

где V_i – объемные концентрации соответствующих газов. Таким образом, коэффициент относительной чувствительности для смеси газов определяется по формуле

$$\frac{1}{C_{\text{см}}} = \frac{\sum V_i}{\sum C_i}, \text{ причем } \sum V_i = 1.$$

Тепловые вакуумметры обеспечивают косвенные измерения полных давлений и используются в вакуумных системах для непрерывного контроля процесса получения низкого и среднего вакуума. Диапазон рабочих давлений традиционных преобразователей $5 \cdot 10^3 - 10^{-1}$ Па, погрешность измерений $\pm 30\%$. Инерционность показаний, связанная с тепловой инерцией нити, максимальна при низких давлениях и составляет секунды. Лучшие характеристики имеют преобразователи, изготовленные на тонкой кремниевой мембране – тензорезисторы (до 10^{-3} Па).

3.2.4. Ионизационные вакуумметры

В основе работы *ионизационных вакуумметров* лежат явления ионизации, т.е. выбивание электрона из атома или молекулы и образование пары положительно заряженного иона и электрона. Образующиеся в объеме свободные заряды обуславливают проводимость газового промежутка или – возникновение газового разряда. В первом случае **мерой степени разрежения газов** может служить **величина тока положительных ионов**, во втором – **величина разрядного тока**. Такие измерения давления газов очевидно **являются косвенными**.

Ионизационные преобразователи различаются по способу получения ионизирующих частиц. Так, в термоэлектронных преобразователях частичная ионизация разреженного газа производится электронами, эмитируемыми из накаливаемых катодов, в магнитных электроразрядных – вторичными электронами, выбитыми ионами из холодных катодов, а в радиоизотопных – источниками радиоактивного излучения. Наиболее часто для ионизации газа применяется бомбардировка ускоренными электронами.

Электронные ионизационные вакуумметры

В электронных ионизационных вакуумметрах ионизация в объеме преобразователя происходит вследствие соударения с частицами газа электронов, эмитируемых накалившимся катодом и ускоренных в электрическом поле. Число положительных ионов, образующихся в результате столкновений электронов с молекулами газа, пропорционально концентрации молекул n :

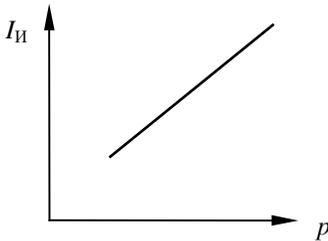
$$I_{\text{и}} = C \cdot n \cdot I_{\text{е}},$$

где $I_{\text{и}}$ – ионный ток; $I_{\text{е}}$ – электронный ток; C – коэффициент пропорциональности. При учете соотношения $p = nkT$ получаем измерительное уравнение ионизационного преобразователя

$$p = I_{\text{и}} / (K_{\text{и}} I_{\text{е}}),$$

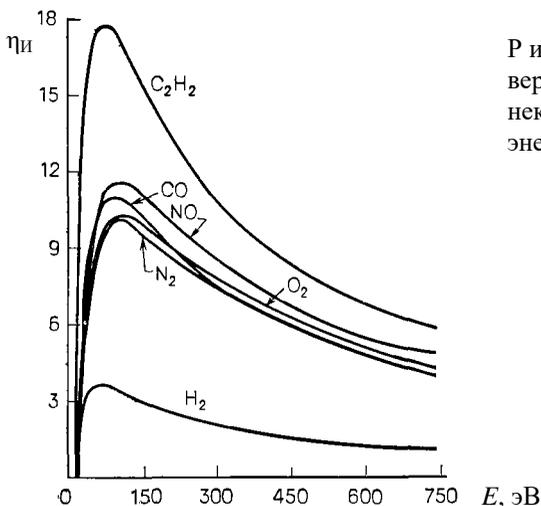
где $K_{\text{и}} = C/kT$ – чувствительность ионизационного преобразователя.

Очевидно, что для того, чтобы измеряемый ионный ток был пропорционален давлению, необходимо во время измерения поддерживать постоянное значение электронного тока. Тогда градуировочная характеристика преобразователя $I_{\text{и}}(p)$ будет представлять линейную зависимость (рис. 3.10). Величина $a = I_{\text{е}} \cdot K_{\text{и}}$, называемая *постоянной термоэлектронного преобразователя*, равна тангенсу угла наклона градуировочной кривой.



Р и с. 3.10. Градуировочная характеристика ионизационного преобразователя при постоянном термоэлектронном токе

Чувствительность ионизационного преобразователя $K_{\text{и}}$ зависит не только от температуры, но и от природы газа и энергии электронов, а также формы и расположения электродов в приборе, которые необходимы для генерации электронного тока, ускорения электронов и сбора образовавшихся ионов.

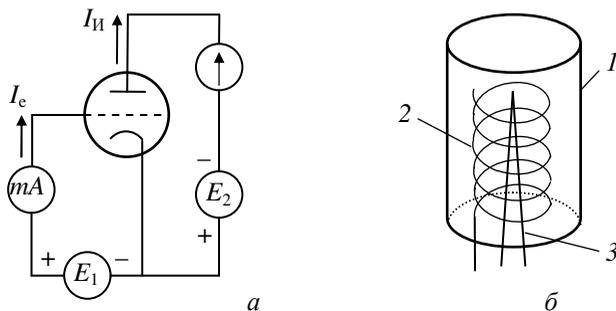


Р и с. 3.11. Зависимость вероятности ионизации некоторых газов от энергии электронов

На рис. 3.11 приведены зависимости вероятности ионизации различных газов, наиболее часто встречающихся в вакуумных системах, от величины начальной энергии ионизирующих электронов. Эффективность (коэффициент) ионизации $\eta_{и}$ определена как число ионов, образуемых электроном на 1 см пути в газе при давлении 10^2 Па и температуре 0°C . Представленные зависимости будут иметь такой же вид и при других давлениях, хотя при понижении давления выход ионизации значительно уменьшается. До некоторого порогового значения энергии электронов (потенциал ионизации) коэффициент ионизации равен нулю. При увеличении энергии $\eta_{и}$ сначала быстро возрастает, достигает максимума, а потом убывает.

Форма и расположение электродов в преобразователе определяют длину пути ионизирующих электронов, характеристики электрического поля и эффективность собирания ионов. Простейшие ионизационные вакуумметры представляют собой видоизмененные вакуумные триоды, в которых сетка является анодом, а анод – коллектором ионов (рис.3.12, а). В условиях высокого вакуума длина свободного пробега электронов $\lambda_e \gg d_{эф}$ ($d_{эф}$ – эффективный размер корпуса преобразователя), поэтому вероятность ионизационного столкновения при прохождении электрона от ка-

тогда к аноду очень мала и величины коэффициента чувствительности низки. Как и в случае ионного насоса, для повышения вероятности ионизации здесь необходимо увеличить длину пути электрона. Это одно из основных требований, предъявляемых к конструкциям ионизационных преобразователей. Некоторые варианты формы и расположения электродов заимствованы у ионизаторов ионных насосов.



Р и с. 3.12. Схема включения триодного ионизационного вакуумметра (а) и конструкция преобразователя (б)

На рис. 3.12, б показана конструкция *термоэлектронного преобразователя с внешним коллектором* в виде цилиндра 1, содержащим спиральную сетку 2 и накаливаемую нить катода 3. Электроны, вышедшие из катода, ускоряются по направлению к сетке, находящейся под положительным потенциалом. Ввиду большой прозрачности сетки значительная часть электронов пролетает в пространство сетка – коллектор, где и происходит ионизация. Образованные положительные ионы собираются коллектором, имеющим небольшой отрицательный потенциал относительно катода. Электроны при дальнейшем движении оказываются в тормозящем поле и отталкиваются от коллектора в обратном направлении. Далее, ускорившись и пройдя сетку, они снова попадают в тормозящее поле сетка – катод. Если на этом пути электрон растратил часть энергии на возбуждение или ионизацию, то он не достигнет катода и снова повторит колебательное движение. **Колебания эмитированных катодом электронов около витков сетки увели-**

чивают длину траектории электронов и повышают вероятность ионизации молекул газа.

Постоянная типового термоэлектронного преобразователя при токе эмиссии 5 мА составляет примерно 10^{-3} А/Па.

Верхний предел измерения соответствует нарушению линейности градуировочной характеристики, когда λ_e становится меньше расстояния между электродами. При высоких давлениях заметными по сравнению с электронными становятся ионные токи и токи пространственного заряда положительных ионов. Вторичная ионизация может привести к зажиганию газового разряда и повреждению катода. Верхний предел измерений составляет примерно 10^{-1} Па.

Нижний предел измерения определяется фоновыми токами в цепи коллектора, которые не зависят ни от давления, ни от коэффициента чувствительности, и которые практически невозможно выделить из общего измеряемого тока. Эти токи вносят в показания вакуумметра ошибку, определяемую выражением

$$p' = \frac{1}{K_{\text{и}}} \frac{I_{\text{и}} + I_{\text{ф}}}{I_e} = p \left(1 + \frac{I_{\text{ф}}}{I_{\text{и}}} \right),$$

где $I_{\text{ф}}$ – фоновый ток; p' – измеряемое и p – истинное давления. При $I_{\text{и}} \gg I_{\text{ф}}$ ошибка незначительна. При низких давлениях и, соответственно, малых $I_{\text{и}}$ ошибка возрастает, и в пределе получим

$$p' \approx \frac{1}{K_{\text{и}}} \frac{I_{\text{ф}}}{I_e}.$$

Причинами паразитного фонового тока являются:

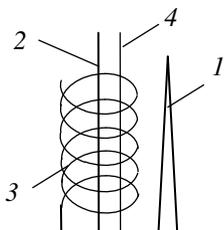
- фотоэмиссия электронов с коллектора, вызванная электромагнитным излучением катода и мягким рентгеновским излучением анодной сетки при её бомбардировке электронами;
- десорбция ионов с анода в результате его бомбардировки электронами;
- токи утечки.

Главная причина возникновения фонового тока – эффект рентгеновского излучения. В итоге нижний предел измерений вакуумметра повышается до 10^{-5} Па.

Таким образом, основным недостатком триодного вакуумметра, несмотря на высокую эффективность собирания ионов коллекто-

ром и, поэтому, высоким коэффициентом чувствительности такого прибора, являются значительные паразитные токи, а следовательно – довольно высокое предельное давление. Эти токи образуются благодаря большой поверхности охватывающего остальные электроды цилиндрического коллектора, который поглощает почти всё мягкое рентгеновское излучение.

Для расширения нижнего предела измерения нужно обеспечивать максимально возможную чувствительность при минимальных фоновых токах. Существенное уменьшение фоновых токов наблюдается в конструкции *преобразователя с осевым коллектором* (рис. 3.13), где катод *1* и коллектор *2* как бы поменялись местами. В такой конфигурации электродов значительно уменьшен телесный угол, в котором рентгеновское излучение сетки–анода *3* попадает на коллектор, и фототок также уменьшится на 2–3 порядка по сравнению с током в обычном преобразователе. Все устройство может быть защищено цилиндрическим экраном.



Р и с. 3.13. Схема ионизационного преобразователя вакуумметра Байярда–Альперта

Если катод расположен на небольшом расстоянии от сетки, то ионизация газа происходит в сравнительно большом объеме внутри спиральной сетки. Благодаря соответствующему профилю электрического поля основная часть ионов, возникающая в пространстве сеточного анода, будет собираться на центральном коллекторе. Это до некоторой степени компенсирует отсутствие прежних условий для колебательного движения электронов (однако в конструкциях с цилиндрическим экраном такие колебания возможны). Поэтому чувствительность данного преобразователя сравнима с триодной конструкцией. Нижний предел измерений такого вакуумметра увеличен до 10^{-8} Па.

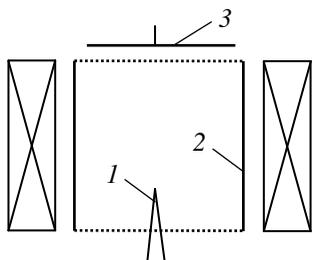
Для еще большего расширения нижнего предела измерений выполняются оценка величины фонового тока и её учет при измере-

ниях. Для этого применяется дополнительный электрод – модулятор 4, встраиваемый в конструкцию стандартного преобразователя с осевым коллектором (рис. 3.13). При потенциале модулятора, равном потенциалу анода, ионный ток к коллектору не изменяется и будет равен $I_1 = I_{\text{и}} + I_{\text{ф}}$. При потенциале модулятора, равном потенциалу коллектора, некоторая часть тока коллектора – $\alpha I_{\text{и}}$ – будет ответвляться на модулятор. При этом токи, вызванные рентгеновским излучением, не изменятся. Ток коллектора станет равным $I_2 = (1 - \alpha) \cdot I_{\text{и}} + I_{\text{ф}}$. Следовательно, можно определить не возмущенную фоновым током разность $I_1 - I_2 = \alpha I_{\text{и}}$, где α – коэффициент модуляции. Для типичного модуляционного вакуумметра $\alpha \approx 0,6$. Таким образом, **в модуляционном преобразователе исключается влияние фонового тока** и возможно градуировать преобразователь по линейной зависимости ионного тока $\alpha I_{\text{и}}$ от давления. Введение модулятора позволяет измерять ионные токи на уровне фоновых и расширить предел измерений до 10^{-10} Па, т.е. на уровне сверхвысокого вакуума.

В термоэлектронном преобразователе максимальный фоновый ток, вызванный рентгеновским излучением, пропорционален току термоэмиссии: $I_{\text{ф}} = a I_{\text{е}}$, где a – постоянная величина. Отсюда следует, что отношение

$$I_{\text{и}}/I_{\text{ф}} = K_{\text{и}} p I_{\text{е}} / a I_{\text{е}} = K_{\text{и}} p / a$$

остается постоянным и **расширение предела измерений может быть получено за счет повышения чувствительности ионизационных преобразователей**. Одним вариантом повышения чувствительности является использование конструкции преобразователей по типу орбитронного насоса (см. 2.3.3), где длина траектории электронов резко увеличивается в логарифмическом электрическом поле. В других конструкциях преобразователь размещается в магнитном поле (рис. 3.14), в котором электроны от катода 1 к аноду 2 движутся по спирали так, что путь ионизации и, соответственно, вероятность ионизации значительно возрастают. Электроны из термокатода попадают на цилиндрический анод после потери энергии при столкновениях с молекулами газа. Ток ионов поступает на дисковый коллектор 3 в торце анода. В такой конструкции преобразователя предел измерения может быть расширен вплоть до 10^{-12} Па.



Р и с. 3.14. Термоэлектронный преобразователь с магнитным полем

Эффективность ионизации зависит от рода газа, поэтому ионизационный преобразователь имеет неодинаковую чувствительность к различным газам. Если преобразователь, градуированный по воздуху, применяется для измерения давления других газов, то необходимо учитывать относительную чувствительность ионизационного вакуумметра. Из условия равенства ионных токов при измерении давления разных газов запишем

$$I_{и}/I_e = K_1 p_1 = K_2 p_2 = \dots,$$

откуда следует, что давление $p_i = p_B / C_i$, где $C_i = K_i / K_B$ – относительная чувствительность к i -му газу. При измерении давления смеси газов из условия равенства ионных токов имеем

$$K_{см} p_{см} = K_1 p_1 + K_2 p_2 + \dots$$

Поделив это уравнение на K_B , получим

$$K_{см} p_{см} / K_B = C_1 p_1 + C_2 p_2 + \dots,$$

откуда

$$C_{см} = \sum C_i V_i, \quad \text{где } V_i = p_i / p_{см}.$$

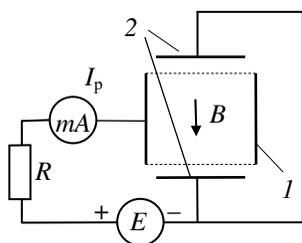
Следует учитывать тот факт, что ионизационный преобразователь обладает собственным откачивающим действием в силу происходящего в нем процесса уноса ионизованных частиц газа (ионная откачка). Быстрота откачки таких датчиков составляет 10^{-3} – 10^{-1} л/с, что в некоторых случаях может привести к заметным ошибкам измерения.

Магнитные электроразрядные вакуумметры

Другим способом решения проблемы паразитных токов и повышения чувствительности ионизационных преобразователей является **использование принципа зависимости от давления тока**

самостоятельного газового разряда, возбуждаемого в скрещенных магнитном и электрическом полях. На этом принципе основана работа *магнитных электроразрядных вакуумметров*.

При размещении разрядного промежутка в магнитном поле ионизация газа при пониженном давлении происходит намного интенсивнее. Удлинение траектории электронов в скрещенных электромагнитных полях эквивалентно увеличению давления газа, что при прочих равных условиях приводит к значительному снижению предела измеряемых давлений. Электродные системы, обеспечивающие поддержание самостоятельного газового разряда при высоком и сверхвысоком вакууме, бывают нескольких видов.



Р и с. 3.15. Схема вакуумметра Пеннинга

Впервые этот принцип измерения давления газов был реализован в *вакуумметре Пеннинга* с преобразователем в виде соответствующей разрядной ячейки. Магнитное поле направлено вдоль оси системы электродов (рис. 3.15), состоящей из цилиндрического анода *1* и двух дисковых катодов *2* по торцам анода. На анод подается положительное относительно катодов напряжение 2–6 кВ, приводящее к ионизации в газе. Ионная бомбардировка холодных катодов вызывает эмиссию электронов, которые ускоряются электрическим полем и в результате наложения магнитного поля начинают двигаться по длинной циклоиде. Одновременно накладывается колебательное движение между противокатодами. В результате электроны успевают совершить несколько сотен оборотов, что приводит к высокой эффективности ионизации газа. Число образующихся ионов увеличивается, и между электродами зажигается тлеющий разряд.

Значение магнитной индукции выбирается больше критического, соответствующего равенству диаметров анода и окружности, по которой движется электрон. Его величина составляет $\sim 0,1$ Тл. На

движение положительных ионов, в силу большой их массы, магнитное поле практически не влияет.

Измеряя общий ток разряда I_p , который является характеристикой давления, определяют величину давления:

$$I_p = I_H + I_e = Cp^n,$$

где C и n – постоянные: $C = 10^{-2} - 10^{-1}$ А/Па; $n = 1 - 1,4$. Отсюда получим измерительное уравнение магнитного преобразователя:

$$I_p = K_M p,$$

где $K_M = Cp^{n-1}$ – чувствительность магнитного преобразователя. Таким образом, **разрядный ток магнитного преобразователя нелинейно зависит от давления.**

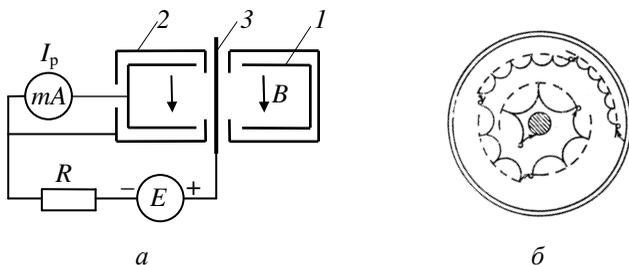
Верхний предел измерения связан с ограничением максимального разрядного тока балластным сопротивлением, защищающим измерительный прибор от возникновения дугового разряда. Для расширения верхнего предела измерения следует уменьшить анодное напряжение и размеры разрядного промежутка. Обычно верхний предел измерения находится в области давлений 10–100 Па.

Для данного преобразователя нижний предел измерений составляет 10^{-5} Па. При более низких давлениях тлеющий разряд либо гаснет, либо не зажигается.

В вакуумметрах этого типа рентгеновское излучение не ограничивает измеряемое давление снизу, поскольку вызываемый им паразитный электронный ток зависит от давления. Однако вследствие высокого потенциала близкорасположенного анода может возникать **автоэлектронная эмиссия с катода** (особенно по его краям), которая не зависит от давления и, следовательно, **является фоновым током, ухудшающим характеристики прибора.**

Проблема автоэлектронной эмиссии и затухания разряда преодолевается в конструкциях преобразователей магнетронного типа.

В *инверсно-магнетронном вакуумметре* преобразователь представляет собой трехэлектродное устройство (рис. 3.16, а). Коллектор 1 выполнен в форме почти полностью закрытого цилиндра. Катод 2 имеет две короткие экранные трубки, которые входят в полость коллектора и служат электростатической защитой от возникновения автоэлектронной эмиссии. Анодный стержень 3 расположен по оси системы.



Р и с. 3.16. Схема инверсно-магнетронного вакуумметра (а) и траектория движения электрона (б)

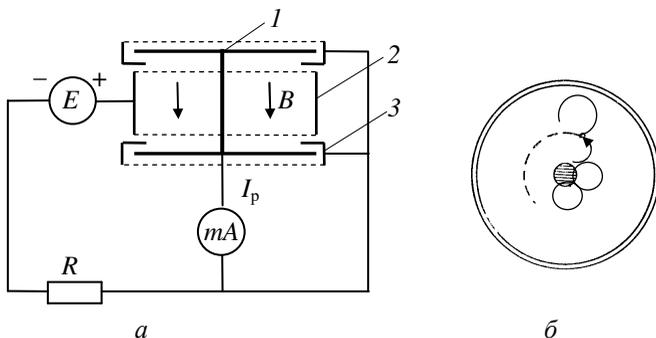
В такой электродной системе электроны движутся по длинным циклоидальным траекториям (рис. 3.16, б), образованным окружностью диаметром

$$D = 2mE/qB^2,$$

катящейся по окружности осевого радиуса r с угловой частотой вращения $\omega = qB/m$ и тангенциальной скоростью $v_t = E/B$, где E – напряженность электрического поля; B – магнитная индукция; m и q – масса и заряд электрона. Приближение электронов к аноду возможно только в результате соударений с молекулами газа, сопровождающихся потерей энергии и уменьшением радиуса орбиты вращения электрона. После многократных столкновений, когда электрон теряет запас кинетической энергии, он попадает на анод.

Этим механизмом обеспечивается поддержание разряда при очень низких давлениях. Анодное напряжение составляет ~ 6 кВ, а магнитная индукция $\sim 0,2$ Тл. Зажигание разряда происходит при давлениях ниже 10^{-8} Па, а нижний предел измерений составляет 10^{-10} Па, т.е. возможно измерение и сверхвысокого вакуума.

На рис 3.17 показана схема еще одного магнитного электроразрядного вакуумметра – *магнетронного*. Преобразователь вакуумметра (рис. 3.17, а) напоминает ячейку Пеннинга, в которой две катодные пластинки 1 соединены коаксиальным стержнем соосно анодному цилиндру 2. Для уменьшения эффекта автоэлектронной эмиссии служат вспомогательные катоды 3. Такой преобразователь имеет практически линейную градуировочную характеристику в диапазоне измеряемых давлений 10^{-2} – 10^{-8} Па.



Р и с. 3.17. Схема магнетронного вакуумметра (а)
и траектория движения электрона (б)

Магнитные преобразователи так же, как и электронные, имеют неодинаковую чувствительность к различным газам.

Быстрота откачки колеблется для магнитных преобразователей в зависимости от рода газа и режима работы в пределах $10^{-2}-1$ л/с, что значительно больше, чем для электронных. Поэтому при наличии вакуумного сопротивления между преобразователями и вакуумной камерой возможно увеличение погрешности измерений.

Преимуществом магнитного преобразователя перед электронным является более высокая надежность в работе в связи с заменой накаливаемого катода холодным, а недостатком – нестабильности, связанные с колебаниями работы выхода электронов при загрязнении поверхностей катодов.

3.2.5. Градуировка вакуумметров общего давления

Преобразователи для косвенных измерений давления, показания которых не могут быть рассчитаны с необходимой для практики точностью, **градуируются путем сличения их показаний с показаниями образцовых приборов:** механических и компрессионных вакуумметров.

Образцовыми средствами измерения называются приборы, чьи постоянные или градуировочные характеристики определяются расчетным путем и которые используются в качестве исходных для градуировки других приборов. Для образцовых средств измерения

погрешность градуировки должна быть не более 1–5 %. Еще такие приборы называют *образцовыми средствами измерения первого разряда*. Приборы, проградуированные по образцовым первого разряда и используемые для последующей градуировки других приборов, называются *образцовыми средствами измерения второго разряда*. Их погрешность градуировки должна быть до 10–15 %.

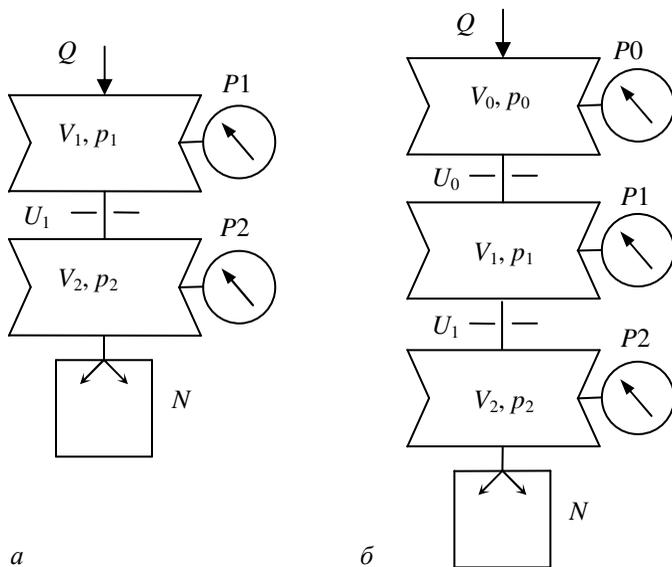
Существует **два основных метода градуировки вакуумметров: статический и динамический**. При использовании статического метода градуируемый вакуумметр подсоединяется к вакуумной камере вблизи образцового и производится сравнение показаний обоих приборов. Конструкция камеры должна обеспечивать одинаковое давление по всему объему, т.е. недопустимо наличие газовых потоков. Кроме того, вакуумная система должна обеспечивать достижение и сохранение значительно более низкого давления по сравнению с требуемым для проведения измерений, что необходимо для исключения влияния натеканий и сорбционных процессов на поверхностях. Этот метод наиболее целесообразно использовать для вакуумметров с рабочим диапазоном давлений 10–10⁻³ Па.

Для расширения диапазона давлений при градуировке можно применять *метод изотермического расширения*. Суть этого метода сводится к тому, что небольшое количество газа известного объема V_1 , находящегося при давлении p_1 выше 10⁻³ Па (которое может быть измерено с достаточно высокой точностью ± 1 %), расширяется в камеру известного большого объема V_2 , к которой подсоединен градуируемый вакуумметр и которая предварительно откачана до предельно низкого давления. После расширения и установления равновесия давление газа p_2 определяется по закону Бойля–Мариотта:

$$p_2 = p_1 V_1 / (V_1 + V_2).$$

Дальнейшее понижение давления можно получить, увеличивая число ступеней расширения. При этом особенно важно учесть ошибки, связанные с натеканием, сорбционными процессами на стенках камер и откачивающим действием градуируемого преобразователя.

Более совершенным по сравнению со статическим методом является динамический метод градуировки вакуумметров (метод потока).



Р и с. 3.18. Схемы динамической градуировки вакуумметров по калиброванным проводимостям с двумя (а) и тремя (б) камерами

Две камеры (рис. 3.18, а) соединяются между собой патрубком с известной проводимостью U_1 . Газ из этих камер непрерывно откачивается. В этом случае, при известном входном калиброванном потоке Q , можно записать для условий равновесия и молекулярного течения газа

$$Q = U_1 \cdot (p_1 - p_2) = S_2 p_2,$$

где p_1 и p_2 – давления в первой и во второй камерах; S_2 – эффективная быстрота откачки насосом второй камеры. Давление p_2 должно быть по возможности минимальным; тогда в первой камере, используемой для градуировки, получаем $p_1 = Q/U_1$. Сложность представляет измерение потока в условиях высокого вакуума. Кроме того, расход газа должен значительно превосходить скорость газовыделения со стенок камер.

Альтернативный метод реализуется в трехкамерной динамической системе (рис. 3.18, б) с установленными между камерами калиброванными проводимостями U_0 и U_1 . Метод основан на изме-

рении перепада давления на проводимости U_0 . Для трехкамерной системы получаем

$$Q = U_0 \cdot (p_0 - p_1) = U_1 \cdot (p_1 - p_2) = S_2 p_2.$$

На практике величина U_0 выбирается настолько малой, что давление p_0 может достигать значений порядка 10^{-1} Па, и, следовательно, может быть измерено прямыми методами с достаточной точностью. Подбирая такие условия, чтобы $S_2 > U_1$, а $U_1 > U_0$ ($U_1/U_0 \approx 10^5$), можно записать

$$Q = U_0 p_0 = U_1 p_1 = S_2 p_2,$$

откуда $p_1 = U_0 p_0 / U_1$.

Поскольку давление определяется величиной отношения U_0/U_1 , а проводимости U_0 и U_1 одинаковым образом зависят от температуры и молекулярной массы газа, на параметры откалиброванной системы эти параметры влиять не будут.

Для систем высокого вакуума вполне достаточно точности градуировки с погрешностью $\pm 10\%$; градуировку вакуумметров с этой точностью возможно проводить вплоть до 10^{-8} Па. При более низких давлениях приходится применять экстраполяцию градуировочных характеристик или выполнять сравнение по нескольким вакуумметрам. При этом точность градуировки естественно снижается. Кроме того, необходимо учитывать, что чувствительность преобразователей при эксплуатации может изменяться и достаточно существенно, вплоть до 25% .

В идеальном случае вакуумметр должен градуироваться по каждому газу. Однако в действительности достаточно выполнить градуировку по какому-то одному газу, а затем воспользоваться известными коэффициентами относительной чувствительности. Градуировка по азоту, а также по инертным газам, не вызывает осложнений. Активные газы (кислород, водород) могут реагировать с материалами вакуумметра либо хемосорбироваться на поверхностях вакуумной системы. Поэтому достоверность определения давления активных остаточных газов всегда намного ниже, чем того же азота.