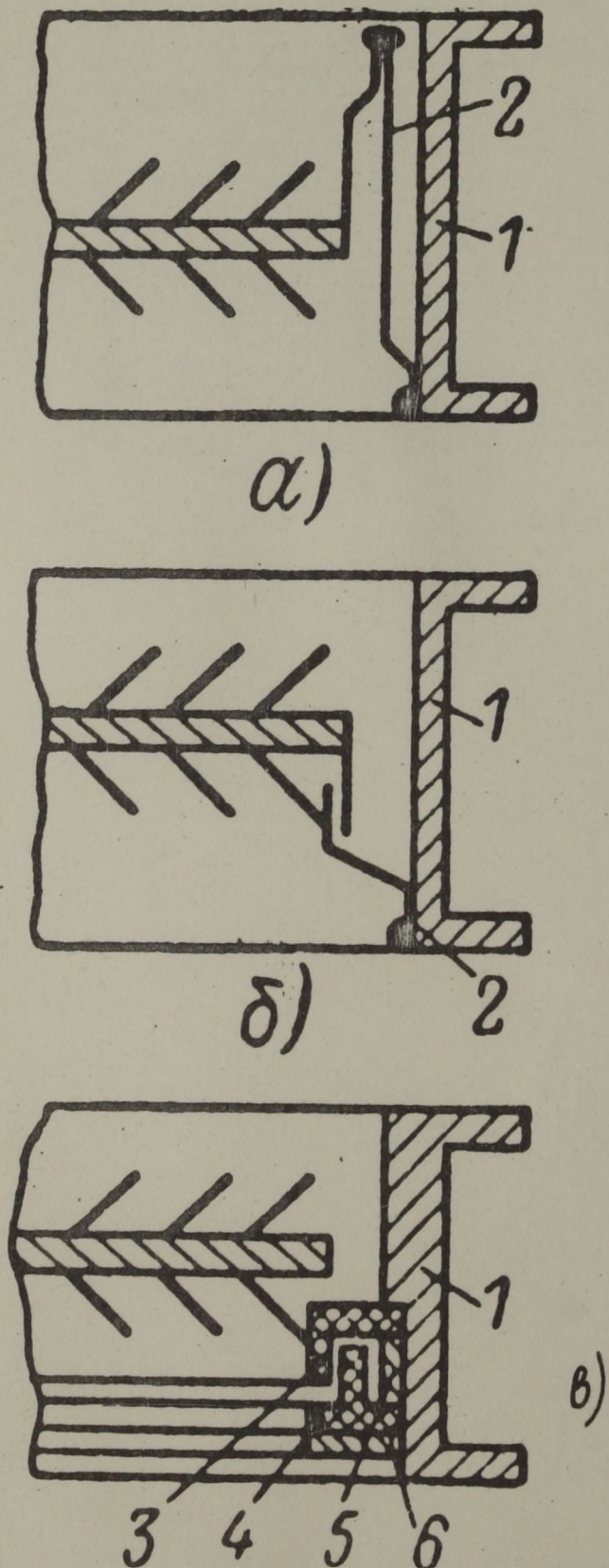


Рис. 32- Конструкции Антимиграционных барьеров. 1-корпус ловушки; 2-антимиграторы; 3-4-кольца из фторопласта; 5-фиксирующее кольцо; 6-поджимное кольцо.

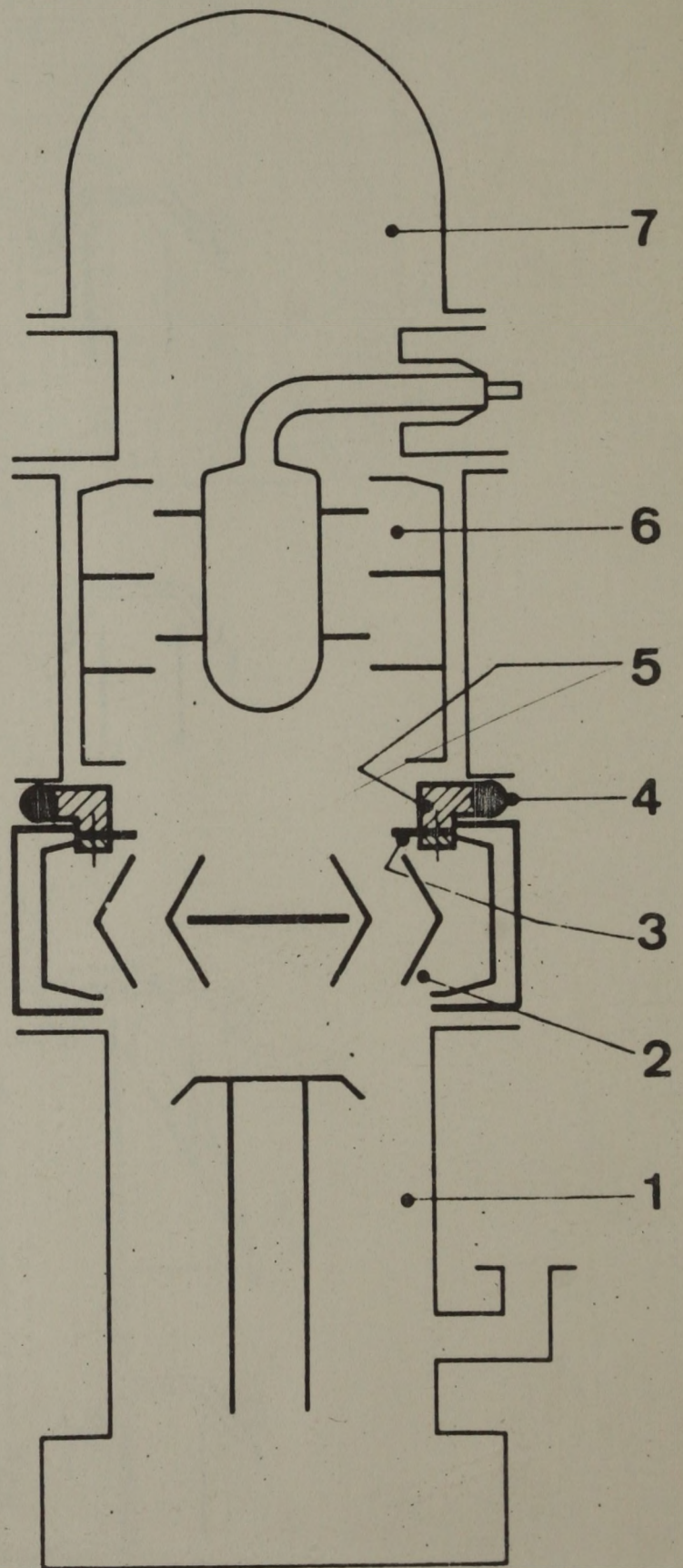


Рис. 33 Конструктивное оформление антимиграционного барьера-3-(тефлоновой шайбы) в типичной вакуумной системе фирмы Leybold-Heraeus.

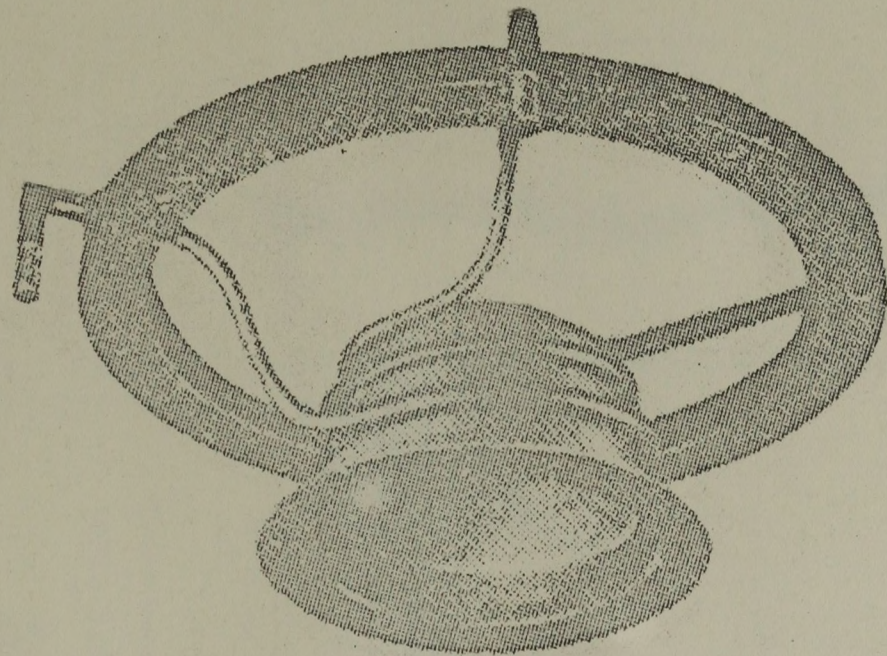


Рис. 34-а - Колпачковый отражатель советской серии насосов.

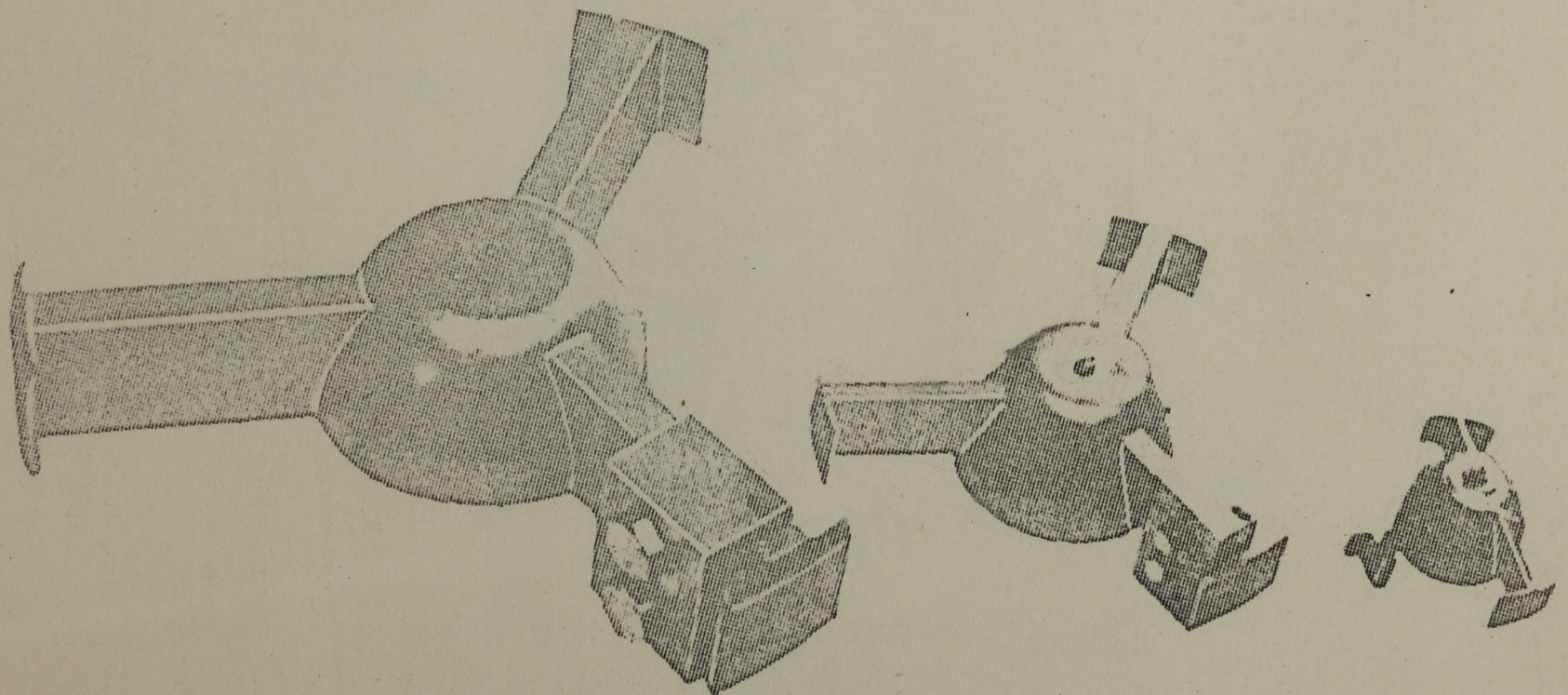


Рис. 34-в.

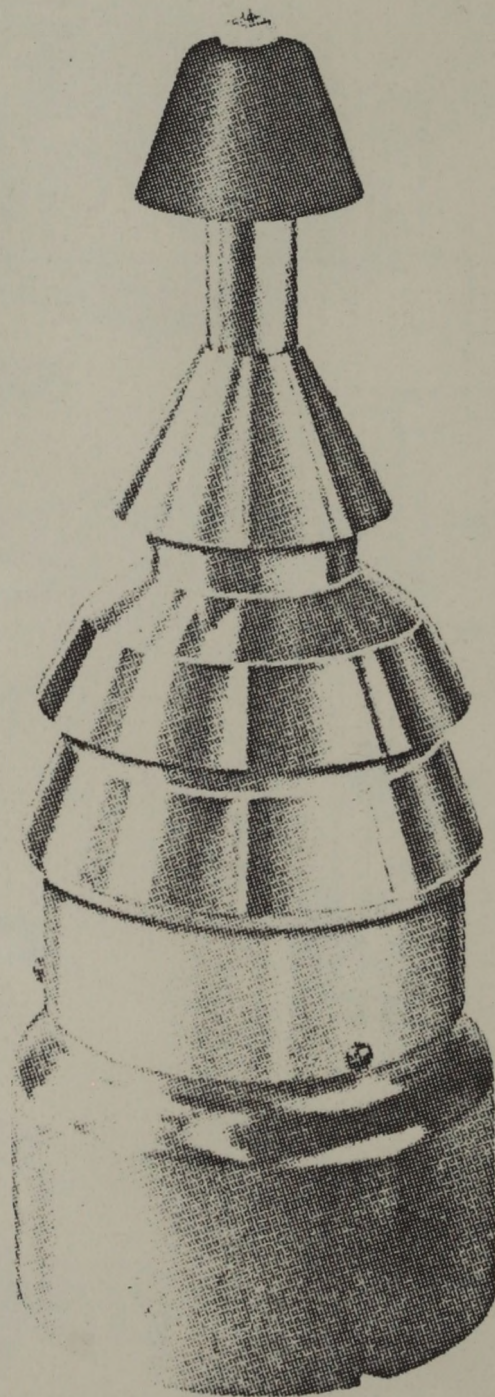


Рис. 35 Защитный колпачок и сопельная сборка насосов фирмы Bell & Howell C.V.C.

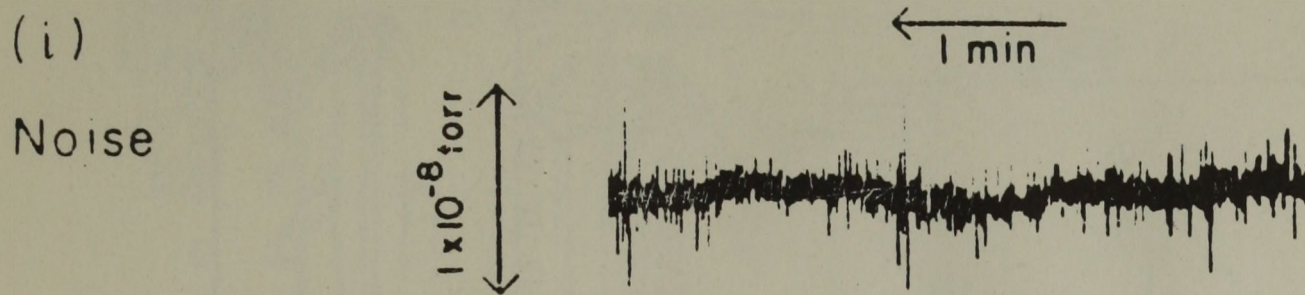


Рис. 36 Типичные флуктуации давления, вызванные шумами измерительной аппаратуры.

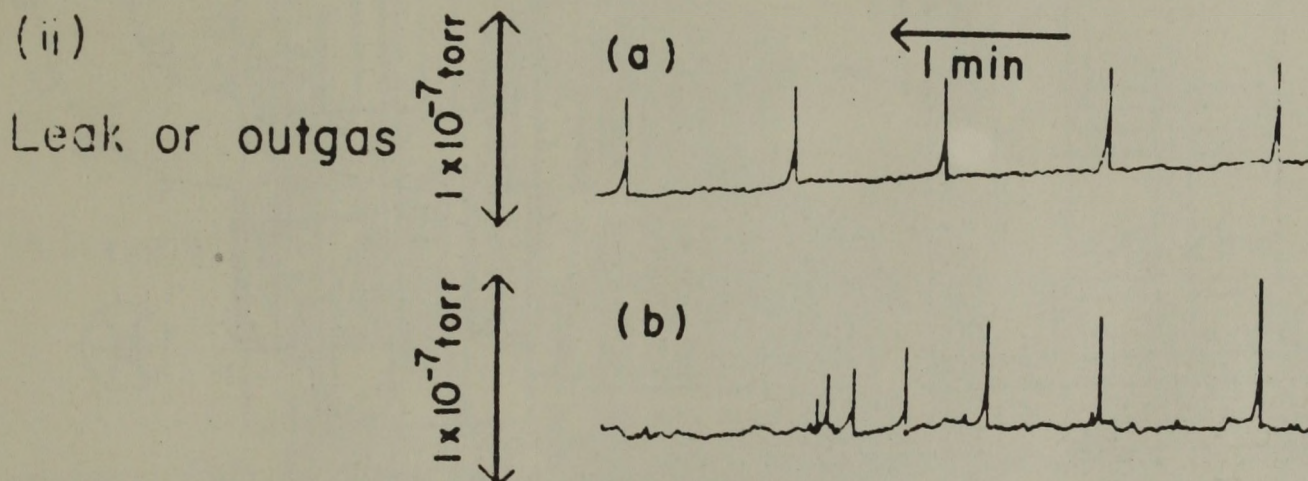


Рис. 37 Флуктуации давления, вызванные газоотделением уплотнений и натеками через них.

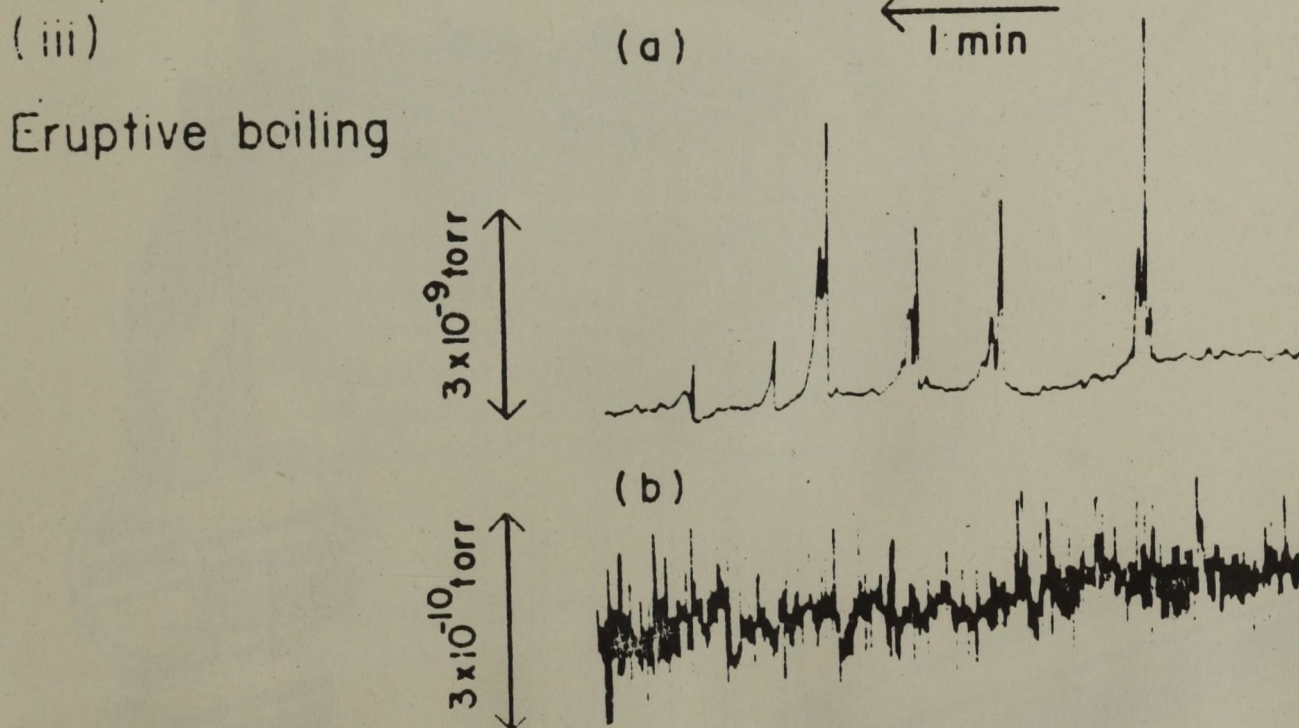


Рис. 38 Флуктуации давления, вызванные интенсивным неравномерным кипением рабочей жидкости.

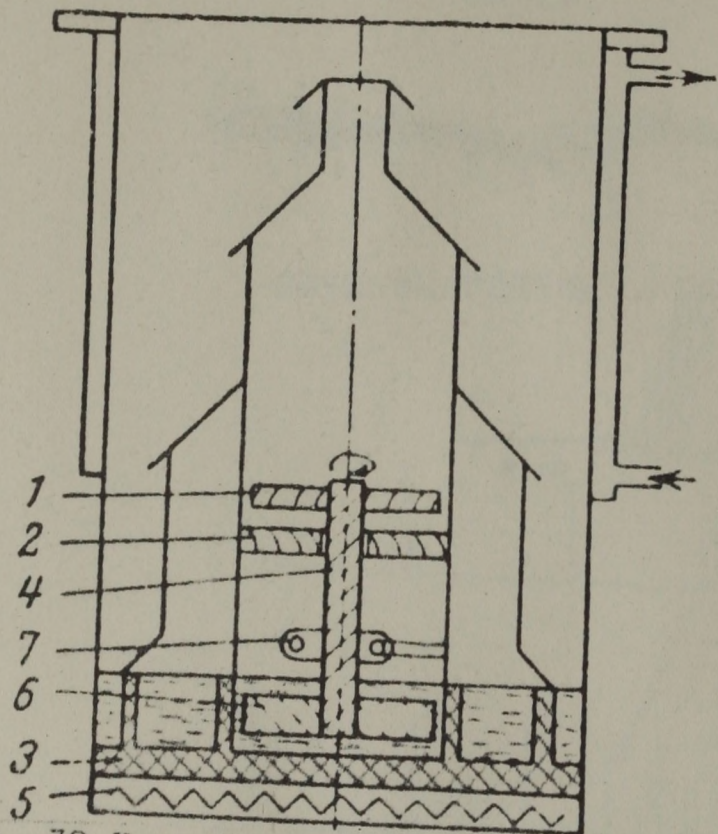


Рис. 39 Устройство для перемешивания рабочей жидкости в кипяильнике.

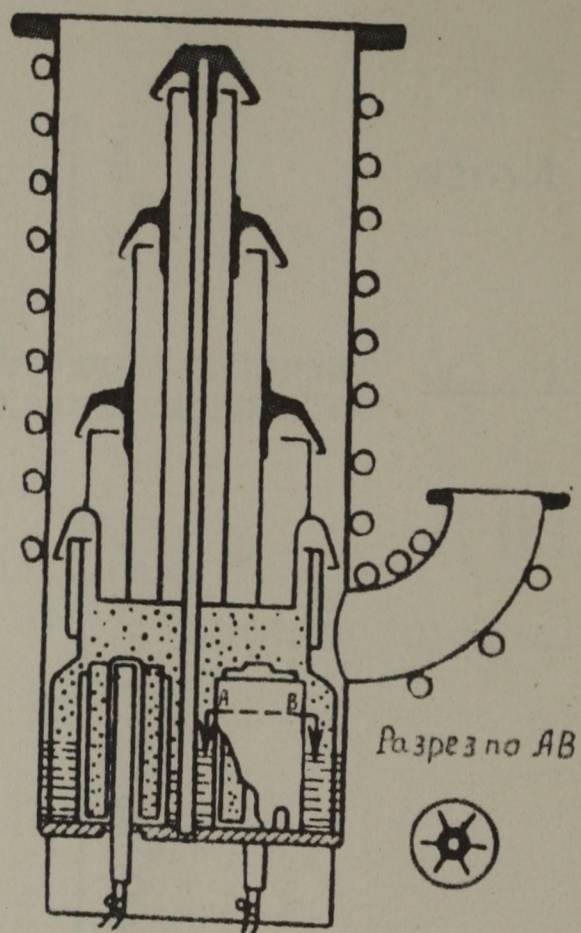


Рис. 40 Конструкция быстродействующего кипяильника фирмы Bell & Howell, С. V. C.

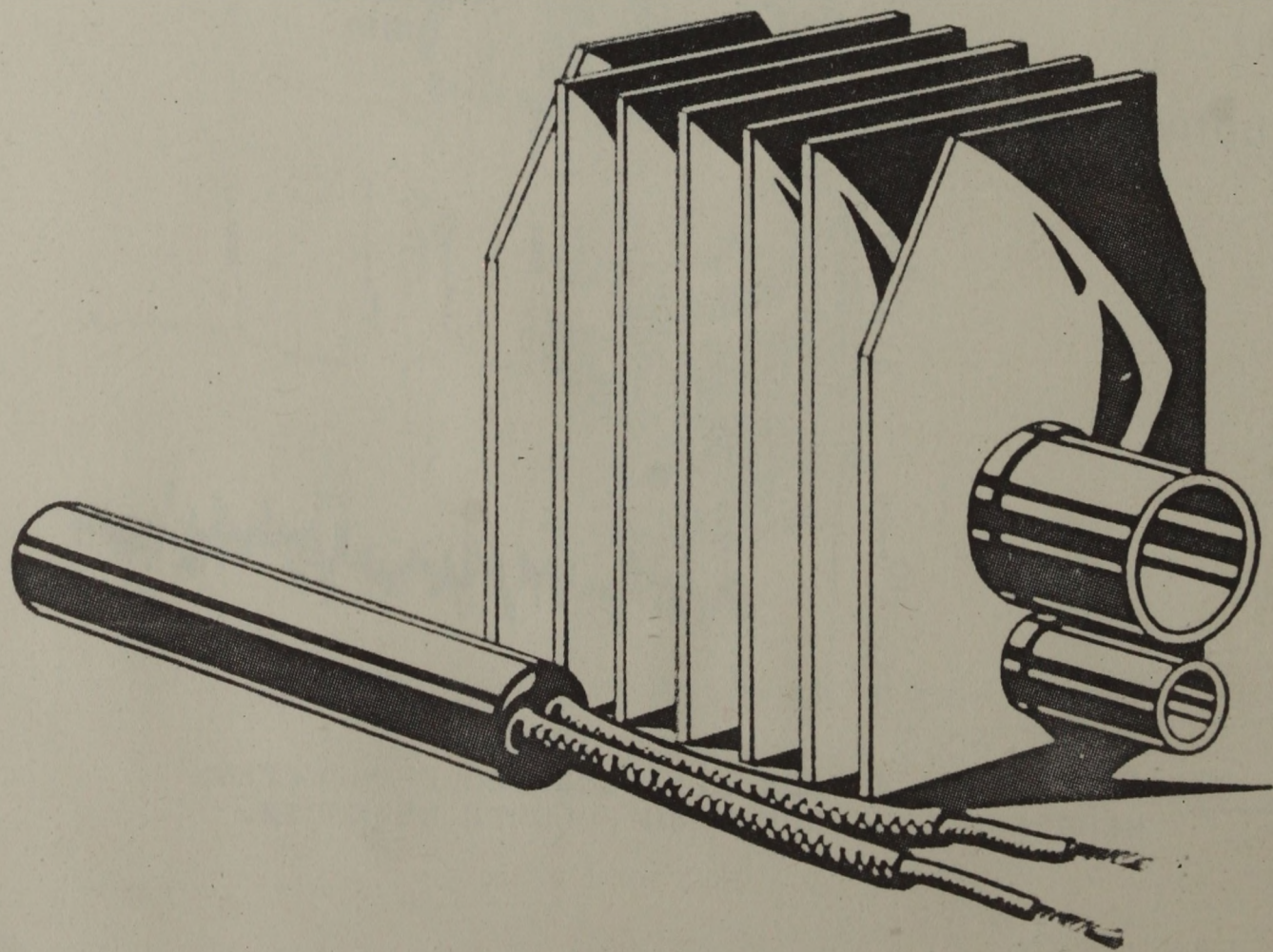


Рис. 4I Быстродействующий кипяильник фирмы Leybold-Heraeus.

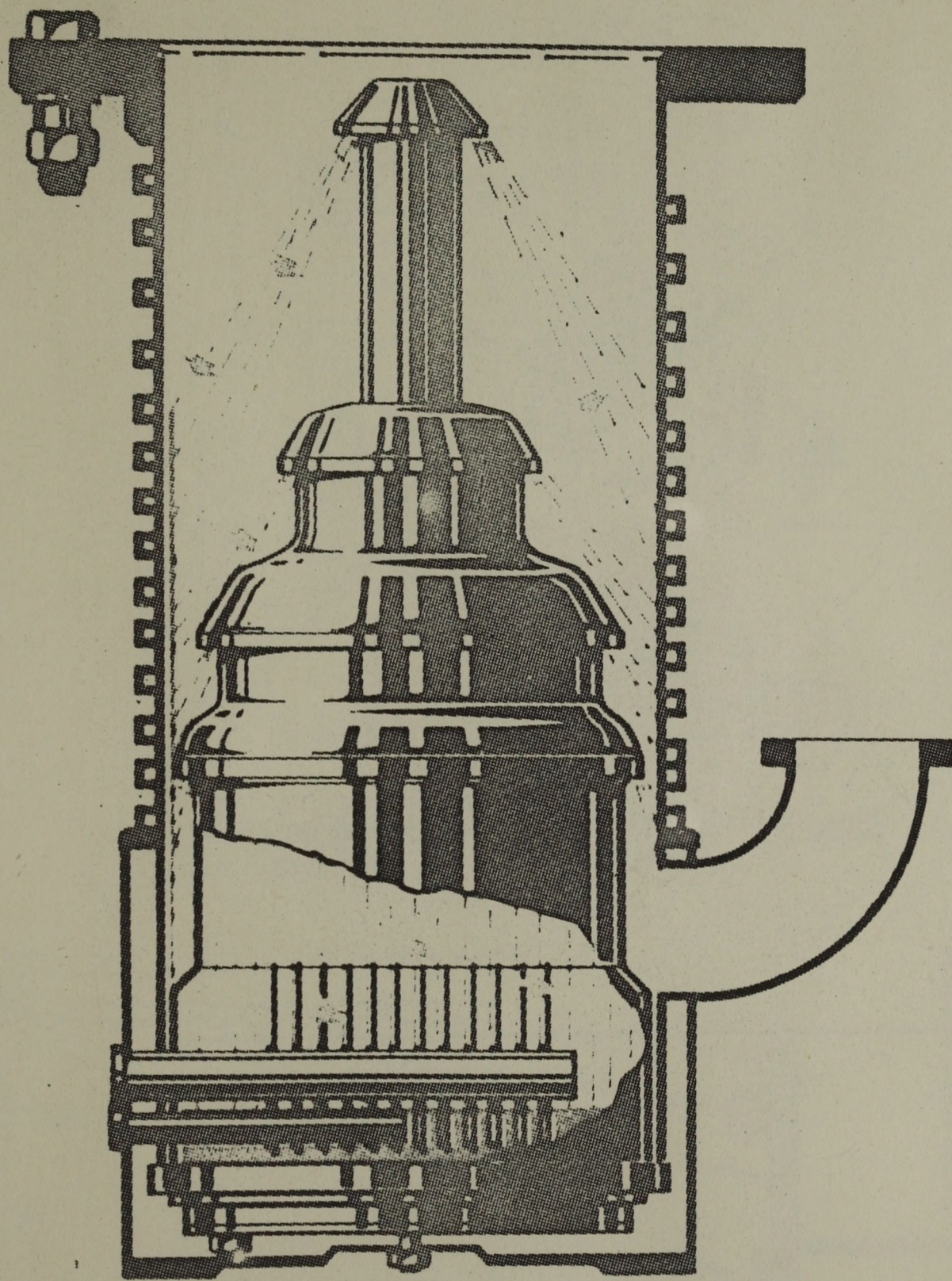


Рис. 42 Монтаж быстродействующего кипятильника в насосе.

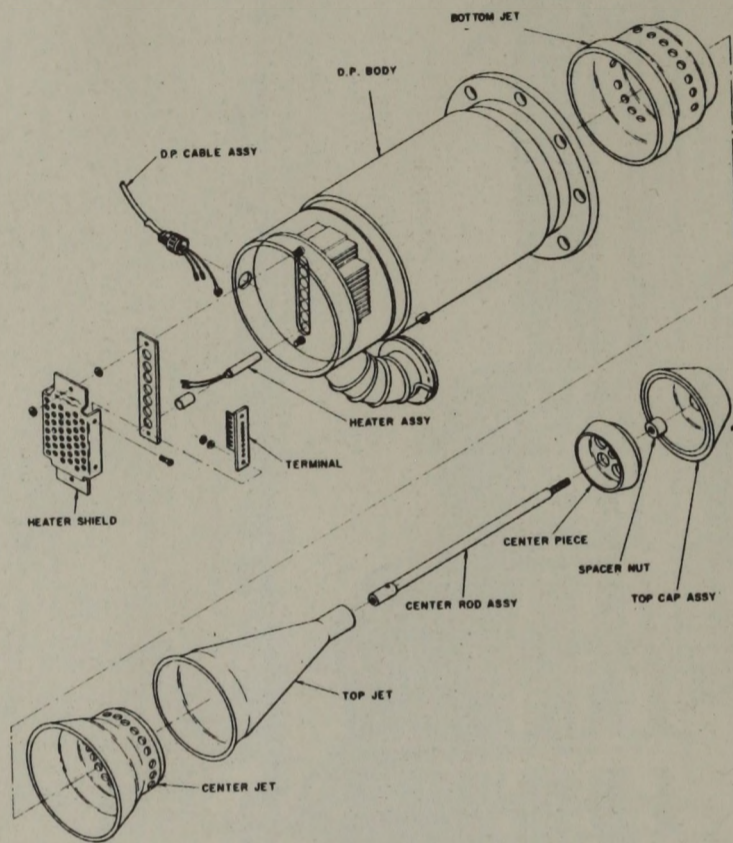


Рис. 43 Быстродействующий нагреватель фирмы Veeco Instrum.

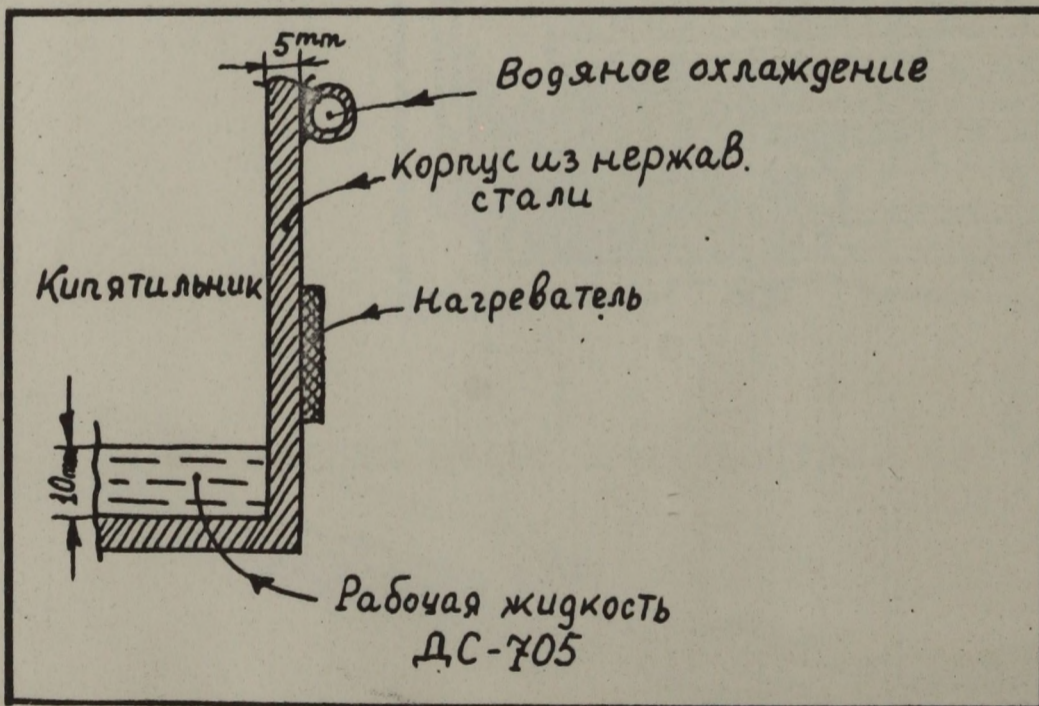


Рис. 44

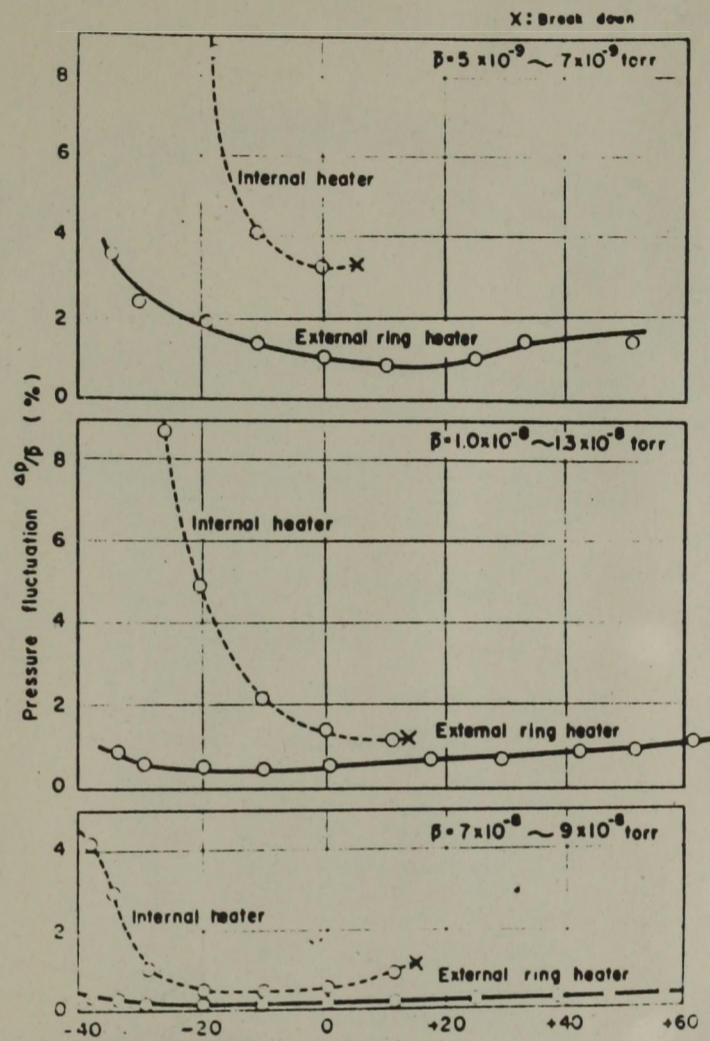


Рис. 45

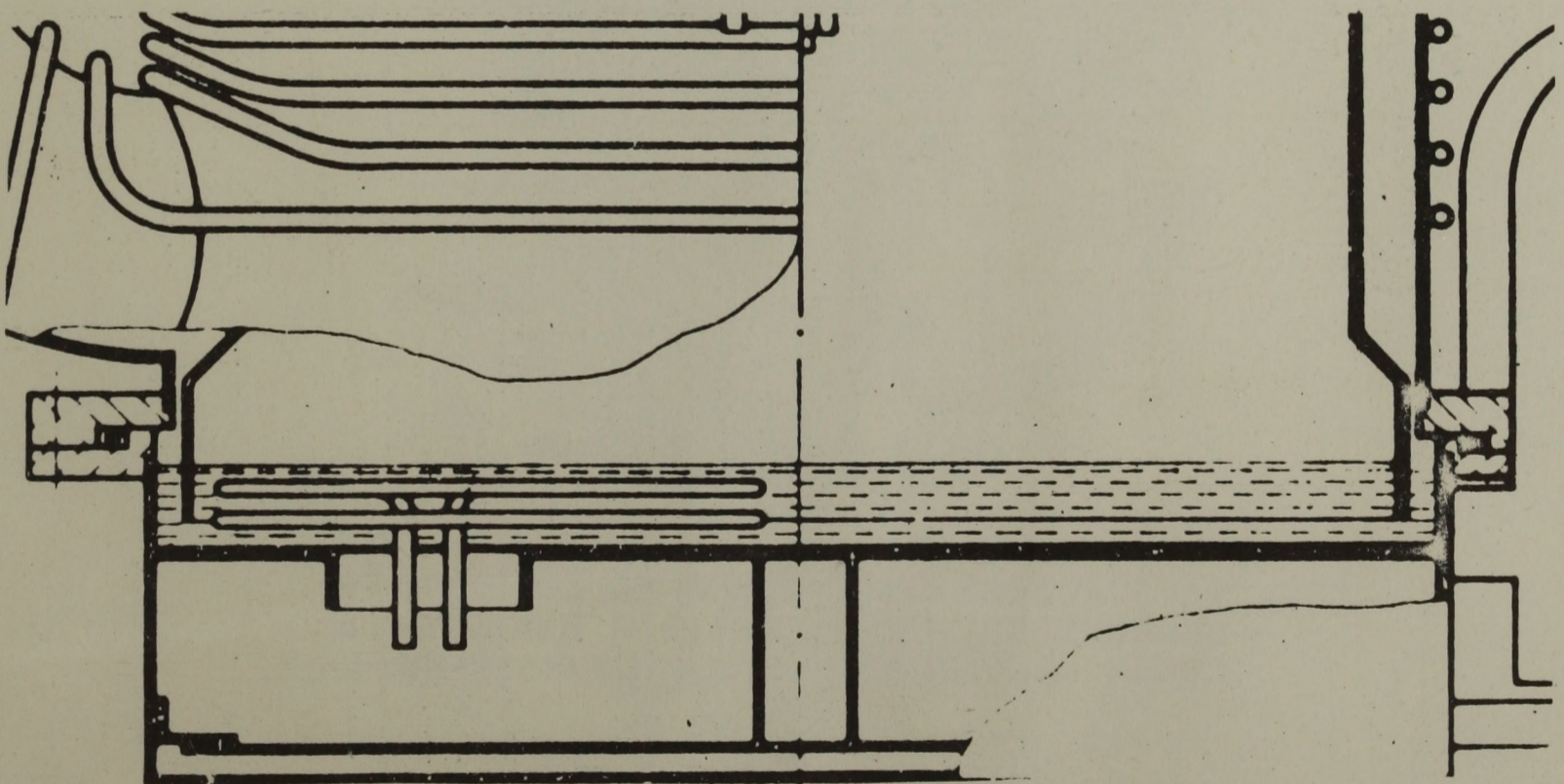


Рис. 46 Внутренний нагреватель рабочей жидкости в насосах серии Leybojet фирмы Leybold-Heraeus.

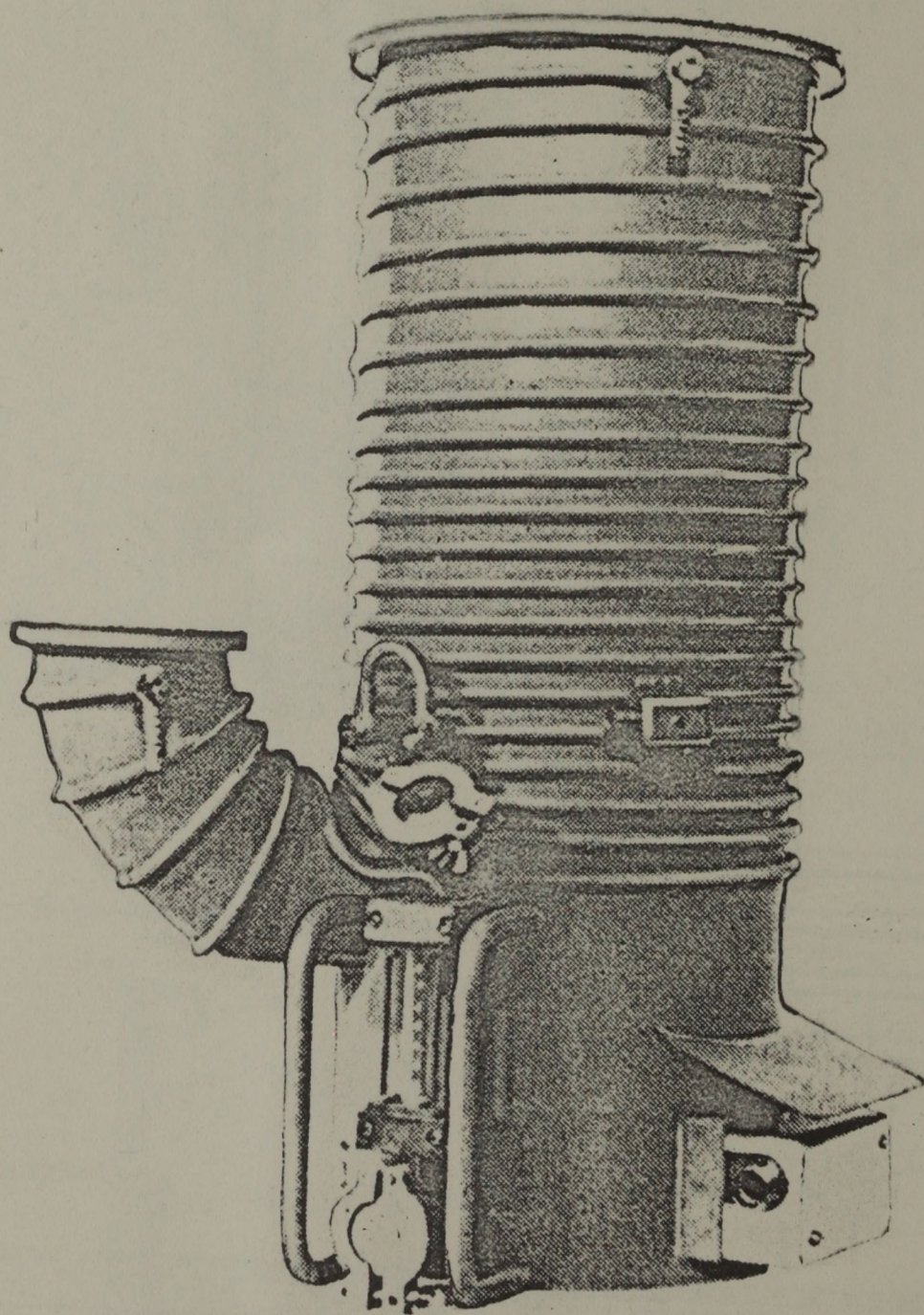


Рис. 47 Система охлаждения из 2^х циркуляционных кругов-верхнего и нижнего- в серии Leybojet фирмы Leybold-Heraeus.

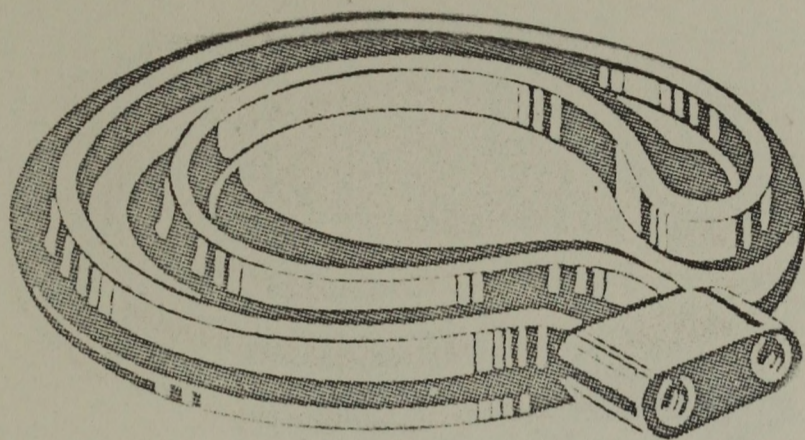


Рис. 48 Специальный змеевик для быстрого охлаждения кипятильника в насосах-ДИ-серии фирмы Leybold-Heraeus.

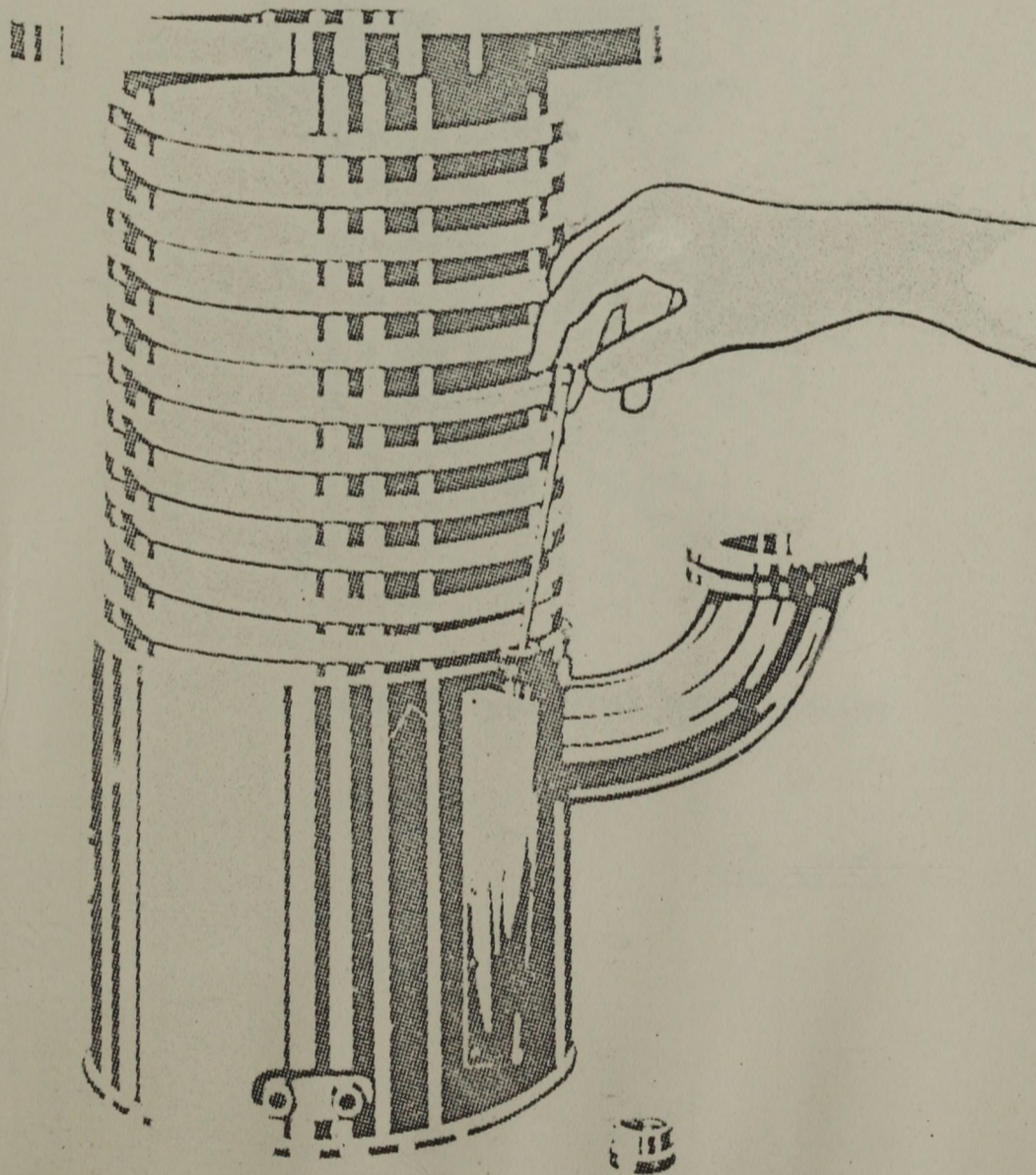
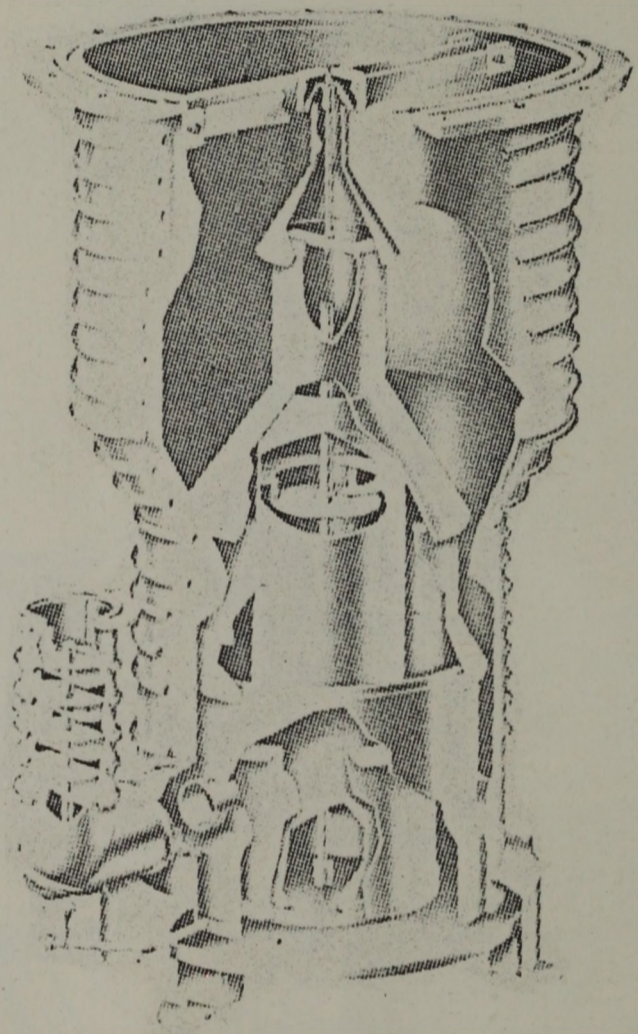


Рис. 49 Измеритель уровня масла в насосах серии - ДІ- фирмы Leybold-Heraeus.



Model F3605 Diffusion Pump

FIG. 50

Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Vályi Nagy József, a Gépészeti
Műszaki Tudományos Tanácsának Elnöke
Szakmai lektor: Szulyovszky Andor
Nyelvi lektor: Vértés Péter
Példányszám: 130 Törzsszám: 72-6289
Készült a KFKI sokszorosító üzemben, Budapest
1972. február hó

