

24/4-72

сп-536

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1380/9-72

13 - 6281



А.Н.Филипсон, А.И.Иваненко

УЛУЧШЕНИЕ ВАКУУМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДИФФУЗИОННЫХ АГРЕГАТОВ ТИПА ВА-8-4

ИЗДАНИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

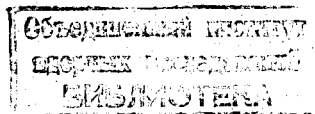
1972

13 - 6281

А.Н.Филипсон, А.И.Иваненко

УЛУЧШЕНИЕ ВАКУУМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДИФФУЗИОННЫХ АГРЕГАТОВ ТИПА ВА-8-4

Направлено в ПТЭ



Выпускаемые промышленностью вакуумные агрегаты типа ВА-8-4 с ловушками, охлаждаемыми жидким азотом или фреоновыми холодильными машинами, имеют следующие предельные характеристики по вакууму:

а) с ловушкой, охлаждаемой жидким азотом P пред. $= 5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.;

б) без азотной ловушки P пред. $= 5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

Агрегат типа ВА-8-4 с установленной ловушкой имеет скорость откачки $S = 2500$ л/сек, а без ловушки - $S = 4000$ л/сек ^{/1/}.

С целью улучшения вакуумных характеристик агрегатов, надежности их работы и облегчения условий эксплуатации в конструкцию насоса и режимы его работы авторами были внесены изменения.

Испытания работы агрегатов и снятие вакуумных характеристик проводились на стенде и непосредственно в эксплуатации. Вакуум измерялся ионизационными манометрическими лампами типа ЛМ-2 и приборами ВИТ-2. Предварительное разрежение на выходе агрегата создавалось с помощью насоса типа ВН-1. В диффузионных насосах в качестве рабочей жидкости применялось вакуумное масло марки ВМ-5.

Откачиваемый объем не прогревался, в качестве уплотнений применялась вакуумная резина (ТУ МХП 7889).

Известно, что молекулы органических рабочих жидкостей для диффузионных вакуумных насосов имеют сложное химическое строение и представляют собой смесь фракций, упругость паров которых лежит в определенном интервале давлений. Часть фракций и летучих примесей не устраняется в процессе производства масла, а также образуется при работе в результате постепенного разложения (крекинга) масла в кипятильнике насоса. Количество этих фракций и примесей мало, но покидая сопла насосов они мигрируют обратно в откачиваемый объем. Поэтому величина предельного вакуума, создаваемого диффузионным насосом, находится в прямой зависимости от приемов эффективного удаления легких фракций и летучих примесей, присутствующих в исходной рабочей жидкости, а также образующихся в процессе работы насоса ^{/3/}.

Применение принципа фракционирования в серийно выпускаемых насосах позволяет устойчиво получать вакуум без вымораживания ловушек $P = (2-5) \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

Одним из условий повышения предельного вакуума, получаемого диффузионными насосами, является хорошее обезгаживание конденсата, стекающего по холодной стенке корпуса насоса и вынос газа в линию предварительного разрежения. Для выполнения этого условия на выходе агрегата дополнительно установлен диффузионный бустерный насос типа БН-3. Схема его установки представлена на рис. 1.

При наибольшем газовом потоке через агрегат ВА-8-4, равном $Q = 5000$ л/сек, во всем рабочем диапазоне от $P = 5 \cdot 10^{-7}$ до $P = 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. наибольшая величина газового потока через БН-3 составляет $Q = 50$ л/сек.

Уменьшение газовой нагрузки позволило снизить мощность подогрева корпуса насоса БН-3 с $W = 3500$ до 2000 ватт. В качестве рабочей жидкости применено диффузионное масло ВМ-5 (то же, что и в основном насосе). Зависимость входного давления БН-3 от мощности подогрева представлена на рис. 2.

При мощности подогрева $W = 2400$ ватт обеспечивается высокое выходное давление агрегата в целом, равное $5 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст. Выше этого давления начинается ухудшение вакуума на входе в ВА-8-4 за счет противодиффузии газов со стороны предварительного разрежения. Относительно большая мощность подогрева не исключает вероятности термического разложения масла и миграции его легких фракций в основной насос.

При мощности подогрева бустера $W = 1800$ ватт предельный вакуум на входе соответствовал величине $P = 8 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст., но заметно ухудшились условия работы агрегата в целом, при больших газовых потоках. Противодиффузия газов со стороны предварительного разрежения начиналась при входном давлении $P = (1-1,5) \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.

Оптимальная мощность подогрева бустерного насоса в режиме совместной работы с насосом ВА-8-4 в рабочих диапазонах давлений принята $W = 2000$ ватт.

Установка второго диффузионного насоса на выходе высоковакуумного агрегата способствовала значительному снижению противодиффузии газов со стороны выпускного давления, особенно в режиме работы на предельно достижимые разрежения. Необходимо также отметить, что при такой схеме работы насосов сводится до минимума возможность миграции масла с высокой упругостью пара со стороны форвакуумного насоса в основной высоковакуумный насос.

Получение устойчивого низкого давления на выходе основного диффузионного насоса позволило отказаться от выходного эжекторного сопла. В агрегате ВА-8-4 эжекторные сопла демонтированы, пароподводящие устройства сняты, а выходные отверстия в нижней части паропровода насоса Н-8Т заглушены.

Мощность подогрева насоса Н-8Т уменьшена до $W = 2400$ ватт, что способствовало повышению предельного вакуума агрегата при сохранении скорости откачки $S = 4000$ л/сек во всем рабочем диапазоне давлений. Зависимости давления в объеме от времени откачки и мощности подогрева насоса представлены на рис. 3. Снижение мощности подогрева насоса Н-8Т и установка на выходе бустера БН-3 с измененным режимом работы уменьшило количество масла, пролетающего из вакуумного агрегата в откачиваемый объем. В сечении входного фланца устанавливалась пластина $\phi = 500$ мм и проводилась оценка количества масла, сконденсированного на поверхности при различных режимах работы агрегата. При работе вакуумного агрегата в течение $T = 96$ часов ($W = 2400$ ватт) был получен предельный вакуум $P = 2,8 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. Вымораживание манометрической лампы ЛМ-2 жидким азотом снизило показания прибора до $P = 1 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. При мощности подогрева $W = 2800$ ватт предельный вакуум был $P = 5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. Лампа ЛМ-2 с азотом показала предельное давление $P = 2 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. При $W = 3300$ ватт показания соответственно составили $8 \cdot 10^{-7}$ и $3,5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.

Опыт эксплуатации циклотрона подтверждает, что после установки усовершенствованных агрегатов типа ВА-8-4 без охлаждаемых ловушек в ускорителе не возникает плазменный разряд, обусловленный существованием в резонаторе высокочастотного резонансного разряда и наличием паров масла в объеме /4/.

В /3/ обращается внимание на зависимость остаточного давления диффузионного вакуумного насоса от температуры воды, охлаждающей корпус насоса и отражатель масла (см. рис. 3).

На агрегатах ВА-8-4, выпускаемых промышленностью, рубашки охлаждения, подвергаясь постоянному процессу коррозии, часто закупориваются, что приводит к местному перегреву корпуса. С целью исключения таких случаев рубашки охлаждения корпуса насоса заменялись змеевиком из медной трубки $\phi = 14$ мм. На нижнем витке трубки охлаждения устанавливается термодатчик, автоматически выключающий печи агрегата при повышении температуры воды на $10 - 15^{\circ}\text{C}$ от допустимой величины.

На рис. 5 представлена динамическая характеристика выхода агрегата ВА-8-4 на предельный вакуум при тренированном вакуумном объеме (в течение 72 часов работы) после кратковременного ухудшения вакуума в нем до давления $P = 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

На стенде вакуумных испытаний была снята зависимость скорости откачки агрегата от давления. Поток газа подавался в откачиваемый объем через игольчатый вентиль, установленный в сечении входного фланца (см. рис. 1). Для равномерного рассеивания газового потока по всему сечению фланца в патрубке устанавливались две тонкие металлические пластины с множеством равномерно расположенных отверстий $\phi = 5$ мм. Графики скорости откачки агрегата ВА-8-4 представлены на рис. 6. Кривая 1 - скорость откачки агрегата ВА-8-4 с мощностью подогрева основного насоса Н-8Т $W = 2400$ ватт с установленным на выходе бустерным насосом БН-3. Для сравнения приведены графики скорости откачки в диапазоне давлений от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. для вакуумного агрегата ВА-8-4 без изменений в схеме откачки (кривая 2) и для агрегата с ловушкой жалюзного типа, охлаждаемой жидким азотом (кривая 3).

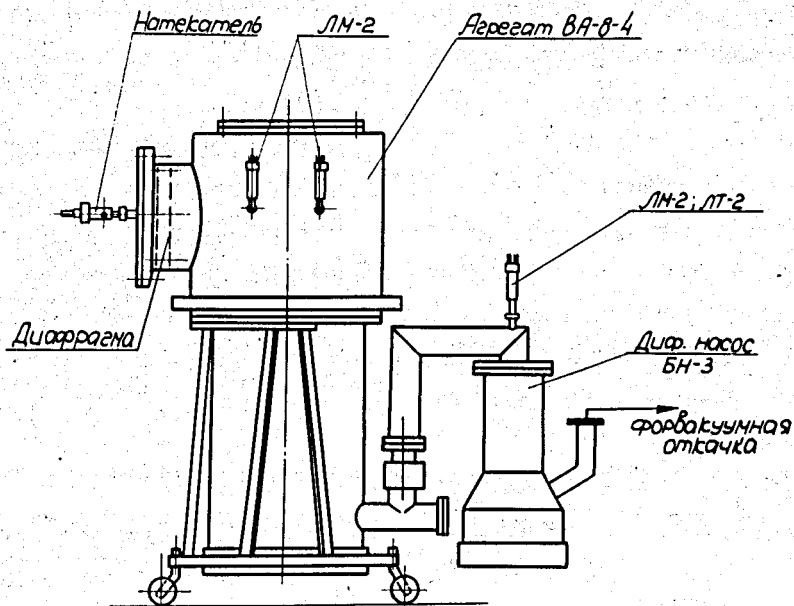


Рис. 1. Схема вакуумного агрегата ВА-8-4 с насосом БН-3.

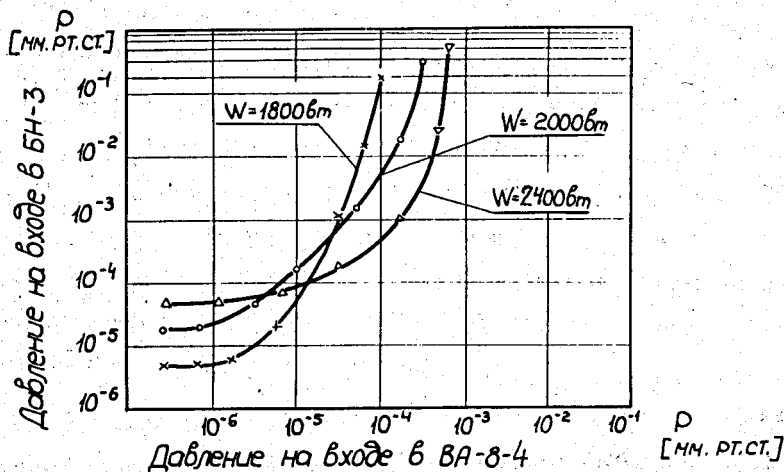


Рис. 2. Зависимость входного давления насоса БН-3 от давления на входе в агрегат ВА-8-4 при разной мощности нагревателя БН-3.
 1. $W = 1800$ вт; 2. $W = 2000$ вт; 3. $W = 2400$ вт.

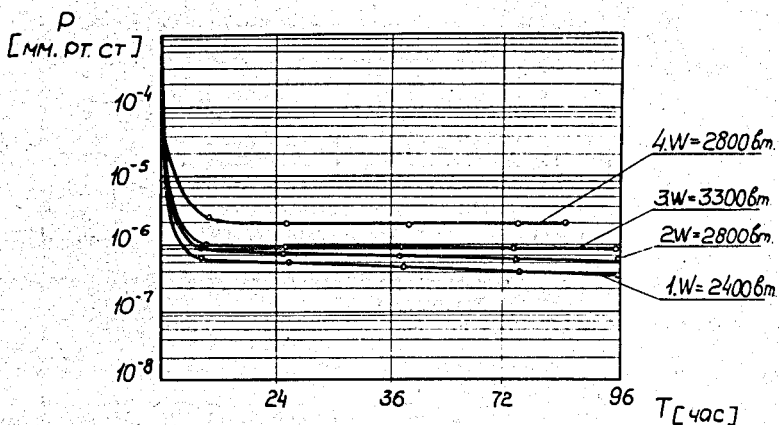


Рис. 3. Зависимость давления в объеме от времени откачки и мощности нагревателя насоса Н-8Т. 1. $W = 2400$ Вт; 2. $W = 2800$ Вт; 3. $W = 3300$ Вт. 4. Вакуумная характеристика агрегата ВА-8-4 в заводском исполнении без ловушки.

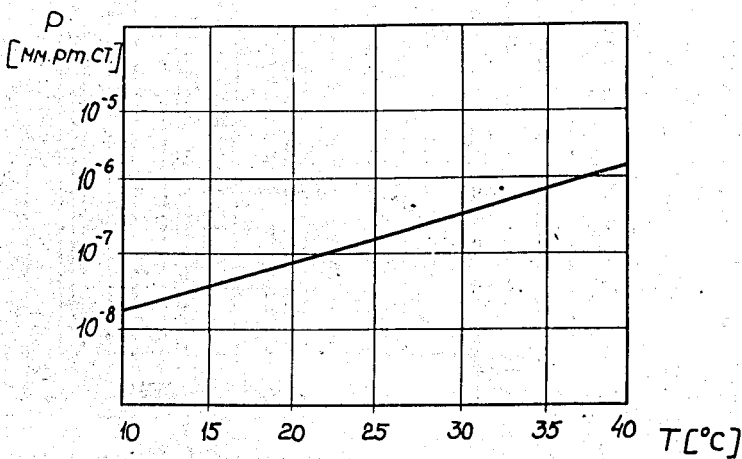


Рис. 4. Зависимость остаточного давления диффузионного насоса от температуры воды, охлаждающей корпус насоса и отражатель масла.

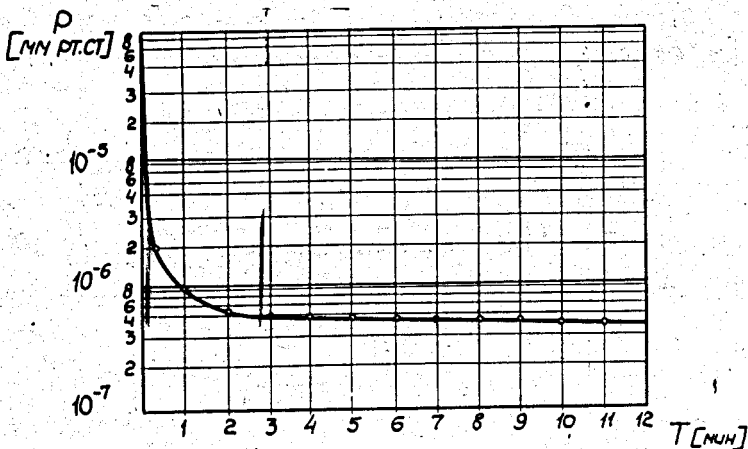


Рис. 5. Динамическая характеристика выхода агрегата ВА-8-4 на предельный вакуум с давления в объеме $P = 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

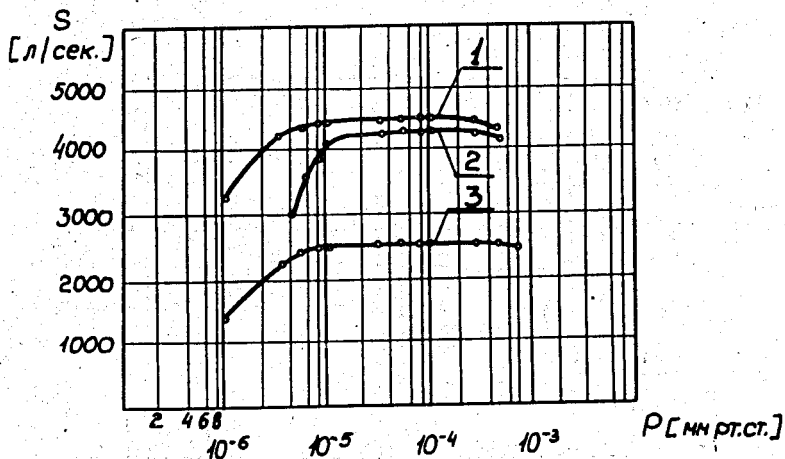


Рис. 6. График скорости откачки агрегата ВА-8-4 в сечении входного фланца. 1. Вакуумный агрегат ВА-8-4 с буферным насосом БН-3 на выходе и оптимальным режимом работы нагревателей. 2. Вакуумный агрегат ВА-8-4 в заводском исполнении (с демонтированной ловушкой). 3. Вакуумный агрегат ВА-8-4 в заводском исполнении с ловушкой жалюзной, охлаждаемой жидким азотом.

В момент разгона насосов или их остановки режим работы паровой струи становится неустойчивым ввиду некоторого интервала во времени процесса нагревания или остывания рабочей жидкости. При этом происходит кратковременное выравнивание давления во всем вакуумном объеме от диффузионного насоса до форвакуумного.

Пары форвакуумного масла, летучие примеси и т.п. попадают в корпус высоковакуумного диффузионного агрегата.

Во избежание этого разгонка и выключение диффузионного агрегата осуществляются с закрытым шиберным затвором и вентилем на линии предварительного разрежения, установленного вблизи вакуумного агрегата.

Это способствует удлинению срока работы агрегата с предельными вакуумными характеристиками.

Выводы

Установка бустерного насоса БН-3 с уменьшенной мощностью подогрева и применением в качестве рабочей жидкости диффузионного масла марки ВМ-5, а также подбор оптимального режима работы нагревателя насоса Н-8Т позволили значительно улучшить вакуумные характеристики агрегатов типа ВА-8-4 без применения вымораживающих ловушек, что упростило условия эксплуатации вакуумного оборудования на циклотронах.

Авторы приносят благодарность академику Г.Н. Флерову за постановку задачи и постоянное внимание к вопросам вакуума в ускорителях, Б.А. Загеру за полезные замечания при подготовке статьи, сотрудникам вакуумной группы П.В. Гутник и К.Д. Туманову за помощь в работе.

Литература

1. Вакуумные системы и их элементы (Машиностроение", 1968 г.).
2. А.Б. Цейтлин. "Вакуумные пароструйные насосы". Энергия, 1964.
3. Б.Д. Пауэр. Высоковакуумные откачные устройства. Энергия, 1969.
4. Б.А. Загер, В.Г. Тишин. ЖТФ, том XXXIII, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 февраля 1972 года.