МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

Курс лекций:

Основы Вакуумной Техники

7 лекция

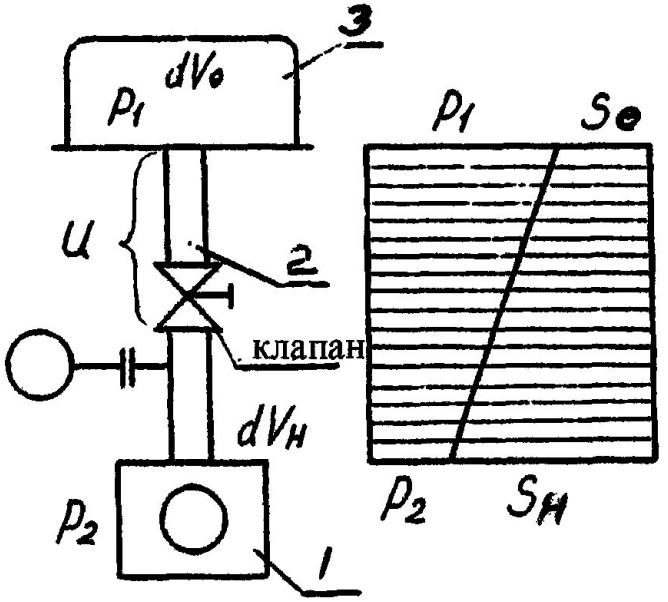
Основы процесса откачки. Термины и определения.

Деулин Евгений Алексеевич

Простейшая вакуумная система, показанная на рис. состоит из следующих элементов: 1 – насос 2 – вакуумопровод; 3 – реципиент (откачиваемый объём).;

Символами обозначены

Принятые в вакуумной технике термины:



$P_1 - P_2$ – движущая разность давлений, Па;

$S_0 = dV_0/dt$ – быстрота откачки рециниента (объекта), $м^3с^{-1}$;

$S_Н = dV_Н/dt$ – быстрота действия насоса, $м^3с^{-1}$;

$S = dV/dt$ – быстрота откачки (в рассматриваемом сечении трубопровода), $м^3с^{-1}$;

$Q = d(PV)/dt$ – поток газа, количество газа проходящего через рассматриваемое сечение трубопровода в единицу времени, $м^3Пас^{-1}$

$W = (P_1 - P_2)/Q$ – сопротивление трубопровода, $см^{-3}$

$U = 1/W = Q/(P_1 - P_2)$ – проводимость трубопро – вода, $м^3с^{-1}$.

Этот термин более удобен для расчётов и поэтому только он используется на практике

Когда мы имеем дело со стационарным (постоянным во времени) или квадистационарным потоком, то для любого сечения трубопровода можно записать:

. . $Q = P_1S_0 = P_2S_Н = PS$

Вывод основного уравнения вакуумной техники.

Для стационарного режима откачки реципиента можно записать равенство:

$$Q=S_0P_1=S_HP_2=U(P_1-P_2)$$

Это равенство может быть преобразовано в два выражения:

$$S_0=\frac{U(P_1-P_2)}{P_1} \qquad S_H=\frac{U(P_1-P_2)}{;.\ P_2}$$

Рассмотрим обратные величины полученных выражений:

$$\frac{1}{S_H}=\frac{P_2}{U(P_1-P_2)} \qquad \frac{1}{S_0}=\frac{P_1}{U(P_1-P_2)}$$

Разница между первым и вторым выражением

$$\frac{1}{S_0}-\frac{1}{S_H}=\frac{1}{U} \qquad \frac{1}{S_0}-\frac{1}{S_H}=\frac{P_1-P_2}{U(P_1-P_2)};$$

даёт выражение называемое основным уравнением вакуумной техники, которое обычно записывается:

$$\frac{1}{S_0}=\frac{1}{U}+\frac{1}{S_H} \qquad \textbf{или} \qquad S_0\frac{S_HU}{S_H+U}$$

Это уравнение связывает параметры трёх основных компонентов вакуумной системы: быстроту действия насоса, проводимость трубопровода и быстроту откачки реципиента , поэтому оно называется основным уравнением вакуумной техники

Расчёт времени откачки вакуумной системы (без учёта газовыделения).

Рассмотрим процесс откачки простейшей вакуумной системы, по5казанной на рис. при этом V –объём реципиента (камеры); P – давление в откачиваемом объёме. За период времени dt количество откачиваемого через вакуумопровод газа составит:

$$dG_1 = S_0 P dt$$

То же самое количество газа $dG_2 = dG_1$, вышедшее из камеры приведёт к уменьшению в не давления на величину dP

$$dG_2 = -dPV$$

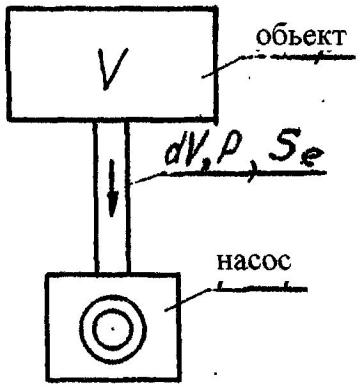
откуда следует: $G_1 = G_2 = S_0 P dt = -dPV$

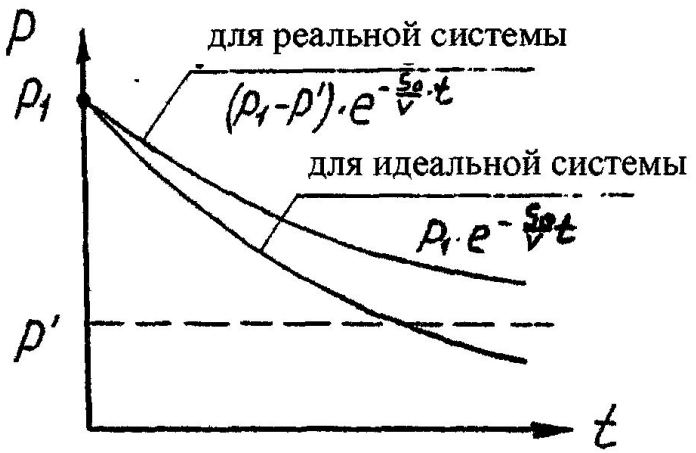
После разнесения переменных:

$$\frac{dP}{P} = -\frac{S_0}{V} \cdot dt \qquad (0)$$

В реальной вакуумной системе давление при откачки стремится не к нулю, а предельном давлению P^1(см..рис.справа), поэтому мы можем предыдущее выражение переписать.

$$\frac{dP}{P - P_1} = -\frac{S_0}{V} dt$$





Расчёт времени откачки вакуумной системы .

При анализе процесса откачки высоко и сверх высоко вакуумной системы с учётом газовыделения стенок из-за процесса десорбции вместо простейшего уравнения :

$$\frac{dP}{P - P_1} = -\frac{S_0}{V} dt \qquad \textbf{(0)}$$

Надо использовать уравнения вида:

(

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{t=0} = -\frac{S_0 p_{нач}}{V} - \frac{\alpha V_1 A}{V} p_{нач} + \frac{Q_1 \theta A}{V t_s} \qquad \textbf{01)}$$

Учитывающие изменение процесса десорбции во времени (см. слайды № 8,9)

.

уравнение для расчёта времени откачки объёма V от начального давления P_1 до конечного давления P_2. (без учёта газовыделения)

Для этого возьмём интеграл от полученного выражения в интервале от P_1 до P_2 :

$$\int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P_1 - P'} = \int_{t} -\frac{S_O}{V} dt$$

после интегрирования получаем выражение:

$$\left| \ln(P - P') \right|_{P_1}^{P_2} = -\frac{S_0}{V} t$$

которые в интервале от от P_1 до P_2 может быть рассчитано как:

$$\ln(P_2 - P') - \ln(P_1 - P') = -\frac{S_0}{V} t$$

после преобразования

$$\ln \left| \frac{P_1 - P'}{P_2 - P'} \right| = \frac{S_0 t}{V}$$

;

откуда после замены натуральных логарифмов на десятичные:

$$t = 2,3 \frac{V}{S_0} \lg \frac{P_1 - P'}{P_2 - P'}$$

,

В последнем выражении $P_1 \gg P'$, поэтому числитель логарифма может быть упрощён. Окончательно, уравнение для расчёта времени откачки идеального вакуумного объёма V от начального давления P_1 до давления P_2 (бкз учёта десорбции и натекания газов) выглядит так: :

$$t = 2,3 \frac{V}{S_0} \lg \frac{P_1}{P_2 - P'}$$

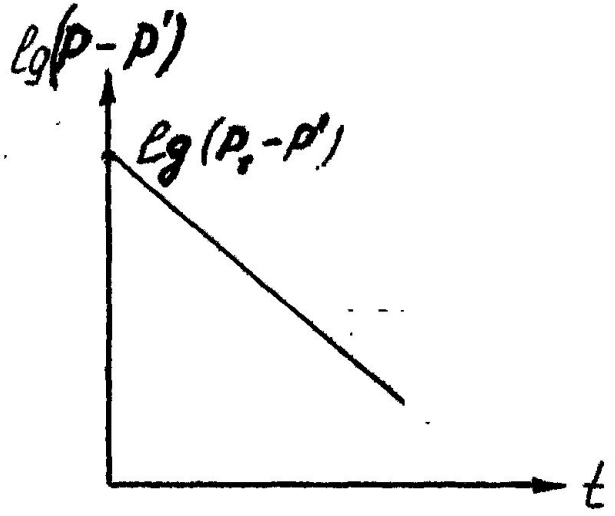
Расчёт времени откачки объёма V от начального давления P_1 до конечного давления P_2 с учётом газовыделения, но без учёта десорбции газов со стенок)

График изменения давления во времени удобно представлять в логарифмической шкале,

$$\lg P = \lg(P_1 - P') - t\frac{S_O}{2.3V}$$

как это показано на рисунке, где он описывается прямой линией . Если мы учтём суммарный поток газов Q_Σ **, выделяющихся из вакуумной системы (поток газовыделения + поток натекания + обратный поток), то уравнение для расчёта времени откачки примет вид:**

$$t = \frac{V}{S_0}\lg\frac{P_1}{P_2 + \dfrac{Q_\Sigma}{S_0}}$$



Расчёт времени откачки объёма V от начального давления P_1 до конечного давления P_2 для квазистационавной вакуумной системы

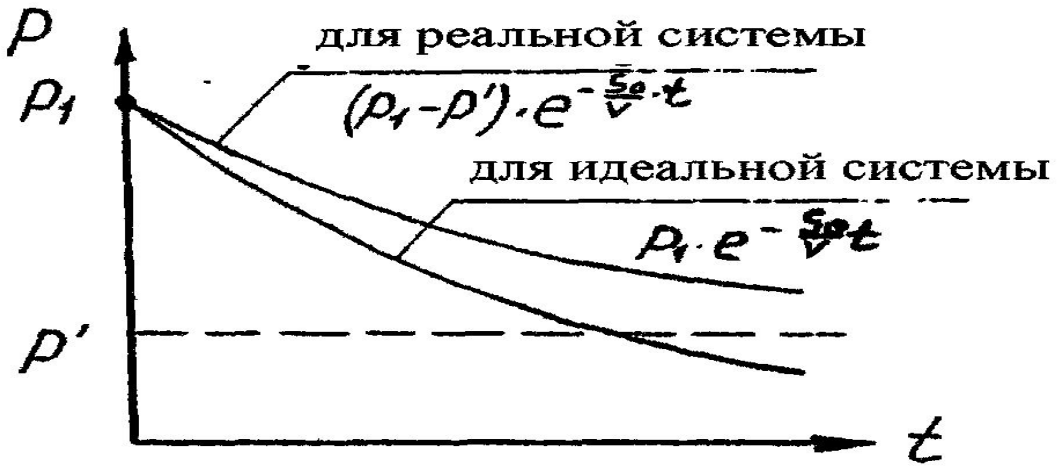
При рассмотрении процесса откачки вакуумной системы, по5казанной на слайде 5, количество газа, выходящее из камеры: dG_1, приводящее к уменьшению в ней давления на величину dP и равное количеству газа, вошедшему в вакуумопровод dG_2 т.е. $dG_2 = dG_1$, Эти количества газа считаются постоянными (квазистационарными) для данного момента времени $G_1=G_2=S_0Pdt= -dPV$, поскольку не учитывают потоков газа,выделяющихся из вакуумной камеры:

Уравнения: $$\lg P = \lg(P_1 - P') - t\frac{S_O}{2.3V}$$ $$t = \frac{V}{S_0}\lg\frac{P_1}{P_2 + \frac{Q_\Sigma}{S}}$$

даже при учёте суммарного потока газовыделения Q_Σ из камеры определяют изменение давления при откачке в реальной вакуумной системе стремящимся к нулю или к «предельному» давлению вакуумной системы,

$$t = 2,3\frac{V}{S_0}\lg\frac{P_1}{P_2 - P'}$$

которое определяется существованием стационарного потока Q_Σ =const (постоянного для данного момента времени, но убывающего со временем при уменьшении давления)



Расчёт времени откачки объёма V от начального давления P_1 до конечного давления P_2 с учётом десорбции газов со стенок сосуда

Расчет количества адсорбированного газа или заполнения поверхности при постоянном давлении в функции времени может быть осуществлен по уравнению которое приводится к виду

$$\frac{d\theta}{\theta - \frac{K_1}{K_2}} = -K_2 dt \qquad (1)$$

Где θ - коэффициент покрытия поверхности сорбатом

Решение уравнения (1) имеет вид:

$$\ln\left(\theta - \frac{K_1}{K_2}\right) = -K_2 t + \ln C \qquad (2)$$

Или

$$\theta - \frac{K_1}{K_2} = Ce^{-K_2 t}$$

где:

$$K_1 = \frac{\alpha N_u}{N_{1пов}} = \frac{\alpha p}{N_{1пов}\sqrt{2\pi mkT}};$$

$$K_2 = \frac{\alpha N_u}{N_{1пов}} + \frac{1}{t_s} = \frac{\alpha p}{N_{1пов}\sqrt{2\pi mkT}} + \frac{1}{\tau_0 e^{E_{ад}/R_0 T}};$$

Примечание: уравнения (1) и (2) могут быть решены как в системе "MathCAD", так и графическим способом, как это показано в Методическом Пособии для выполнения ДЗ по ОВТ

Решение уравнения (1) также имеет вид:

$$\theta - \frac{K_1}{K_2} = Ce^{-K_2 t} \qquad (3)$$

Или:

$$\ln\left(\theta - \frac{K_1}{K_2}\right) = -K_2 t + \ln C$$

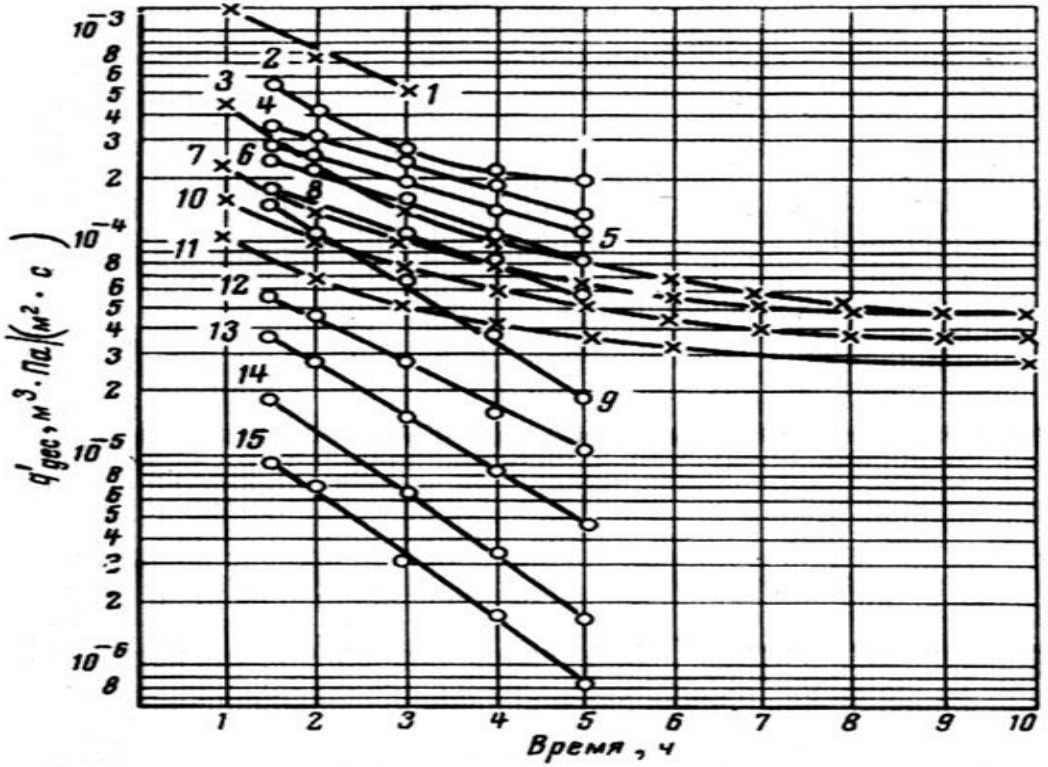
Из уравнения (3) можно найти время, за которое достигается интересующая нас степень заполнения поверхности θ:

$$t = \frac{1}{K_2} \ln \frac{1}{1 - \frac{K_1}{K_2}} \qquad (4)$$

Расчет времени откачки до заданного давления с учётом десорбции графическим способом (см. мет. Пособие для выполнения ДЗ по курсу ОВТ)

На рис. представлены . Зависимости скоростей удельного газовыделения q' различных металлов от времени откачки при комнатной температуре:.

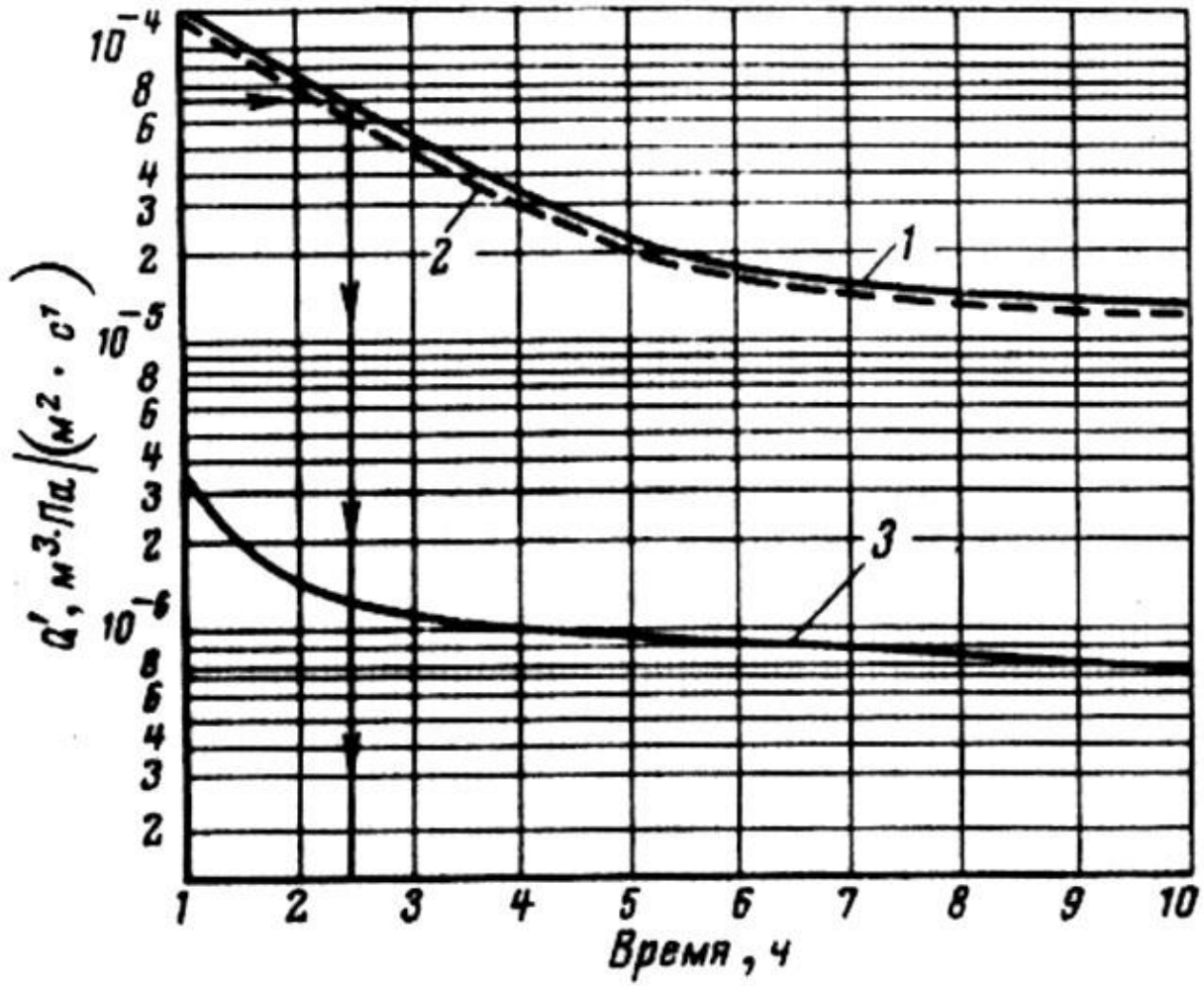
1 - алюминий; 2 - дюралюминий необработанный; 3 - мягкая сталь; 4-дюралюминий промытый бензолом и ацетоном; 5 - латунь необработанная; 6 - латунь, промытая бензолом и ацетоном; 7 - дюралюминий; 8 - медь необработанная; 9 - нержавеющая сталь необработанная; 10 - латунь; 11 - нержавеющая сталь; 12 - медь, промытая бензолом и ацетоном; 13 - дюралюминий протравленный, промытый бензолом и ацетоном; 14 - латунь протравлении промытая бензолом и ацетоном; 15 - медь протравленная, промытая бензолом и ацетоном.

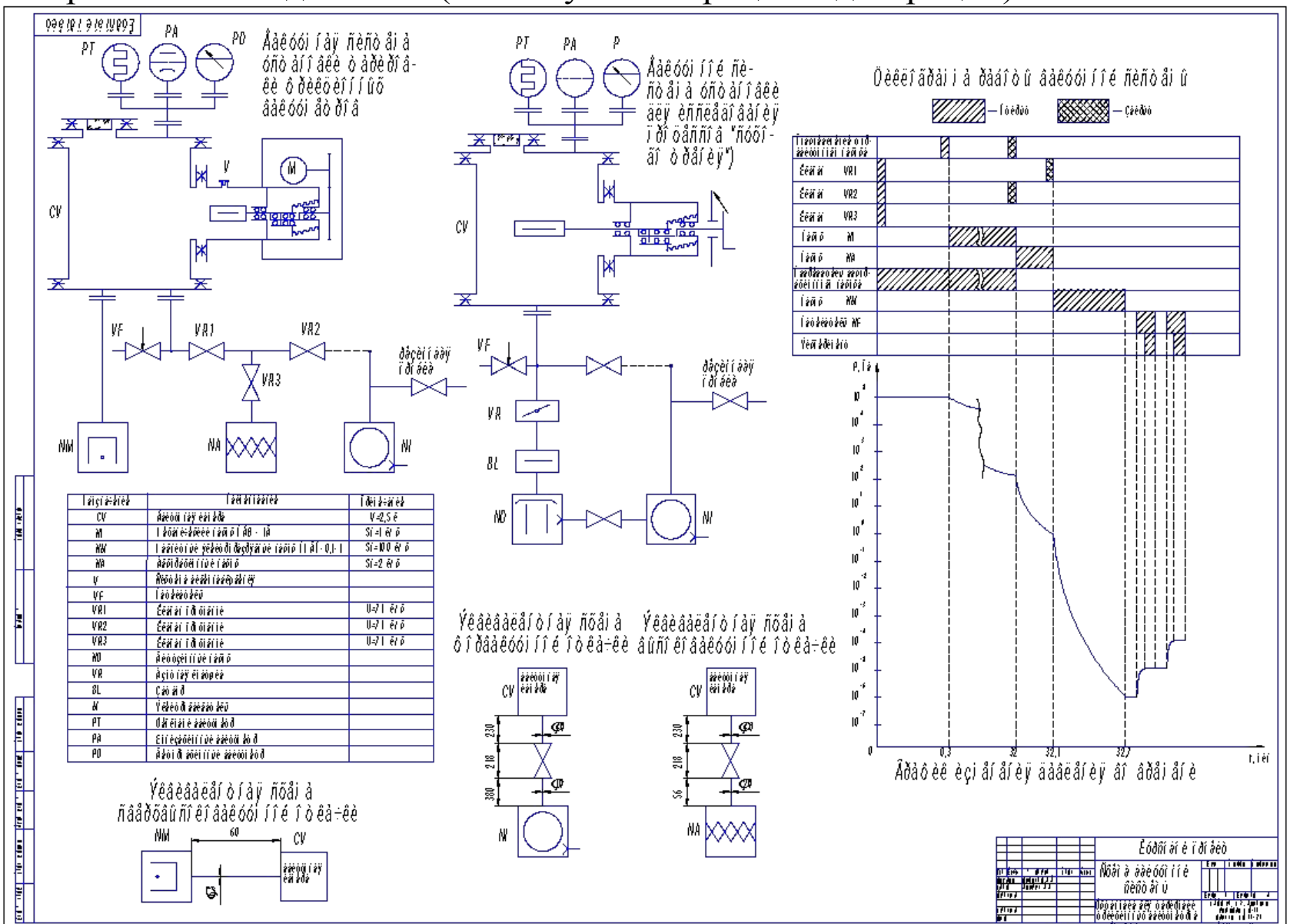


Расчет времени откачки до заданного давления с учётом десорбции графическим способом (см. мет. Пособие для выполнения ДЗ по курсу ОВТ)

На рис. представлено изменение потока газовыделения со стенок вакуумной камеры.

На графиках представлены: 1 - суммарное газовыделение с поверхностей стенок и уплотнителя; 2 – газовыделение с поверхностей стенок камеры; 3 - газовыделение с поверхности уплотнителя, изготовленного из фторопласта



Пример расчет времени откачки при выполнении КП и ДЗ по курсу ОВТ)

На графике справа внизу представлен процесс изменения давления в рабочей камере при смене насосов (форвакуумный, высоковакуумный, сверхвысоковакуумный) и смене характера изменения давления (без и с учётом процесса десорбции) :