

Применение встроенного магнитного электроразрядного насоса в процессе откачки ЭВП

© С.А. Вашин, Г.Ф. Корепин, Н.Н. Климова, Д.Н. Брылёва

info@istokmw.ru

АО «НПП «Исток» им. Шокина», РФ, 141190 Московская обл.,
г. Фрязино, ул. Вокзальная, д.2а

В работе рассмотрены некоторые проблемы, которые возникают в процессе откачки и обезгаживания ЭВП на откачном посту. Показаны способы контроля процесса откачки, возможности применения магнитного электроразрядного насоса (МЭН) в качестве средства откачки и преобразователя давления, определения давления, соответствующего молекулярному течению газа в ЭВП на любом этапе откачки, оптимизации некоторых процессов откачки, измерения проводимости вакуумной системы откачного поста.

S. A. Vashin, G. F. Korepin, N. N. Klimova, D.N. Bryleva. The paper considers some problems that arise in the process of evacuation and degassing of the EVD on the pumping station. The methods for controlling the pumping process are shown, the possibility of using a magnetic electric discharge pump (MEP) as a pumping means and a pressure transducer, determining the pressure corresponding to the molecular flow of gas in the EVD at any stage of evacuation, optimizing some pumping processes, measuring conductivity of the vacuum system of the pumping station.

В процессе откачки ЭВП возникает ряд проблем и задач, которые необходимо решить:

- какой уровень максимально допустимого давления газа может быть допустим в ЭВП в процессе откачки на любом ее этапе, при этом давление должно измеряться преобразователем вакуумной системы в том числе и при температуре обезгаживания ЭВП;
- как обеспечить молекулярное или иное течение газа в ЭВП и в вакуумной системе[1];
- как контролировать достаточность обработки катодно-подогревательного узла или другого конструктивного элемента ЭВП;
- что и каким образом может соответствовать достаточности обезгаживания ЭВП в процессе откачки и обезгаживания до отпайки прибора с откачного поста;
- каким образом температура влияет на изменение режима течения газа непосредственно в ЭВП и как это проконтролировать;
- как влияют габаритные размеры ЭВП на процесс его откачки и обезгаживания;
- каким образом может изменяться температура отдельных конструктивных элементов ЭВП в процессе откачки и обезгаживания прибора;
- насколько сильно влияние обратного потока газа на результат откачки ЭВП[2,3];
- как оценить влияние миграции газа в ЭВП при вводе его в эксплуатацию после длительного хранения;

Применение встроенного магнитного электроразрядного насоса в процессе откачки ЭВП [Электронный ресурс] / С.А. Вашин, Г.Ф. Корепин, Н.Н. Климова, Д.Н. Брылёва // Вестник РВО. – 2019. – № 1 (23.03.2019). – Режим доступа: <https://www.vestnik-rvo.ru/ru/issues/2019-01/179/>

- как повысить чувствительность течеискания в процессе откачки ЭВП [4,5];
- каким образом поверхностно адсорбированные газы могут влиять на развитие электрического пробоя между электродами [6,7]?

Очевидно, что практически все поставленные вопросы, так или иначе, связаны с измерением давления газа в процессе откачки непосредственно в самом ЭВП или высоковакуумным преобразователем откачного поста с использованием известных методов расчета вакуумных систем.

Упрощенная эквивалентная схема откачки ЭВП представлена на рис.1. На данной схеме не показаны некоторые элементы: например, вакуумные клапана, переходы, особенности их конструкции, которые оказывают непосредственное влияние на проводимость вакуумной системы откачки ЭВП.

Известно, что нежелательные процессы окисления некоторых деталей ЭВП при его обезгаживании могут происходить в том случае, если в ЭВП не соблюдается режим молекулярного течения газа [1, 2]. Произведение давления газа на характерный размер конструктивного элемента ЭВП не должно превышать $0,004 \text{ Па} \cdot \text{м}$ [3, 8], то есть:

$$P_{\text{макс}} d \leq 0,004 \text{ Па} \cdot \text{м} \quad (1)$$

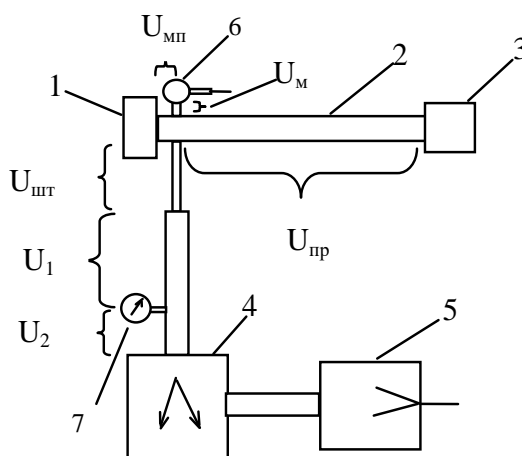


Рис.1. Эквивалентная вакуумная схема откачки ЭВП

(1 – электронная пушка; 2 – замедляющая система; 3 – коллектор ЭВП; 4 – высоковакуумный насос; 5 – форвакуумный насос; 6 – МЭН; 7 – преобразователь. Проводимости: $U_{\text{шт}}$ – штенгеля; $U_{\text{мп}}$ – прибор - пушка; $U_{\text{м}}$ – прибор - МЭН; $U_{\text{пр}}$ – штенгель - коллектор; U_1 – штенгель - преобразователь; U_2 – преобразователь - высоковакуумный насос откачного поста).

Согласно схеме рис.1 наибольшее давление газа будет в области коллектора 3. Так как при обезгаживании ЭВП возможен контроль давления газа только преобразователем 7, то для дальнейших расчетов необходимо знать быстроту $S_{\text{д}}$ откачки в области преобразователя

$$S_{\text{д}} = \frac{S_{\text{н}} + U_2}{S_{\text{н}} U_2} \quad (2)$$

Применение встроенного магнитного электроразрядного насоса в процессе откачки ЭВП [Электронный ресурс] / С.А. Вашин, Г.Ф. Корепин, Н.Н. Климова, Д.Н. Брылёва // Вестник РВО. – 2019. – № 1 (23.03.2019). – Режим доступа: <https://www.vestnik-rvo.ru/ru/issues/2019-01/179/>

Тогда давление газа в приборе в области, примыкающей к штенгелю, составит:

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{д}} S_{\text{д}}}{S_{\text{пр}}} \quad (3)$$

Давление газа в коллекторе, соответствующее молекулярному течению газа, определяется формулой (4), а давление газа в области преобразователя 7 формулой (5):

$$P_{\text{кол}} = \frac{P_{\text{д}} S_{\text{д}}}{S_{\text{кол}}} \leq \frac{0,004}{d_{\text{кол}}} \quad (4)$$

$$P_{\text{д}} \leq \frac{S_{\text{кол}}}{S_{\text{д}}} \frac{0,004}{d_{\text{кол}}} \quad (5)$$

Так как измерение давления газа проводится по показаниям преобразователя, который находится при комнатной температуре, а соблюдение режима молекулярного течения следует обеспечить в ЭВП, который обезгаживается, то в показаниях преобразователя необходимо учесть фактор нагрева ЭВП. Поэтому давление $P_{\text{кол}}$ может быть сравнено с давлением $P_{\text{д}}$ в предположении действия только явления транспирации по формуле (в предположении равновесного состояния без учета потока газа при обезгаживании ЭВП):

$$\frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{кол}}} = \sqrt{\frac{T_{\text{д}}}{T_{\text{кол}}}} \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что измеряемое давление $P_{\text{д}}$ будет несколько занижено по отношению к $P_{\text{кол}}$ и предыдущие формулы (4) и (5) будут иметь ошибки. Однако проводимости ЭВП вместе со штенгелем обычно много меньше проводимостей каналов вакуумной системы откачного поста. Следовательно, основную роль в изменении проводимостей общей системы откачиваемый прибор – вакуумная система определяются температурными условиями прибора. В общем виде проводимость может быть представлена формулой:

$$U = A \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (7)$$

Согласно формулам (6) и (7) можно допустить, что во сколько раз занижается давление $P_{\text{д}}$ при разогреве ЭВП, примерно во столько же раз увеличивается проводимость за счет изменения проводимости ЭВП со штенгелем при повышении температуры. Таким образом, два явления понижение измеряемого давления и повышение проводимости прибора и штенгеля откачиваемого прибора взаимно компенсируют друг друга и в расчет для определения перепада давления между коллектором и преобразо-

вателем откачного поста могут не учитываться. Если проводимости штенгеля и прибора сравнимы с проводимостью вакуумной системы U_1 и U_2 , то принятое допущение неверно и требуются уточняющие расчеты.

Очевидно в формулы (4) и (5) следует внести уточнение в связи с изменением длины свободного пути молекул при повышении температуры [3], что определяется формулой:

$$L_T = L_1 \frac{T^2(T_1 + C)}{T_1^2(T + C)} \quad (8)$$

Если провести соответствующие расчеты, то формула (5) по воздуху для температуры обезгаживания ЭВП 400°C и 500°C соответственно с учетом коэффициента $K_{зап}$, отвечающего изменению проводимости при повышенной температуре ЭВП, будет иметь вид:

$$P_d \leq K_{зап} \frac{S_{кол}}{S_d} \frac{0,004}{d_{кол}} \leq \frac{S_{кол}}{S_d} \frac{0,0122}{d_{кол}} \quad (9)$$

$$P_d \leq K_{зап} \frac{S_{кол}}{S_d} \frac{0,004}{d_{кол}} \leq \frac{S_{кол}}{S_d} \frac{0,0131}{d_{кол}} \quad (10)$$

Для разработки процесса откачки следует знать габаритные размеры каналов откачки, чтобы рассчитать проводимости, что далеко не всегда известно. Поэтому требуется простой способ определения таких проводимостей для расчета давлений $P_{пр}$ и $P_{кол}$.

Давление в приборе может быть вычислено по броску тока встроенного в ЭВП магнитного электроразрядного МЭН во время его включения, но при этом давление должно определяться только газом вакуумного объема без учета десорбированного газа со стенок разрядной ячейки насоса в момент включения насоса. Этому давлению, как правило, соответствует давление выше 10^{-4} Па. Следовательно, необходимо выбрать такую часть технологического процесса откачки ЭВП, при котором такое давление может иметь место. Одновременно при отсутствии выделения газа необходимо, чтобы давление газа было не менее, чем на 1 – 2 порядка ниже, чем в процессе обезгаживания ЭВП. При этом давление, например, в приборе, в области, примыкающей к штенгелю, может быть определено по формуле:

$$P_{пр} = K \cdot I_{макс \text{ МЭН}} \quad (11)$$

Таким образом, формула (3) становится полностью определенной.

Откачиваемые мощные ЭВП по типу «вакуум в вакууме», у которых обработка катода производится при высокой температуре, часто нельзя охладить до требуемой температуры при одновременной работе цепи накала катода из-за высокой мощности, рассеиваемой подогревателем ЭВП. В этой связи представляет интерес вопрос о сорб-

Применение встроенного магнитного электроразрядного насоса в процессе откачки ЭВП [Электронный ресурс] / С.А. Вашин, Г.Ф. Корепин, Н.Н. Климова, Д.Н. Брылёва // Вестник РВО. – 2019. – № 1 (23.03.2019). – Режим доступа: <https://www.vestnik-rvo.ru/ru/issues/2019-01/179/>

ции обратного потока газа катодно-подогревательным узлом при снижении температуры ЭВП с отключенным накалом катода или при выдержке ЭВП после снижения температуры.

На рис.2 приведены примеры выделения газа катодом при его нагреве после выдержки ЭВП в течение разного времени без включения рабочего режима накала катода. Оба прибора откачаны по одной и той же технологии, в том числе подогреватель катода отключен при 300°C , ЭВП охлаждался до 100°C при снижении температуры печи. Затем проводилось охлаждение приборов после напуска в вакуумную камеру откачного поста атмосферного газа, причем на приборе, обозначенном а), выдержка ЭВП в атмосфере составила 27 часов, а на приборе б) – 30 минут. Из графиков следует, что воздействие обратного потока на ЭВП может легко контролироваться как преобразователем откачного поста, так по показаниям встроенного МЭН. Альтернативой показанным негативным процессам может быть только оптимизация времени выключения накала катода и по возможности последующая быстрая отпайка прибора с откачного поста, а также интенсификация скорости охлаждения ЭВП и другие мероприятия, снижающие действие обратного потока.

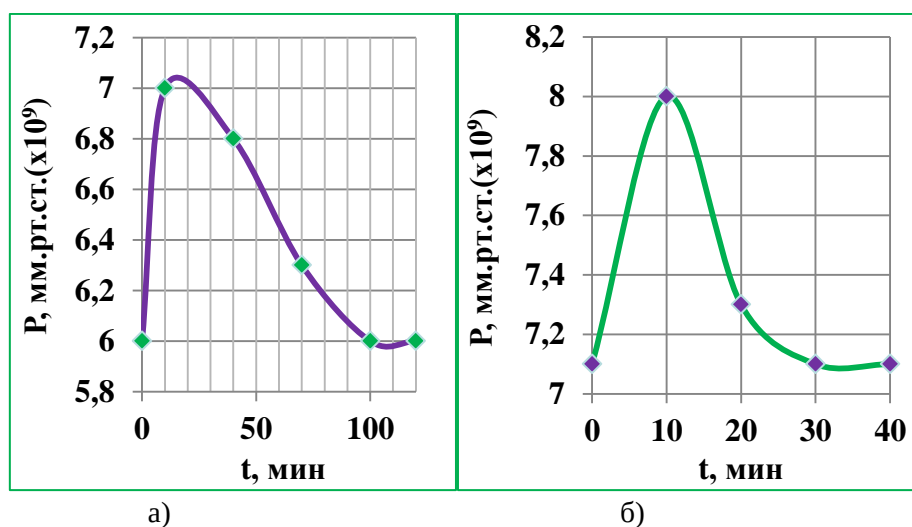


Рис.2. Десорбция газа при нагреве катода после выдержки ЭВП при температуре ниже 100°C в течение: а) - 27 часов; б) - 30 минут.

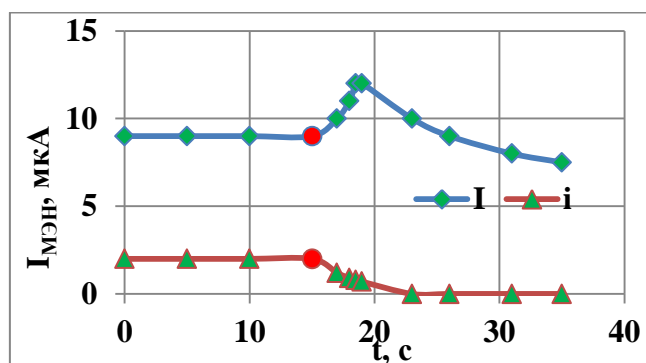


Рис.3. Изменение тока встроенного в ЭВП магнитного электроразрядного насоса после отключения нагрева катода (момент отключения отмечен точкой).

Другим примером успешного применения встроенного МЭН может быть его применение в качестве датчика давления при поиске течей ЭВП в процессе их откачки, особенно после проведения обезгаживания и снижения температуры ЭВП. Так как быстрота откачки МЭН много меньше, чем быстрота откачки высоковакуумного насоса откачного поста, то чувствительность течеискания по показаниям тока МЭН может быть выше, чем при использовании преобразователя откачного поста.

В том случае, если в отпаянном ЭВП после проведения его откачки наблюдается повышение тока МЭН при отключении накала катода, а затем снижение ниже уровня этого тока, предшествующему отключению цепи накала, то имеет место повышенный поток газа из КПУ, следовательно, имеет место недостаточный уровень его обезгаживания (верхняя кривая рис.3).

Выводы

Встроенный в ЭВП магнитный электроразрядный насос может быть успешно использован не только для целей откачки и измерения давления газа в вакуумном объёме прибора, но и для других целей:

- построения оптимального технологического процесса откачки и обезгаживания ЭВП;
- исследований адсорбции газа откачиваемого и откачанного ЭВП;
- течеискания откачиваемого прибора;
- оценки достаточности обезгаживания отдельных узлов ЭВП;
- оценки влияния обратного потока газов вакуумной системы на ЭВП и введения соответствующей корректировки в технологический режим откачки и обезгаживания;
- оценки парциального состава газов и качественных показателей вакуумной системы откачного поста.

Дополнительные возможности использования встроенного магнитного электроразрядного насоса открываются после отпайки ЭВП с откачного поста.

Литература

1. Корепин Г.Ф. Проблемы откачки металлокерамических ЭВП СВЧ / Г.Ф. Корепин // Электронная техника. Сер.1. СВЧ - техника. – 2008. – № 4. – С. 23–46.
2. Черепнин Н.В.. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике./Н.В. Черепнин // – М.: Советское радио, 1967. – С. 408.
3. Розанов Л.Н. Вакуумная техника./Л.Н. Розанов // – М.: Высшая школа, 2007. – С.391.
4. Корепин Г.Ф. Ограничение чувствительности течеискания отпаянных ЭВП / Г.Ф. Корепин //Вакуумная техника и технология. – Тезисы докладов Всероссийского семинара «Вакуумная техника и технология-2006». – Санкт-Петербург. – Т.16, № 1. – 2006. – С.23 – 24.
5. Корепин Г.Ф. О применении магнитных электроразрядных насосов ЭВП СВЧ / Г.Ф.Корепин// Вакуумная техника и технология. – Тезисы докладов научно-технической конференции «Вакуумная техника и технология-2011». – Санкт-Петербург. – 2011. – Т.21, № 2. – С.80 – 82.
6. Корепин Г.Ф. Стоки и истоки поверхностных газов отпаянных ЭВП / Г.Ф. Корепин, А.Н. Юнаков // Вакуумная техника и технология. – 2010. – Т.20, №2. – С. 71–76.

Применение встроенного магнитного электроразрядного насоса в процессе откачки ЭВП [Электронный ресурс] / С.А. Вашин, Г.Ф. Корепин, Н.Н. Климова, Д.Н. Брылёва // Вестник РВО. – 2019. – № 1 (23.03.2019). – Режим доступа: <https://www.vestnik-rvo.ru/ru/issues/2019-01/179/>

7. Корепин Г.Ф. Особенности эксплуатации магнитных электроразрядных насосов / Г.Ф.Корепин // Электронная техника. Сер.1. СВЧ – техника. Выпуск 3(518). – Труды юбилейной конференции 70-летию ФГУП «НПП «Исток». – часть 1 – 2013. – С.259 – 265
8. Деулин Е.А. Физика вакуумной механики / Е.А. Деулин // М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – С.284.