

Оглавление

АННОТАЦИЯ.....	2
1. ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ.....	2
1.1 Исходные параметры системы	2
1.2. Расчет размеров вакуумной камеры и уплотнения	3
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВОЙ НАГРУЗКИ.....	3
2.1. Тепловое газовыделение с поверхности материалов	4
2.2. Газовый поток вследствие проницаемости материалов.....	4
2.3. Натекание.....	5
2.4. Суммарная газовая нагрузка.....	5
3. ВЫБОР НАСОСОВ.....	6
3.1. Согласование насосов.....	7
3.2. Вакуумная система	8
3.3. Описание элементов вакуумной системы	8
4. РАСЧЕТ ВЫСОКОВАКУУМНОГО ТРАКТА.....	8
4.1 Высоковакуумный тракт при молекулярном режиме течения газа.....	9
4.2 Высоковакуумный при вязкостном режиме течения газа (режим прокачки аргона) .	10
5. РАСЧЕТ НИЗКОВАКУУМНОГО ТРАКТА И ВРЕМЕНИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОТКАЧКИ	11
6. РАСЧЕТ ВЫСОКОВАКУУМНОЙ ОТКАЧКИ	14
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	15
ЛИТЕРАТУРА	16
Приложение 1. Схема ввода поступательного движения для регулирования длины разрядного промежутка.	17

АННОТАЦИЯ

Получение и поддержание вакуума – сложная техническая задача, для решения которой необходима разработка и построение вакуумной системы. Для каждой отдельной экспериментальной или производственной задачи необходимо производить конструирование своей вакуумной системы, поскольку именно условия данной задачи и определяют ее конструкцию. В курсовом проекте будет разработана вакуумная система лабораторного испытательного вакуумного стенда.

1. ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ

1.1 Исходные параметры системы

В работе будет проводиться проектирование вакуумной системы для лабораторного стенда для исследования газоразрядных промежутков. Необходимо разработать принципиальную конструкцию камеры и схему откачки, выполнить подбор конструкционных материалов и рассчитать газовые нагрузки. Также необходимо разработать эскиз ввода движения для изменения межэлектродного расстояния.

Параметры вакуумной системы, заданные на начальном этапе ее проектирования представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Исходные параметры системы

Форма рабочей камеры	Цилиндрическая
Высота рабочей камеры, <i>см</i>	50
Радиус рабочей камеры, <i>см</i>	30
Объем рабочей камеры, м^3	0,113
Предельное давление, <i>Па</i>	10^{-6}
Рабочие давления (Аргон), <i>Па</i>	1-100
Дополнительно	1. Смотровое окно 2. Электроды 3. Ввод движения 4. ВВ тракт для прокачки аргона

1.2. Расчет размеров вакуумной камеры и уплотнения

Исходя из того, что форма камеры – цилиндрическая, рассчитаем площадь поверхности камеры. Объем вакуумной камеры

$$V = \pi R^2 h = 0,141 \text{ м}^3,$$

где R – радиус вакуумной камеры, а h – ее длина.

Площадь внутренней поверхности вакуумной камеры:

$$A = 2\pi R^2 + 2\pi R h = 0,5562 + 0,7416 = 1,5 \text{ м}^2.$$

Материал вакуумной камеры – нержавеющая сталь [1].

Уплотнитель на торцевых фланцах – плоская медная прокладка (бескислородная медь).

Толщина медного уплотнителя $b = 3,5 \text{ мм}$. Тогда, площадь его боковой поверхности:

$$A_1 = 2\pi R b = 0,019 \text{ м}^2.$$

Уплотнитель смотрового окна – фторопласт-4.

Толщина фторопластового уплотнителя $b_2 = 1 \text{ мм}$. Тогда, площадь его боковой поверхности:

$$A_2 = 2\pi R_{\text{окна}} b_2 = 0,019 \text{ м}^2.$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВОЙ НАГРУЗКИ

Газовый поток, откачиваемый системой во время работы, имеет несколько составляющих:

$$Q = Q_{\text{гв}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{н}},$$

где $Q_{\text{гв}}$ – газовый поток, обусловленный тепловым газовыделением материалов с их поверхности,

$Q_{\text{пр}}$ – газовый поток вследствие проницаемости через материалы,

$Q_{\text{н}}$ – газовый поток за счет натекания через вакуумную оболочку.

2.1. Тепловое газовыделение с поверхности материалов

Удельное газовыделение металлов можно описать следующим соотношением:

$$q(t) = q_0 \exp(-Bt),$$

В таблице ниже приведены значения коэффициентов для материалов вакуумной системы:

Таблица 2. Табличные значения коэффициентов конструкционных материалов

Коэффициент	Нержавеющая сталь	Безкислородная медь
$q_0, \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3 \cdot \text{Па}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$	3,254	0,136
$B, \times 10^{-4} 1/\text{с}$	8,3	1,8

Воспользовавшись этими коэффициентами, получим общий поток газовыделения с поверхности:

$$\begin{aligned} Q_{\text{гв}} &= \sum_i q_i A_i = Q_{\text{сталь}} + Q_{\text{медь}} \\ &= 8,158 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(-10,1 \cdot t \cdot 10^{-4}) \left[\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}} \right]. \end{aligned}$$

2.2. Газовый поток вследствие проницаемости материалов

Для смотрового окна используется фторопластовое уплотнение, следовательно, проницаемость через него будет основной составляющей данного газового потока.

Основные газы, проникающие через фторопласт-4: H_2, He, N_2, O_2 . [1,3]

Тогда суммарный газовый поток:

$$Q_{\text{нр}} = \sum_i q_i p_i \frac{A_i}{d_i} = Q_{H_2} + Q_{He} + Q_{N_2} + Q_{O_2}.$$

где q_i – удельный газовый поток проницаемости, p_i – парциальное давление газа, d_i – толщина. Табличные значения удельной проводимости фторопласта-4 по данным газам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Табличные значения удельной проводимости фторопласта-4

Газ	H_2	He	N_2	O_2
$q \times 10^{-10} \frac{m^3 \cdot Pa}{c \cdot m^2}$	32,0	32,0	1,1	2,5

Тогда суммарный поток, обусловленный проницаемостью фторопласта:

$$Q_{np} = 4,247 \cdot 10^{-12} \frac{Pa \cdot m^3}{c}.$$

2.3. Натекание

Поток натекания через оболочку вакуумной камеры:

$$Q_n = q' N,$$

где $q' = 7 \cdot 10^{-12} \frac{Pa \cdot m^3}{c}$ – чувствительность течеискателя (ПТИ-7), а $N = 10$ – количество соединений с вакуумной камерой.

Тогда поток обусловленный натеканием через оболочку равен:

$$Q_n = 7 \cdot 10^{-11} \frac{Pa \cdot m^3}{c}.$$

2.4. Суммарная газовая нагрузка

Как уже было отмечено, суммарная газовая нагрузка складывается из потоков газовыделения, проницаемости и натекания. Ниже приведен график зависимости рассчитанной суммарной газовой нагрузки от времени (рисунок 1). Из него видно, газовый поток выходит на уровень 10^{-7} спустя примерно 5 ч после начала откачки. Полученная в результате расчетов зависимость газовой нагрузки от времени будет использована для дальнейших расчетов зависимости давления от времени при откачке.

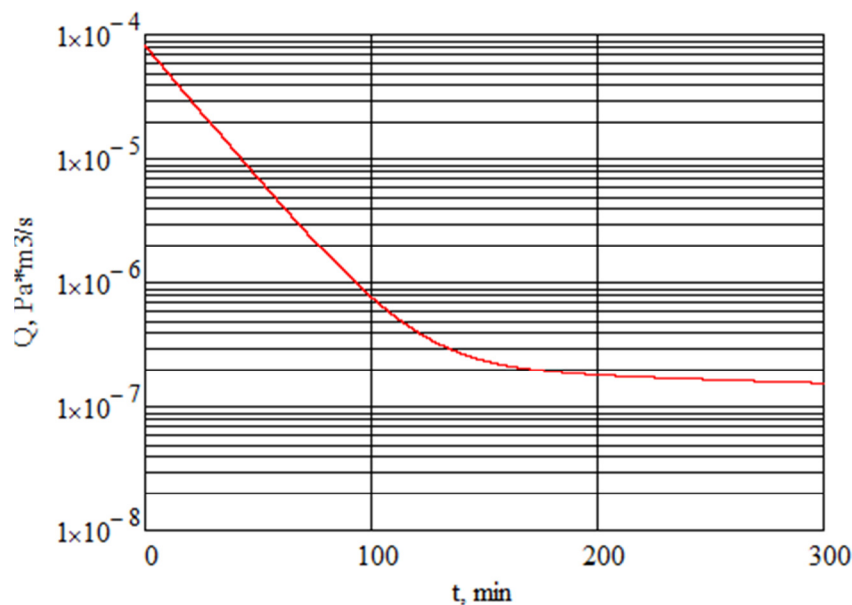


Рис.1 График зависимости суммарного потока от времени

3. ВЫБОР НАСОСОВ

По заданию, высоковакуумный насос должен создать предельное разрежение $p_{\text{пр}}(t \leq 5 \text{ часов}) = 10^{-6} \text{ Па}$. Коэффициент использования ВВ насоса положим $k = \frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{эф}}} = 1,5 \div 2$. Найдем эффективную быстроту действия ВВ насоса из необходимости достижения предельного давления в конце откачки:

$$S_{\text{эф}} = \frac{Q(300 \text{ min})}{p_{\text{пр}}} = 98,12 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Тогда с учетом коэффициента использования получим эффективную быстроту действия порядка $S = 200 \text{ л/с}$.

Наиболее близкий по характеристикам высоковакуумный насос: Pfeiffer HiPace 300

Характеристика	Величина
Диапазон рабочих давлений, Па	$1 \cdot 10^{-6} \dots 1$
Быстрота откачки воздуха, м³/с	0,22
Предельное остаточное давление, Па	$1 \cdot 10^{-7}$
Наибольшее выпускное давление, Па	2000
Диаметр впускного патрубка, мм	66 (DN100 CF)
Диаметр выпускного патрубка, мм	18 (DN16)

Низковакуумный насос выберем из следующих условий:

- 1) Давление запуска высоковакуумного насоса должно быть в диапазоне рабочих давлений НВ насоса;
- 2) Примерное время откачки до запуска ВВ насоса ≈ 10 мин;
- 3) Ввиду того, что систему необходимо откачать до 10^{-6} Па, НВ насос должен быть выполнен без использования уплотняющих масел.

Наиболее подходящим является насос мембранного типа: Pfeiffer MVP 015-2.

Характеристика	Величина
Диапазон рабочих давлений, Па	$5 \cdot 10^{-1} \dots 1 \cdot 10^5$
Быстрота откачки воздуха, м ³ /с	0,015
Диаметр впускного патрубка, мм	18 (DN16)

Оценочное время до запуска высоковакуумного насоса (при коэффициенте использования насоса $k = 2$) $t = \frac{V}{S_{эф}} \ln \left(\frac{P_0}{P_{зап}} \right) = \frac{0,2}{0,0075} \ln \left(\frac{10^5}{10^0} \right) = 5,1$ мин.

3.1. Согласование насосов

Давление на входе в вспомогательный насос должно быть меньше давления $p_{наиб}$ на выходе из высоковакуумного насоса, так как $p_{наиб}$ является наибольшим давлением на выходе, при котором ещё работает высоковакуумный насос, но при превышении которого высоковакуумный насос прекращает работу. Таким образом, вспомогательный насос должен быть способен не только удалять в единицу времени определённое количество газов, поступающих из основного насоса, но и поддерживать необходимое выпускное давление (равное или меньшее $p_{наиб}$) на его выходе.[2]

Максимальное давление на выходе ВВН: $p_{наиб} = 2000$ Па. $S_{эфВВН} = 0,0025 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$, тогда из условия равенства потоков:

$$p_{выхВВ} = \frac{p_{вхВВ} \cdot S_{эфВВН}}{S_{эфНВН}} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ Па} < 2000 \text{ Па},$$

следовательно, насосы согласованы.

3.2. Вакуумная система

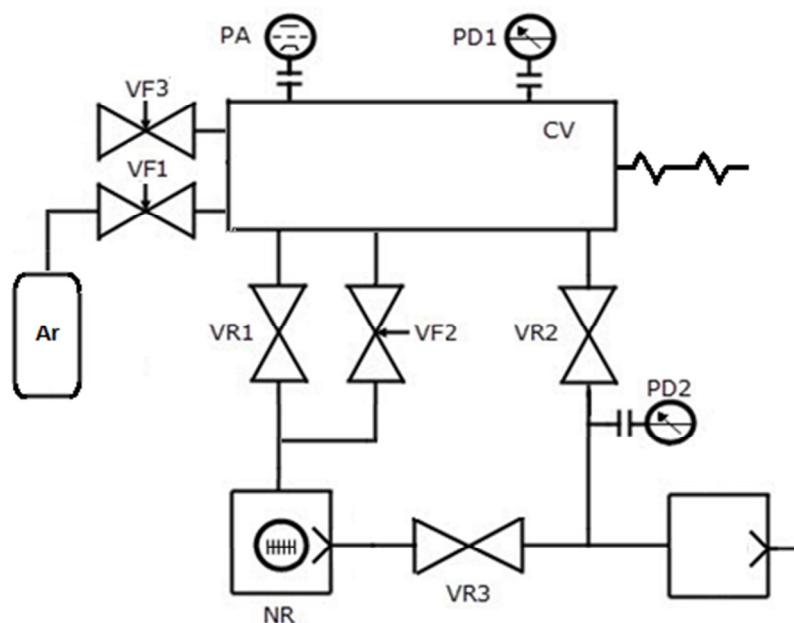


Рис.2 – Схема вакуумной системы

3.3. Описание элементов вакуумной системы

Таблица 4. Описание вакуумной системы

Обозначение	Название
CV	Вакуумная камера
PA	Ионизационный преобразователь
PD1, PD2	Деформационный преобразователь
VR1, VR2, VR3	Высоковакуумный затвор
VF1, VF2	Угловой затвор с ручным приводом
VF3	Натекатель
NR	Турбомолекулярный насос
ND	Мембранный насос

4. РАСЧЕТ ВЫСОКОВАКУУМНОГО ТРАКТА

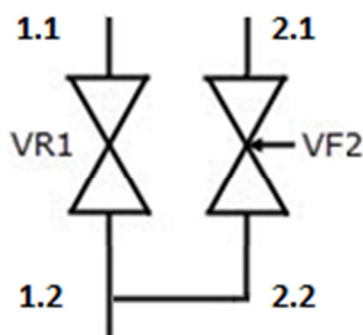


Рис. 3 – Высоковакуумный тракт

На рисунке 4 показаны элементы соединительный и регулирующий арматуры высоковакуумного тракта. Рабочий объем откачивается до необходимого давления через трубы 1.1 и 1.2, а также затвор VR1 (Pfeiffer SVV 100 PA). К ним параллельно присоединяются трубы 2.1, 2.2 и регулируемый угловой затвор VF2 (Pfeiffer UVH 016-CU) – они необходимы для обеспечения достаточно малого давления на входе ВВ насоса в режиме прокачки аргона. В таблице 5 представлены параметры элементов высоковакуумного тракта:

Таблица 5 – Параметры элементов ВВ тракта

Параметр	VR1	VF2	Труба 1.1	Труба 1.2	Труба 2.1	Труба 2.2
Диаметр, мм	120	66	120	66	18	18
Длина, мм	-	-	150	120	100	200
Проводимость, л/с	2000	2	-	-	-	-

4.1 Высоковакуумный тракт при молекулярном режиме течения газа

На первом участке:

$$U_{1.1} = 121 \frac{d_{1.1}^3}{l_{1.1}} = 2,091 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Проводимость затвора Pfeiffer SVV 100 PA:

$$U_{VR1} = 2,00 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

На третьем участке:

$$U_{1.2} = 121 \frac{d_{1.2}^3}{l_{1.2}} = 0,232 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Таким образом, суммарная проводимость высоковакуумного тракта составит:

$$\frac{1}{U_{\Sigma}} = \frac{1}{U_{1.1}} + \frac{1}{U_{1.2}} + \frac{1}{U_{VR1}}; U_{\Sigma} = 0,764 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Зная быстроту действия турбомолекулярного насоса ($S_n = 0,2 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$), оценим эффективную быстроту действия:

$$\frac{1}{S_{\text{эф}}} = \frac{1}{S_{\text{н}}} + \frac{1}{U_{\Sigma}}; S_{\text{эф}} = 0,102 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

При этом, коэффициент использования составил $k = 2,114$. Следовательно, высоковакуумный тракт выбран верно.

4.2 Высоковакуумный при вязкостном режиме течения газа (режим прокачки аргона)

По заданию, рабочее давление аргона в вакуумной камере составляет от 1 до 100 Па. По условию Кнудсена граница молекулярно-вязкостного режима течения газа находится на уровне 0,4 Па, поэтому проводимость тракта прокачки нужно рассчитывать по соответствующей формуле:

$$U = 1,36 \cdot 10^3 \cdot \frac{d^4}{l} \cdot p_{\text{ср}} + 1,21 \cdot \frac{d^3}{l} \cdot \left(\frac{1 + 1,9 \cdot d \cdot p}{1 + 2,35 \cdot d \cdot p} \right),$$

где p – минимальное давление аргона в рабочей камере (1 Па). При более высоком давлении аргона необходимо регулировать проводимость тракта при помощи затвора VF2, постепенно перекрывая его с ростом давления аргона.

Рассчитаем проводимость каждого участка а также учтем проводимость затвора Pfeiffer SVV 100 PA.

$$U_{2.1} = 1,36 \cdot 10^3 \cdot \frac{d_{2.1}^4}{l_{2.1}} \cdot p_{\text{ср}} + 1,21 \cdot \frac{d_{2.1}^3}{l_{2.1}} \cdot \left(\frac{1 + 1,9 \cdot d_{2.1} \cdot 1\text{Па}}{1 + 2,35 \cdot d_{2.1} \cdot 1\text{Па}} \right) = 8,43 \text{ л/с},$$

$$U_{2.2} = 1,36 \cdot 10^3 \cdot \frac{d_{2.2}^4}{l_{2.2}} \cdot p_{\text{ср}} + 1,21 \cdot \frac{d_{2.2}^3}{l_{2.2}} \cdot \left(\frac{1 + 1,9 \cdot d_{2.2} \cdot 1\text{Па}}{1 + 2,35 \cdot d_{2.2} \cdot 1\text{Па}} \right) = 4,125 \text{ л/с},$$

$$U_{\text{VR1}} = 2,0 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

Таким образом, суммарная проводимость высоковакуумного тракта составит:

$$\frac{1}{U_{\Sigma}} = \frac{1}{U_{2.1}} + \frac{1}{U_{2.2}} + \frac{1}{U_{\text{VF2}}}; U_{\Sigma} = 1,168 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

А эффективная быстрота действия:

$$\frac{1}{S_{\text{эф}}} = \frac{1}{S_{\text{н}}} + \frac{1}{U_{\Sigma}}; S_{\text{эф}} = 0,102 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Таким образом, давление на входе ВВ насоса: $p_{\text{ВХ}} = \frac{p_{\text{Ar}} S_{\text{эф}}}{S} = 0,53 \text{ Па} < 1 \text{ Па}$

Следовательно, тракт для прокачки аргона выбран верно.

5. РАСЧЕТ НИЗКОВАКУУМНОГО ТРАКТА И ВРЕМЕНИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОТКАЧКИ

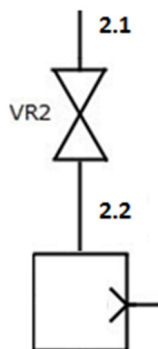


Рис. 5 – Низковакуумный тракт

Для расчёта времени предварительной откачки будем учитывать режимы течения газа по тракту. Разобьём диапазон давлений на несколько участков, время на которых будет рассчитываться в соответствии со своим режимом течения газа.

Вычислим точку перехода из ВР в МВР режим:

$$pd \leq 1,33 \text{ Па} \cdot \text{м},$$

$$\text{отсюда } p_{\text{В-МВ}} = \frac{1,33}{25 \cdot 10^{-3}} = 26,6 \text{ Па}.$$

Точку перехода из МВР в МР режим вычислим по формуле:

$$pd \leq 0,02 \text{ Па} \cdot \text{м},$$

$$\text{отсюда } p_{\text{МВ-М}} = \frac{0,02}{25 \cdot 10^{-3}} = 0,4 \text{ Па}.$$

Будем рассчитывать время на следующих участках:

- 1) $10^5 \div 53,2 \text{ Па}$ – изменение проводимости на этом очень слабо влияет на эффективное быстродействие насоса, поэтому его можно не учитывать;
- 2) $26,6 \div 0,4 \text{ Па}$ – на этом участке проводимость существенно изменяется в широких пределах, поэтому этот участок необходимо разбить на несколько поддиапазонов, в пределах которых

проводимость можно считать постоянной. В настоящей работе все вычисления были выполнены в программе Mathcad 14, что позволило сделать разбиение на 100 диапазонов.

- 3) $0,4 \div 0,1$ Па – проводимость на этом участке не меняется и зависит только от геометрии трубопровода.

Далее следует рассчитать эффективную длину трубопровода, которая учитывает изгибы тракта. В данном случае имеется один изгиб.

$$l_{\text{эф}} = l_{\text{факт}} + l_{\text{экв}} = 0,6 + 1,33 \cdot d = 0,624 \text{ м}$$

Также вычислим полный объём, включающий в себя объём вакуумной камеры и объём ВВ тракта:

$$V_{\Sigma} = V_{\text{камеры}} + V_{\text{арматуры}} = 0,142 \text{ м}^3$$

Время откачки в пределах **1-го диапазона** (ВР):

$$U = 1,36 \cdot 10^3 \cdot \frac{d^4}{l_{\text{эф}}} \cdot p_{\text{ср.}}$$

Было рассчитано, что изменение проводимости на всем участке откачки практически не изменяет эффективную быстроту действия, которая составила:

$$S_{\text{эф}} = \frac{S \cdot U}{S + U} \approx S = 15 \frac{\text{л}}{\text{с}},$$

$$t = \frac{V_{\Sigma}}{S_{\text{эф}}} \ln \left(\frac{P_{\text{нач}}}{P_{\text{кон}}} \right) = \frac{0,142}{0,015} \ln \left(\frac{10^5}{26,6} \right) = 1,3 \text{ мин.}$$

Для каждого поддиапазона **2-го участка** (МВР) проводимость была рассчитана по формуле:

$$U_i = 1,36 \cdot 10^3 \cdot \frac{d^4}{l_{\text{эф}}} \cdot p_i + 1,21 \cdot \frac{d^3}{l_{\text{эф}}} \cdot \left(\frac{1 + 1,9 \cdot d \cdot p_i}{1 + 2,35 \cdot d \cdot p_i} \right),$$

где d – диаметр трубопровода, $l_{\text{эф}}$ – длина тракта, p_i – среднее давление в i -ом поддиапазоне ($i = 1, 2, \dots, 100$).

Время для каждого поддиапазона было рассчитано по формуле:

$$\Delta t_i = \frac{V_{\Sigma}}{S_{\text{эф}i}} \ln \left(\frac{P_{\text{нач}} - \frac{Q(t)}{S_{\text{эф}i}}}{P_{\text{кон}} - \frac{Q(t)}{S_{\text{эф}i}}} \right),$$

где $Q(t)$ –газовый поток:

$$Q = 8,158 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(-8,231t \cdot 10^{-4}) + 8,824 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}} \right],$$

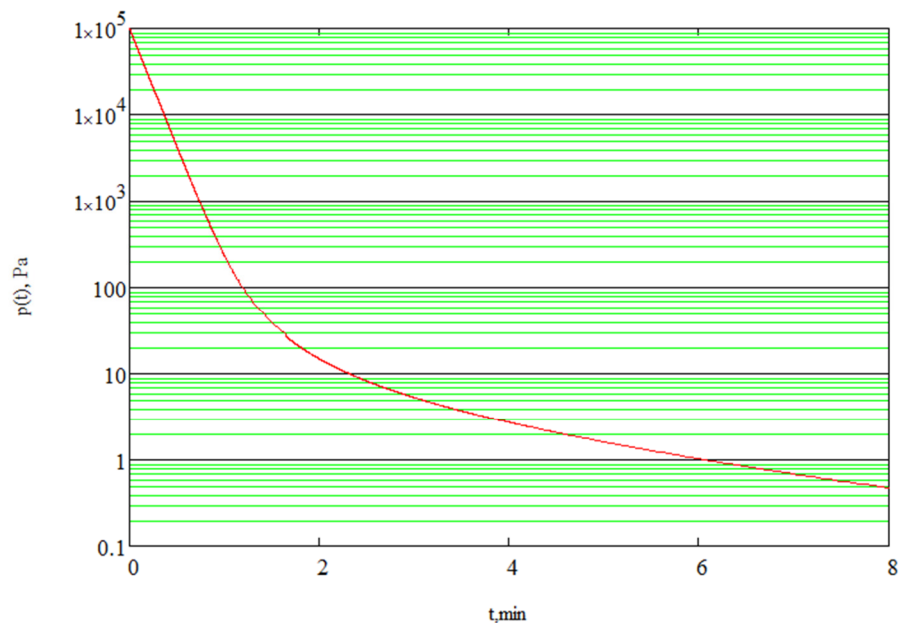
$$\text{а } S_{\text{эф}i} = S_{\text{н}} \cdot U_i / (S_{\text{н}} + U_i).$$

Полное время откачки на втором участке:

$$t = \sum_{i=1}^N \Delta t_i = 1,3 \text{ мин}$$

На **3-ем участке** проводимость была рассчитана по формуле:

$$U = 121 \frac{d^3}{l_{\text{эф}}},$$



а время откачки – по формуле для 2-го участка.

Рисунок 6 – Кривая предварительной откачки

Таким образом, было рассчитано, что суммарное время предварительной откачки равно 6 мин.

В программе Mathcad 14 был произведен расчет зависимости давления в камере от времени при предварительной откачке. График полученной зависимости показан на рисунке 6.

Высоковакуумный насос включается при давлении $p = 1 \text{ Па}$. Из рисунка 6 видно, что это давление достигается спустя $t = 6,13 \text{ мин}$ после начала откачки.

6. РАСЧЕТ ВЫСОКОВАКУУМНОЙ ОТКАЧКИ

Зависимость газового потока от времени:

$$Q = 8,158 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(-8,231t \cdot 10^{-4}) + 8,824 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}} \right].$$

Эффективная быстрота откачки насоса: $S_{\text{эф}} = 0,015 \text{ м}^3/\text{с}$.

Начальное давление: $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

Объем вакуумной камеры: $V = 0,141 \text{ м}^3$.

По условию непрерывности газового потока было составлено уравнение, которое учитывает газовую нагрузку с одной стороны, и откачку, производимую ВВ насосом:

$$\frac{d(pV)}{dt} = p(t) \cdot S - Q(t),$$

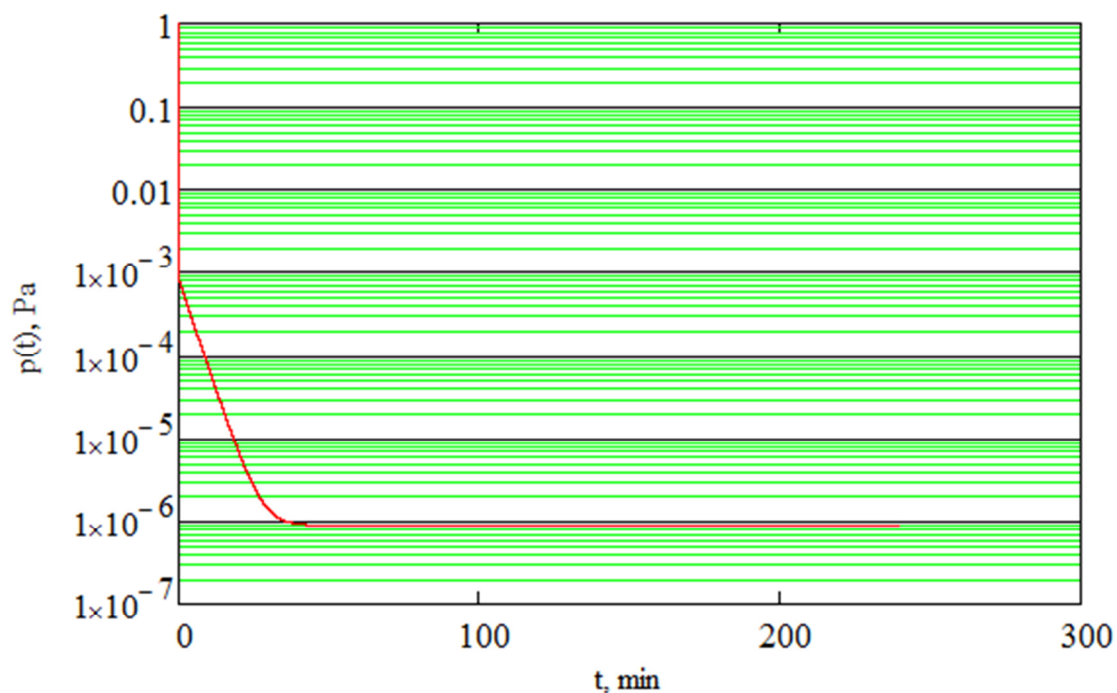


Рисунок 7 – Кривая высоковакуумной откачки

где $Q(t)$ – сумарная газовая нагрузка. Это уравнение было решено в программе Mathcad 14. Найденная зависимость $p(t)$ показана на рисунке 7. По ней было установлено, что абочее давление $1 \cdot 10^{-6}$ Па достигается за время $t = 179,43 \text{ мин} \approx 3 \text{ ч}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках курсового проекта был осуществлен подбор и согласование средств откачки, элементов вакуумной системы, расчет параметров и режимов откачки.

Требуемое рабочее давление в вакуумной камере было достигнуто с использованием пластинчато-роторного и турбомолекулярного насосов. Время необходимое для достижения заданного давления – 83 минут, складывается из 15 минут работы пластинчато-роторного насоса, и 68 минут работы турбомолекулярного насоса.

ЛИТЕРАТУРА

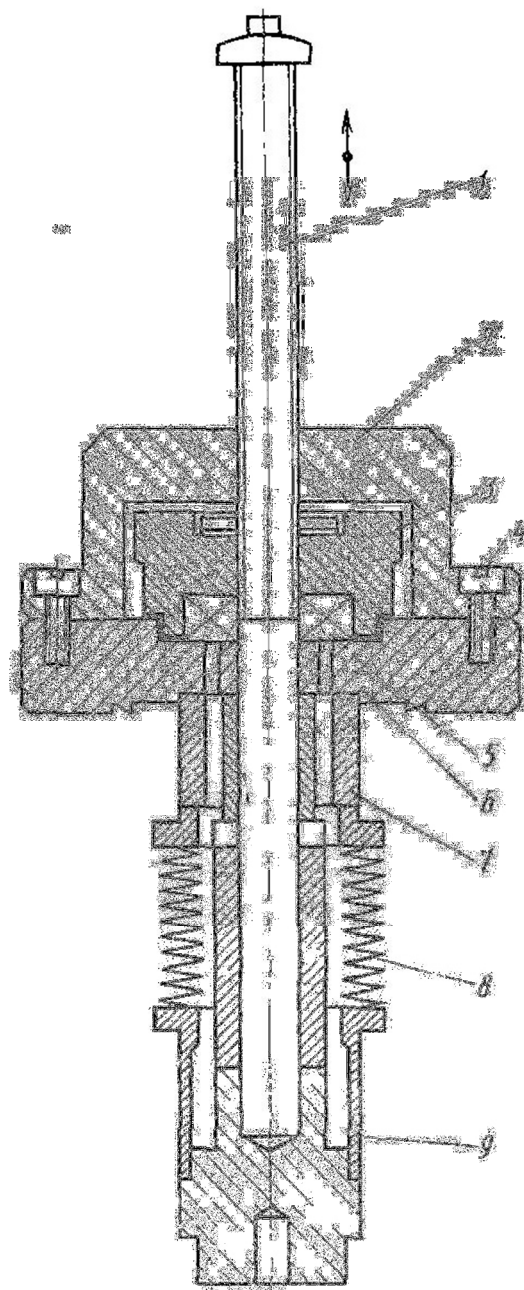
1. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: Учебник для ВУЗов. М.: Высш. шк. 2007.
2. Пипко А.И., Пликовский В.Я., Пенчко Е.А. Конструирование и расчёт вакуумных систем. М.: Энергия, 1979.
3. Вакуумная техника: Справочник/Е.С. Фролов и др. М.: Машиностроение, 1992.

Приложение 1. Схема ввода поступательного движения для регулирования длины разрядного промежутка.

На рисунке представлен ввод поступательного движения в вакуумную камеру. Конструкция подразумевает использованием металлического сильфона и металлических уплотнителей, что позволяет добиться минимальных течей, соответствующих предельному давлению ниже 10^{-6} Па.

Основные элементы конструкции перечислены ниже:

- 1 – Шток
- 2 – Скоба;
- 3 – Маховичок с резьбой для штока и шкалой;
- 4 – Винты;
- 5 – Подшипник;
- 6 – Фланец;



7 – Неподвижная втулка;

8 – Сильфон;

9 – Подвижная втулка;