Отчет о выполнении лабораторной работы 2.3.1

Получение и измерение вакуума

Выполнил Зинин Иван

ФРКТ Б01-104

**Цель:** 1) измерение объёмов форвакуумной и высоковакуумной частей установки; 2) определение скорости откачки системы в стационарном режиме, а также по ухудшению и по улучшению вакуума.

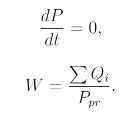
**Оборудование:** вакуумная установка с манометрами: масляным, термопарным и ионизационным.

**Теоретическая часть**

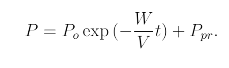
Производительность насоса определяется скоростью откачки W (л/с): W — это объем газа, удаляемого из сосуда при данном давлении за единицу времени. Скорость откачки форвакуумного насоса равна емкости воздухозаборной камеры, умноженной на число оборотов в секунду. Рассмотрим обычную схему откачки. Разделим вакуумную систему на две части: «откачиваемый объем» (в состав которого включим используемые для работы части установки) и «насос», к которому, кроме самого насоса, отнесем трубопроводы и краны, через которые производится откачка нашего объема. Обозначим через Qd количество газа, десорбирующегося с поверхности откачиваемого объема в единицу времени, через Qi — количество газа, проникающего в единицу времени в этот объем извне — через течи. Будем считать, что насос обладает скоростью откачки W и в то же время сам является источником газа; пусть Qn — поток газа, поступающего из насоса назад в откачиваемую систему. Будем измерять количество газа Qd, Qi и Qn в единицах PV (легко видеть, что это произведение с точностью до множителя RT/μ равно массе газа). Основное уравнение, описывающее процесс откачки, имеет вид



Левая часть этого уравнения равна убыли газа в откачиваемом объеме V, а правая определяет количество газа, уносимого насосом, и количество прибывающего вследствие перечисленных выше причин за время dt. При достижении предельного вакуума (давление Ppr)

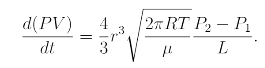


Обычно Qi постоянно, a Qn и Qd слабо зависят от времени, поэтому в наших условиях все эти члены можно считать постоянными. Считая также постоянной скорость откачки W, основное уравнение можно проинтегрировать и получить

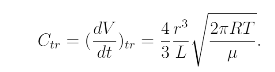


**Течение газа через трубу**

Характер течения газа существенно зависит от соотношения между размерами системы и длиной свободного пробега молекул. При атмосферном давлении и даже при понижении давления до форвакуумного длина свободного пробега меньше диаметра трубок и течение откачиваемого газа определяется его вязкостью, т. е. взаимодействием его молекул. При переходе к высокому вакууму картина меняется. Столкновения молекул между собой начинают играть меньшую роль, чем соударения со стенками. Течение газа в трубе напоминает в этих условиях диффузию газа из области больших концентраций в области, где концентрация ниже, причем роль длины свободного пробега играет ширина трубы. Для количества газa, протекающего через трубу в условиях высокого вакуума или, как говорят, в кнудсеновском режиме, справедлива формула



Применим эту формулу к случаю, когда труба соединяет установку с насосом. Пренебрежем давлением P1 у конца, обращенного к насосу. Будем измерять количество газа, покидающего установку при давлении P = P2. Пропускная способность трубы



Мы видим, что пропускная способность зависит от радиуса трубы в третьей степени и обратно пропорциональна ее длине. В вакуумных установках следует поэтому применять широкие короткие трубы.

При расчете вакуумных систем нужно принимать во внимание также пропускную способность отверстий, например, в кранах. Для диффузионного насоса можно считать, что каждая молекула воздуха, попавшая в кольцевой зазор между соплом и стенками насоса, увлекается струей пара и не возвращается обратно в откачиваемый объем. Скорость откачки такого насоса можно считать равной пропускной способности отверстия с площадью, равной площади кольцевого зазора, т. е. насос качает как кольцевой зазор, с одной стороны которого расположен откачиваемый объем, а с другой -- пустота.

**Модель эксперимента**

1) Определим объемы форвакуумной и высоковакуумной частей установки. Сначала впустим атмосферу в установку. Запрем воздух при комнатных условиях в капилляре между кранами 5 и 6. После этого откачаем воздух из оставшейся части установки (сделав это в два этапа - сначала насос должен откачать сам себя, а только потом - установку). После этого мы сначала высвободим запертый воздух только в ФВ часть, а затем добавим к ней и ВВ. Тогда записав уравнение Менделеева-Клапейрона и зная объем капилляра, мы найдем объемы соответствующих частей установки:



где P0 -- атмосферное давление; V0 -- объем капилляра и кранов 5 и 6; Pвв -- установившееся давление; Vфв и Vвв -- соотвественно объемы форвауумной и высоковакуумной частей.

2) Для измерения скорости откачки диффузионного насоса измерим улучшение вакуума во времени. Построим график зависимости от t. Из формулы для давления следует, что наклон, построенной кривой, есть W/V.

3) Откроем кран 6 и создадим исскуственную течь через капилляр. Рассчитаем производительность насоса по различию Ppr и Pуст, где Pуст -- установившееся давление в высоковакуумной части с искусственной течью. В условиях высокого вакуума справдлива формула, приведённая выше, где положим P1 = Pуст, P2 -- давление в форвакуумной части.

**Обработка экспериментальных данных**

*1 часть*

*(определение объёмов форвакуумной и высоковакуумной частей установки)*

Запишем некоторые данные, записанные на установке, необходимые для нахождения объёмов форвакуумной и высоковакуумной частей установки:

ρ масло = 0,885 г/см3; Vк5+к6+кап = 50 см3; Pатм = 757,56 торр;

L = 10,8 см; dкап = 0,8 мм; Pдостиг = 2 ∙ 10-2 торр;

Из формул находим нужные объёмы:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| h1, мм | h2, мм | ∆h12, мм | Vфв, л |
| 398 | 130 | 268 | 2,198 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| h3, мм | h4, мм | ∆h34, мм | Vвв, л |
| 353 | 181 | 172 | 1,226 |

*2 часть*

*(получение высокого вакуума и измерение скорости откачки)*

Всего было проведено 3 эксперимента, результаты которых записаны в таблицах, а также построены графики от t.

***1) Ppr = 6,3 ∙ 10-5 торр:***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, с | P, 10^-5 торр | ln((P - Ppr)/Po) | t, с | P, 10^-5 торр | ln((P - Ppr)/Po) |
| 20 | 24 | 14,96 | 2 | 76 | 13,81 |
| 25 | 28 | 14,81 | 3 | 71 | 13,88 |
| 30 | 33 | 14,65 | 4 | 60 | 14,05 |
| 35 | 37 | 14,53 | 5 | 47 | 14,29 |
| 40 | 41 | 14,43 | 6 | 37 | 14,53 |
| 45 | 45 | 14,34 | 7 | 30 | 14,74 |
| 50 | 48 | 14,27 | 8 | 24 | 14,96 |
| 55 | 52 | 14,19 | 9 | 20 | 15,15 |
| 60 | 55 | 14,14 | 10 | 17 | 15,31 |
| 65 | 60 | 14,05 | 12 | 13 | 15,58 |
| 70 | 63 | 14,00 | 14 | 10 | 15,84 |
| 80 | 71 | 13,88 | 16 | 8,9 | 15,96 |
| 90 | 78 | 13,79 | 20 | 7,4 | 16,14 |
| 95 | 82 | 13,74 | 25 | 6,8 | 16,23 |

***2) Ppr = 5,8 ∙ 10-5 торр:***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, с | P, 10^-5 торр | ln((P - Ppr)/Po) | t, с | P, 10^-5 торр | ln((P - Ppr)/Po) |
| 20 | 18 | 15,25 | 2 | 76 | 13,81 |
| 25 | 22 | 15,05 | 3 | 68 | 13,92 |
| 30 | 25 | 14,92 | 4 | 56 | 14,12 |
| 35 | 29 | 14,78 | 5 | 43 | 14,38 |
| 40 | 33 | 14,65 | 6 | 34 | 14,62 |
| 45 | 37 | 14,53 | 7 | 27 | 14,85 |
| 50 | 40 | 14,45 | 8 | 22 | 15,05 |
| 55 | 44 | 14,36 | 9 | 18 | 15,25 |
| 60 | 47 | 14,29 | 10 | 16 | 15,37 |
| 70 | 55 | 14,14 | 11 | 13 | 15,58 |
| 80 | 62 | 14,02 | 12 | 12 | 15,66 |
| 90 | 69 | 13,91 | 13 | 10 | 15,84 |
| 100 | 75 | 13,83 | 14 | 9,5 | 15,89 |
| 105 | 80 | 13,76 | 15 | 8,7 | 15,98 |

***3) Ppr = 6,3 ∙ 10-5 торр;***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, с | P, 10^-5 торр | ln((P - Ppr)/Po) | t, с | P, 10^-5 торр | ln((P - Ppr)/Po) |
| 25 | 25 | 14,92 | 1 | 79 | 13,77 |
| 30 | 29 | 14,78 | 2 | 75 | 13,83 |
| 35 | 33 | 14,65 | 3 | 71 | 13,88 |
| 40 | 36 | 14,56 | 4 | 60 | 14,05 |
| 45 | 41 | 14,43 | 5 | 47 | 14,29 |
| 50 | 44 | 14,36 | 6 | 37 | 14,53 |
| 55 | 48 | 14,27 | 7 | 30 | 14,74 |
| 60 | 52 | 14,19 | 8 | 24 | 14,96 |
| 65 | 56 | 14,12 | 9 | 20 | 15,15 |
| 70 | 59 | 14,07 | 10 | 16 | 15,37 |
| 80 | 67 | 13,94 | 12 | 13 | 15,58 |
| 90 | 74 | 13,84 | 14 | 11 | 15,75 |
| 100 | 82 | 13,74 | 15 | 9,6 | 15,88 |

Результаты вычислений с помощью МНК:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | , c-1 | W, л/c | σ W, л/с | ε W, % |
| 1  повышение давления | 0,0155 ± 0,0009 | 0,019 | 0,001 | 5,8 |
| 1  понижение давления | 0,1777 ± 0,007 | 0,218 | 0,009 | 3,9 |
| 2  повышение давления | 0,0165 ± 0,001 | 0,02 | 0,001 | 6,1 |
| 2  понижение давления | 0,1802 ± 0,008 | 0,221 | 0,01 | 4,4 |
| 3  повышение давления | 0,0154 ± 0,0008 | 0,189 | 0,01 | 5,2 |
| 3  понижение давления | 0,1668 ± 0,007 | 0,204 | 0,009 | 4,2 |