

521.1
3-24
11

К. С. ЗАРЕМБО

ИЗМЕРЕНИЕ
ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ



110

О Н Т И • Д Н Т В У • Н К Т И

11590

✓





К. С. ЗАРЕМБО

у
№ 595
621.1
3-34

ПЕРЕУЧЕТ
1940 г.



ИЗМЕРЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ



проведено
1966 г.

✓
с/а



ОНТИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ НКТП
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ
Харьков 1937

Библиографическое описание
этого издания помещено в
„Летописи Укр. печати“ „Кар-
точном реперт.“ и других ука-
зателях Укр. Книжн. Палаты.

50 — 5 — 3

Ответственный редактор *М. Л. Юхновский*
Литредактор *М. С. Марковский*
Техоформление *О. А. Кадашевич*
Корректора *А. И. Драгоманова, С. Г. Власова*

Типография Государственного научно-технического издательства Украины
Киев, Крещатик, 42

ПРЕДИСЛОВИЕ

Количественный и качественный рост в нашей стране газового хозяйства во всех его многообразных видах заставляет нашу техническую мысль уже сейчас уделять весьма серьезное внимание установлению правильных организационных форм ведения этого хозяйства, разработке методики учета газов, конструированию и изготовлению необходимой для этого контрольно-измерительной аппаратуры, — словом, всему комплексу вопросов, удачное и правильное разрешение и осуществление которых предопределяет нормальное развитие газового дела вообще. Все эти вопросы на фоне предстоящего у нас развития добычи, выработки и потребления природных газов, генераторных газов, газов крекинговых заводов, коксовых газов, доменных газов, газов подземной газификации углей, газов подземной газификации нефтяных пластов и множества других, — приобретают особую остроту.

Эта книга посвящена специальному вопросу — методам и приборам для количественного измерения технических газов. В деле учета технических газов методика и контрольно-измерительная аппаратура для измерения количества этих газов занимают ведущую роль; без них никакого учета быть, конечно, не может.

Поразительный прогресс в развитии газового дела в передовых зарубежных странах за последние пятнадцать-двадцать лет создал серьезную научную и техническую дисциплину по измерению газовых потоков. О внимании, которое уделяется научными, техническими и хозяйственными кругами за границей вопросам измерения газов, свидетельствует обилие и высокая степень совершенства приборов, которые изготавливаются различными фирмами для этой цели, и широкое внедрение этих приборов в промышленную практику.

Если проследить историю развития этой области контрольно-измерительной техники, то представится интересная и весьма поучительная картина быстрой эволюции как в части конструктивного оформления приборов и аппаратов, так и в части теоретического обоснования многочисленных методов количественного измерения газовых потоков. Эта поучительная картина ценна не только тем, что она дает характеристику пройденных

этапов; она ценна, главным образом, тем, что характеризует современные пути, направления и тенденции работы творческой мысли в области создания более совершенных методов и приборов для измерения газовых потоков.

Несмотря на весьма высокое совершенство современной методики и современной аппаратуры по измерению промышленных газов, пути дальнейшего совершенствования остаются далеко не ограниченными какими-либо рамками. Повидимому, три основные задачи должны будут на ближайшем этапе привлечь к себе внимание теоретиков и практиков контрольно-измерительного дела: первая задача — создание достаточно чувствительных приборов для количественного измерения пульсирующих газовых потоков, вторая задача — создание совершенных приборов, которые автоматически указывали бы измеренное количество газа в *нормальных* объемных единицах или весовых единицах, т. е. с поправкой на температуру и давление, и, наконец, третья задача — совершенствование приборов с передачей их показаний на большие расстояния. По всем этим направлениям за последние годы достигнуты солидные успехи, как это можно видеть по материалам этой книги, но эти успехи не достаточны для удовлетворения возросших запросов промышленной практики.

Заграничная техническая литература не богата трудами, специально посвященными количественному измерению промышленных газов; материалы как теоретического, так и прикладного характера по этому вопросу в большинстве случаев помещены или в общих руководствах по газовому делу, или в периодической литературе. Из специальных по этому вопросу трудов надо отметить труд Л. Литинского „Messung grosser Gasmengen“, изданный в Германии в 1922 г., и труд Э. Оуэра „The Measurement of Air Flow“, изданный в 1927 г. в Англии и вышедший в 1935 г. в русском переводе.

В нашей технической литературе нет до сего времени ни одного руководства или даже монографии, специально посвященной вопросу количественного измерения промышленных газов. Книга Э. Оуэра в русском переводе восполняет этот пробел, но только частично, ибо она далеко не охватывает всех известных методов и приборов по измерению газов, и к тому же посвящена измерению только *воздушных* потоков.

При составлении данного руководства использованы по возможности все известные мне материалы, помещенные как в заграничной, так и отечественной литературе; использован также личный опыт и наблюдения отдельных наших специалистов в этой области.

Из заграничной литературы в первую очередь использованы материалы книги Литинского. Несмотря на то, что со времени издания книги Литинского прошло пятнадцать лет, материалы этой книги сохранили интерес для характеристики пройденных

газоизмерительной техникой этапов; отдельные ее разделы, посвященные теоретическим основам ряда классических методов количественного измерения газовых потоков, остаются ценными и в наши дни. Все, что в труде Литинского представляет для нас интерес, помещено в той или иной форме на страницах данной книги. Так, например, в главе II помещено по Литинскому описание методики и примеры по определению удельного веса газов, в главе III и IV — изложение методики измерения давлений с помощью пневмометрических трубок и манометров; По Литинскому дается описание в различных главах тех измерительных приборов, которые представляют в настоящее время тот или иной интерес; из этого же источника заимствованы (с внесением ряда поправок) таблицы и диаграммы, помещенные в конце книги. Перевод материалов книги Литинского сделан инж. О. Г. Сегалович.

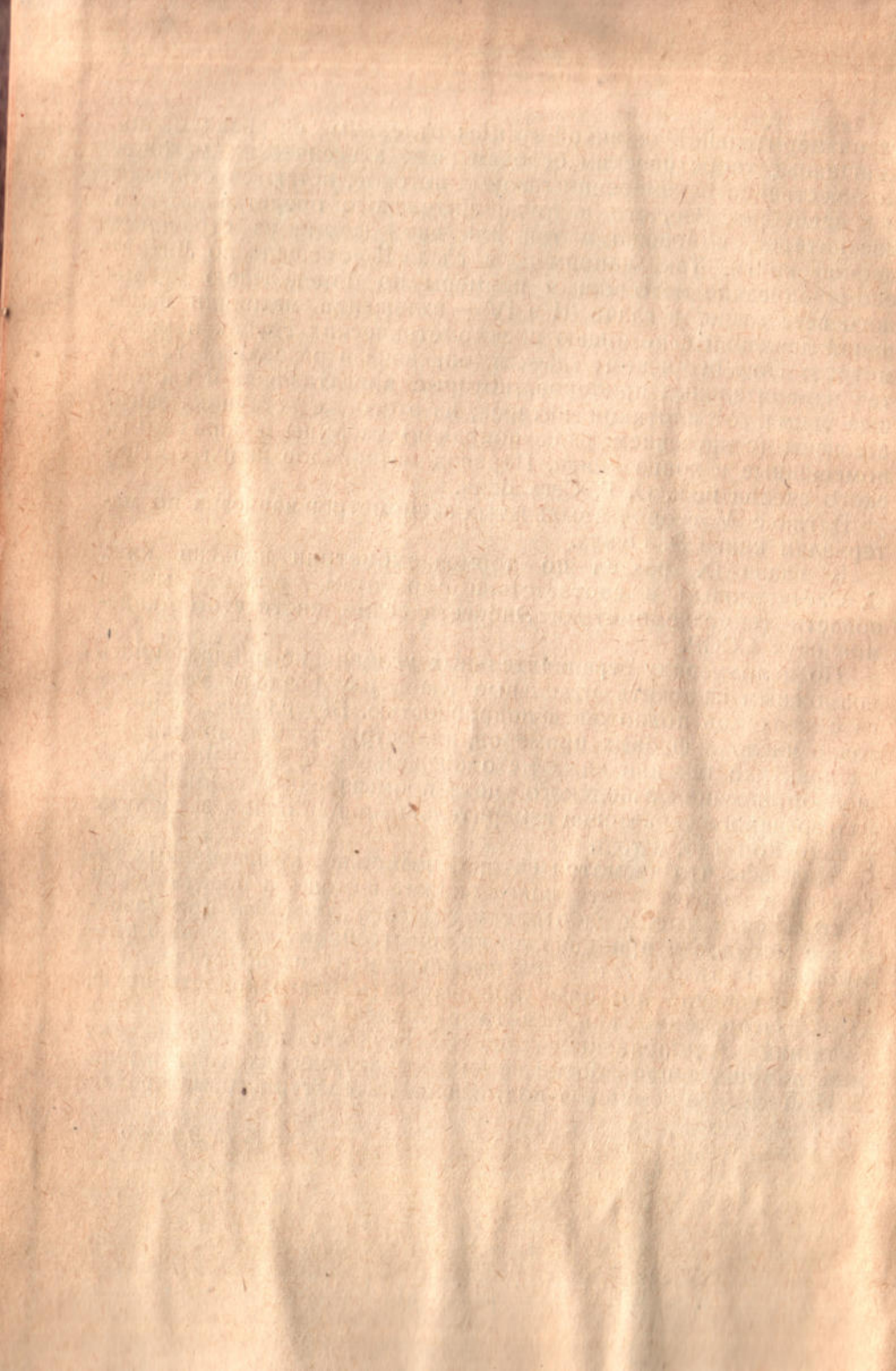
В главе V теория крыльчатых анемометров написана по материалам книги Э. Оуэра.

В главе IX раздел по термоанемометрии написан инж. С. С. Чугуновым в соответствии с работами, проводимыми в области термоанемометрии Энергетическим институтом Академии наук СССР.

По целому ряду ограничительных условий не представилось возможным изложить отдельные главы или разделы этой книги с желаемой полнотой и подробностью. Безусловно, недостаточно число цифровых примеров, иллюстрирующих применение на практике тех или иных методов измерения; все вопросы общей организации заводского учета промышленных газов и централизованного управления измерительными приборами затронуты только попутно, и т. д.

Надеюсь, что несмотря на ряд, возможно, существенных дефектов и недочетов эта книга окажет помощь в практической деятельности нашим работникам газового дела как при разработке методов и приборов по количественному измерению промышленных газов, так и при применении их на практике.

В заключение позволю себе выразить благодарность проф. Д. В. Нагорскому за просмотр рукописи книги и ряд ценных указаний и дополнений, доц. П. Н. Федотову, оказавшему мне помощь в проработке первых теоретических глав, и инж. Б. И. Лосеву за помощь в подыскании литературного материала.



ЗАКОНЫ СОСТОЯНИЯ ГАЗОВ И ИХ ДВИЖЕНИЯ

А. ЗАКОНЫ СОСТОЯНИЯ ГАЗОВ

Количества газов сравнительно редко указываются в весовых единицах; до сего времени в промышленной практике они указываются в большинстве случаев в объемных единицах.

При определении объема данного газа необходимо учитывать состояние этого газа, — его температуру и давление, а также степень насыщения газа влагой. В целях получения сравнимых результатов обычно принято приводить измеренные объемы к нормальным условиям и указывать в метрических единицах при температуре 0°C и давлении 760 мм рт. столба с соответствующей поправкой на содержание водяных паров.

Показание приведенного объема вполне равноценно показанию веса измеренного газа, так как, например, 1 м³ сухого воздуха при 0°C и 760 мм рт. ст. всегда весит 1,293 кг.

Для передвижения газовых и воздушных потоков по трубопроводам, что почти всегда бывает на промышленных предприятиях, требуется известное избыточное давление или же разрежение. Таким образом, давление, под которым находится перемещаемый газ в трубопроводах, равно сумме давления наружного воздуха, т. е. барометрического давления, плюс избыточное давление (при отсасывании — минус величина отрицательного давления), которое обычно определяется микроманометром или манометром. Избыточное давление или разрежение, измеренное в мм вод. ст., можно пересчитать в мм рт. ст., для чего давление, указанное водяным манометром, надо разделить на плотность ртути, т. е. на 13,5955 (округленно 13,6).

Закон Бойля-Мариотта. По закону Бойля-Мариотта объемы газа при постоянной температуре обратно пропорциональны давлениям. Пусть V и V_1 — объемы, P и P_1 — давления, которые соответственно испытывает одна и та же масса газа; тогда $V:V_1 = P_1:P$ или $V_1 = \frac{V \cdot P}{P_1}$. Если объем V газа измерен при барометрическом давлении b , выраженном в мм рт. ст., то при давлении 760 мм рт. ст. этот объем будет равен:

$$V_{760} = \frac{V \cdot b}{760} \quad (1)$$

Таким образом, изменение давления, например, на 7,6 мм рт. ст. соответствует изменению объема приблизительно на 1%.

Если газ находится под *избыточным* давлением p мм рт. ст., то

$$V_{760} = \frac{V(b+p)}{760}. \quad (2)$$

Закон Гей-Люссака. Изменение температуры газа также влечет за собой изменение его объема. Согласно закону Гей-Люссака объемы газов при постоянном давлении изменяются пропорционально температуре. Коэффициент расширения газов с небольшими отклонениями составляет:

$$\alpha = \frac{1}{273} = 0,003663 \text{ объема при } 0^\circ\text{C}.$$

Если при постоянном давлении объем V_t привести от t° к 0° , то объем при 0°

$$V_0 = \frac{273}{273+t} \cdot V_t. \quad (3)$$

Таким образом, изменению температуры, например, на $2,73^\circ\text{C}$ соответствует изменение объема приблизительно на 1%. Если соединить вместе уравнения (2) и (3), то получится следующее уравнение:

$$V_{0,760} = \frac{V \cdot (b+p) \cdot 273}{760(273+t)}. \quad (4)$$

Пример 1. Сухой газовый счетчик показал расход газа в 131 м^3 при $t=19^\circ\text{C}$ и при избыточном давлении газа $p=52 \text{ мм вод. ст.}$ Барометрическое давление $b=749 \text{ мм рт. ст.}$ В действительности показание барометра при температуре ртути в 19°C , соответственно изменению удельного веса ртути с изменением температуры (таблица в Приложении 1), составляет $749 - \sim 3 = 746 \text{ мм рт. ст.}$

Избыточное давление газа $p=52 \text{ мм вод. ст.}$ или $52:13,6 = 4$ (округленно) мм рт. ст. Отсюда количество газа при нормальных условиях равно:

$$V_{0,760} = \frac{131 \cdot (746+4) \cdot 273}{760 \cdot (273+19)} = 120,9 \text{ м}^3.$$

Этот расчет сделан без учета и без поправки на содержание в газе водяных паров.

Как технические газы, так и воздух в большинстве случаев в практике не бывают сухими и содержат то или иное количество водяных паров. При низкой температуре и при нормальном давлении содержание влаги в газах незначительно. Например, при температуре воздуха $+20^\circ\text{C}$ и полном насыщении оно составляет лишь $17,3 \text{ г/м}^3$ при весе 1 м^3 воздуха 1205 г.

Если осушить газ, насыщенный влагой, то давление газа уменьшается на величину, равную упругости водяного пара при данной температуре. Если требуется узнать, какой объем займет сухой газ, то из вышеуказанного давления ($b + p$) надо вычесть упругость водяного пара τ . В таблицах и диаграмме в Приложениях 4, 5 и 8 даны упругости водяного пара в мм ртутного столба при различных температурах.

При введении поправки на влажность уравнение (4) принимает такой вид:

$$V_{0^{\circ}, 760} = V \cdot \frac{b + p - \tau}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} \quad (5)$$

С целью упрощения расчетов при приведении измеренного при данных условиях объема влажного газа к объему сухого газа при нормальных условиях, т. е. при 0° и 760 мм давления, составлены специальные таблицы (Приложения 4 и 5); по этим таблицам можно найти величину поправочного коэффициента, на которую надо помножить измеренный объем, чтобы получить величину приведенного к нормальным условиям объема.

Очень часто объем газа приводят не к 0° , а к 15°C (при вычислении, например, теплотворной способности и т. п.). Тогда уравнение (5) принимает следующий вид (для влажного воздуха или газа);

$$V_{15^{\circ}, 760} = V \cdot \frac{b + p - \tau_t}{760 - \tau_{15}} \cdot \frac{273 + 15}{273 + t} \quad (6)$$

в котором τ_{15} означает упругость водяного пара при 15°C , а τ_t при температуре $t^{\circ}\text{C}$.

Пример 2. Цифровые значения те же, что и в 1-м примере. Измеряемый счетчиком газ полностью насыщен водяными парами. По уравнению (5) объем сухого газа при нормальных условиях равен:

$$V_{0^{\circ}, 760} = 131 \cdot \frac{746 + 4 - 16,5}{760} \cdot \frac{273}{273 + 19} \cong 118,0 \text{ м}^3.$$

Примерно тот же результат получается, если не производить этих вычислений, а пользоваться данными таблицы 7 или диаграммой 8 в „Приложении“; в этих таблицах для данных условий (температуры и давления) поправочный множитель равен 0,9 и приведенный объем сухого газа

$$V_{0^{\circ}, 760} = 131 \cdot 0,9 = 117,9 \text{ м}^3 \cong 118,0 \text{ м}^3.$$

Пользуясь этими же таблицами, можно подсчитать объем газа не при 0° , а при 15°C ; он получается равным:

$$V_{15^{\circ}, 760} = 131 \cdot \frac{0,9}{0,928} = 126,2 \text{ м}^3.$$

Если газ не полностью насыщен водяными парами, то для τ надо принять меньшую величину, соответствующую относительной влажности.

Уравнение состояния газа. По закону Бойля-Мариотта

$$\frac{V}{V_1} = \frac{P_1}{P}.$$

По закону Гей-Люссака

$$\frac{V}{V_1} = \frac{T}{T_1}.$$

Сочетание этих двух уравнений дает:

$$\frac{V \cdot P}{T} = \frac{V_1 \cdot P_1}{T_1} = \text{const} = R$$

или

$$V \cdot P = R \cdot T. \quad (7)$$

В уравнении (7) R является *общей газовой постоянной* и выражается в различной размерности.

Если молекулярный объем и давление принимаются за единицу, то

$$R = \frac{P \cdot V}{T} = \frac{1 \cdot 1}{273} = 0,003663$$

(при нормальных условиях).

Если давление равно одной атмосфере, а объем равен одному грамм-молю, то

$$R = \frac{P \cdot V}{T} = \frac{22,4}{273} = 0,082.$$

Если $P = 1 \text{ атм} = 10\,333 \text{ кг/м}^2$ и $V = 22,4 \text{ м}^3$, то при тех же условиях

$$R = \frac{10\,333 \cdot 22,4}{273} = 848.$$

Газовая константа R для различных газов определяется из отношения:

$$R = \frac{848}{M}, \quad (8)$$

где 848 — газовая константа одного моля,

M — молекулярный вес газа.

По уравнению состояния (7) можно определить вес газа G :

$$G = \frac{P \cdot v}{R \cdot T}, \quad (9)$$

где P — давление в $\text{кг}/\text{м}^2$, равное $10\,000 \cdot p$, если p — в *атм*;
 v — удельный объем (объем 1 кг газа в м^3);
 R — газовая постоянная;
 T — абсолютная температура, равная $t^\circ\text{C} + 273$.

Газовая постоянная смеси нескольких газов определяется по формуле:

$$R_{см} = \frac{G_1 \cdot R_1 + G_2 \cdot R_2 + \dots + G_n \cdot R_n}{G}, \quad (10)$$

где G_1, G_2, \dots, G_n — веса составных частей смеси;
 R_1, R_2, \dots, R_n — газовые постоянные;
 G — общий вес газа.

Закон Авогадро. При одинаковых температурах и давлениях, в одинаковых объемах различных газов содержится одинаковое количество молекул; следовательно, отношение весов равных объемов двух газов равняется отношению их молекулярных весов.

Этот закон позволяет определить вес единицы объема данного газа при 0° или 15°C , если известны молекулярные веса всех компонентов, входящих в состав данного газа.

Пример 3. Молекулярный вес водорода $\text{H}_2 = 2$; вес 1 $\text{м}^3 = 0,0899$ кг . Молекулярный вес метана $\text{CH}_4 = 16$; вес 1 $\text{м}^3 = x$ кг .

$$\frac{2}{16} = \frac{0,0899}{x},$$

отсюда

$$x = \frac{16 \cdot 0,0899}{2} = 0,717 \text{ кг}.$$

Уравнение Ван-дер-Ваальса. При исследовании уравнения состояния газов оказывается, что произведение $P \cdot V$ не во всех случаях является строго постоянной величиной. При низких температурах и высоких давлениях, когда происходит уменьшение межмолекулярного пространства и в связи с этим увеличение силы сцепления молекул, имеет место отклонение газов от законов Гей-Люссака и Бойля-Мариотта. С коррективами, введенными Ван-дер-Ваальсом, уравнение состояния имеет такой вид:

$$(V - b) \cdot \left(P + \frac{a}{v^2} \right) = RT, \quad (11)$$

где a и b — коэффициенты, определяемые опытным путем.

Клаузиус нашел, что коэффициент a с увеличением температуры уменьшается, и ввел четвертую и пятую постоянные. Тогда формула Ван-дер-Ваальса по Клаузиусу приняла такой вид:

$$P = \frac{R \cdot T}{V - b} - \frac{a}{T(V + C)^2} \quad (12)$$

(более ранняя формула),

$$P = \frac{R \cdot T}{V - b} - \frac{A \cdot T^{-n} - B}{(V + C)^2} \quad (13)$$

(более поздняя формула), где R , b , A , B и C — постоянные величины.

По Andrew'у значение этих постоянных для углекислоты следующее [для формулы (12)]:

1) P в кг на m^2 и V в m^3 :

$$R = 19,273; b = 0,000426; a = 5533 \text{ и } C = 0,000494;$$

2) P в атм и V в m^3 :

$$R = 0,001865; b = 0,000426; a = 0,535469; C = 0,000494;$$

3) P в атм и $V = 1$ (при $0^\circ C$ и $P_0 = 1$ атм):

$$R = 0,003688; b = 0,000843; a = 2,0935; C = 0,000977.$$

Клаузиус для формулы (13) нашел следующие значения для A , B , C , R , b и n :

	R	b	A	B	C	n
Эфир . . .	1,4318	0,001088	15,607	0,0044964	0,0006476	1,19233
Вода . . .	47,05	0,000754	45,17	0,00737	0,001815	1,24

Закон Грема. При равных давлениях скорости истечения газов из небольших отверстий обратно пропорциональны корням квадратным из их плотностей:

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} \quad (14)$$

По этому закону легко определить уд. вес газа по отношению к воздуху (принятому за 1). Закон этот приложим исключительно к условиям истечения газов через отверстия тонкостенных диафрагм или сосудов, позволяющих игнорировать величину трения газа о стенки.

Закон Дальтона. Поведение отдельных компонентов смеси газа вытекает из закона Дальтона. Математически этот закон выражается так:

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (15)$$

где P — общее давление газовой смеси,
 p_1, p_2, \dots, p_n — парциальные давления отдельных компонентов.

Закон Дальтона гласит: если в определенном пространстве находится несколько газов, то каждый из них ведет себя так, как если бы он один занимал это пространство.

Общее давление смеси газов равно сумме парциальных давлений составляющих эту смесь компонентов.

Закон Генри и Рауля. Если составные компоненты смеси газов химически не действуют друг на друга, то парциальное давление каждого из них находится по молекулярному, весовому или объемному составу смеси.

Эта зависимость между составом смеси газов и их парциальным давлением выражается законом Генри:

$$p = K \cdot X, \quad (16)$$

где p — парциальное давление какого-нибудь компонента;

K — константа, которая для газовой смеси представляет общее ее давление (закон Рауля);

X — концентрация компонента в газовой смеси.

Из математического выражения закона Генри следует, что парциальное давление какого-либо из составляющих смесь компонентов прямо пропорционально общему давлению в системе и концентрации его в этой смеси.

Этот закон применяется тогда, когда учитывается летучесть компонентов при данной температуре в системе.

В тех случаях, когда летучесть одного компонента мало отличается от летучести другого, тогда применяется закон Рауля:

$$p = P \cdot X, \quad (17)$$

где p и X — имеют то же самое значение, что в законе Генри;

P — общее давление газовой (паровой) смеси.

Из сравнений этих законов следует, что закон Рауля представляет частный случай закона Генри, т. е. когда $K = P$.

Законы Генри и Рауля больше всего применяются для системы „жидкость — пар“ или „жидкость — газ“, но так как зависимость между указанными факторами в приложении к газовой системе не изменяется, то распространение их на газовые смеси остается в силе.

Содержание водяного пара в газе без приведения последнего к нормальным условиям. Когда газ насыщен водяным паром, то необходимо знать или его содержание в граммах на 1 м³ газа или парциальное давление при температуре насыщения; зная одну из этих величин, можно определить другую.

Определение содержания водяного пара в 1 м³ газа и парциального давления его при 760 мм рт. ст. и температуре T° осуществляется следующим образом: молекулярный объем насыщенного водяного пара при 760 мм рт. ст. и T° составляет

$22,4 \cdot \frac{T}{P_s}$ л. Этот объем занимают M г вещества. Следовательно,

вес насыщенного водяного пара в 1 м³ газа будет:

$$G = \frac{1000 \cdot M}{22,4 \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{760}{p_s}} = 16,0 \frac{M \cdot p_s}{T} \text{ г/м}^3, \quad (18)$$

где G — содержание насыщенного водяного пара в 1 м³ газовой смеси в г;

T — абсолютная температура;

p_s — парциальное давление водяного пара при T° ;

M — молекулярный вес водяного пара.

Из формулы (18) парциальное давление p_s определяется:

$$p_s = \frac{1}{16,0} \cdot \frac{G \cdot T}{M} = 0,0625 \frac{G \cdot T}{M}. \quad (19)$$

Содержание водяного пара в газе при приведении последнего к нормальным условиям. При приведении объемов смеси газов к нормальным условиям абсолютное содержание отдельных компонентов в единице объема (1 м³) изменяется, но относительное их содержание остается неизменным и не зависит от того, даны ли они в весовых или объемных процентах.

В той же зависимости находится и изменение абсолютного содержания влаги 1 м³ смеси газов. Таким образом, предыдущие формулы (18) и (19) для приведенных объемов газовой смеси к 0°C и 760 мм рт. ст. принимают следующий вид:

$$G_{н.м.} = \frac{1000 \cdot M}{22,4 \cdot \frac{273}{273} \cdot \frac{760}{p_s}} = 0,0587 \cdot M \cdot p_s; \quad (20)$$

$$p_s = \frac{1}{16,0} \cdot \frac{G_{н.м.} \cdot 273}{M} = 17,06 \cdot \frac{G_{н.м.}}{M}. \quad (21)$$

Например, упругость насыщенного водяного пара при 25°C составляет 23,8 мм рт. ст.; содержание водяного пара в 1 м³ какой-либо смеси газов по формулам (20) и (21) при 25°C и при нормальных условиях будет:

$$G = 16,0 \frac{18 \cdot 23,8}{273 + 25} = 23,0 \text{ г};$$

$$G_{н.м.} = 0,0587 \cdot 18 \cdot 23,8 = 25,14 \text{ г}.$$

Пересчет объемных процентов в весовые и обратно. При измерении газов часто приходится производить пересчеты объемных процентов в весовые и обратно, находить „кажущийся“ или „средний“ молекулярный вес, определять парциальные давления отдельных компонентов и т. д.

Все указанные манипуляции производятся по следующим формулам.

Кажущийся или средний молекулярный вес. Гомогенная смесь одного грамм-моля газа при 0°C и 760 мм рт. ст. занимает объем 22,4 л.

Смесь газов, состоящая из V_1, V_2, \dots, V_n объемов отдельных компонентов, будет иметь вес:

$$V_1 \frac{M_1}{22,4} + V_2 \frac{M_2}{22,4} + \dots + V_n \frac{M_n}{22,4} z;$$

зная, что общий объем смеси газов $V_1 + V_2 + \dots + V_n = V$, можно найти вес одного литра этой смеси в z :

$$\begin{aligned} & \frac{V_1 \frac{M_1}{22,4} + V_2 \frac{M_2}{22,4} + \dots + V_n \frac{M_n}{22,4}}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \\ & = \frac{V_1 \frac{M_1}{22,4} + V_2 \frac{M_2}{22,4} + \dots + V_n \frac{M_n}{22,4}}{V}. \end{aligned}$$

Средний молекулярный вес газа будет:

$$\begin{aligned} M_{cp} &= 22,4 \frac{V_1 \frac{M_1}{22,4} + V_2 \frac{M_2}{22,4} + \dots + V_n \frac{M_n}{22,4}}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \\ &= 22,4 \cdot \frac{V_1 \frac{M_1}{22,4} + V_2 \frac{M_2}{22,4} + \dots + V_n \frac{M_n}{22,4}}{V} = \quad (22) \\ &= \frac{V_1 M_1 + V_2 M_2 + \dots + V_n M_n}{V}. \end{aligned}$$

С другой стороны, если смесь газов дана в весовых процентах, то средний молекулярный вес можно найти по формуле:

$$\begin{aligned} M_{cp} &= \frac{G_1 + G_2 + \dots + G_n}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \dots + \frac{G_n}{M_n}} = \\ &= \frac{100}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \dots + \frac{G_n}{M_n}}, \quad (23) \end{aligned}$$

где G_1, G_2, \dots, G_n — весовые проценты отдельных компонентов газовой смеси, в сумме составляющие 100%;
 M_1, M_2, \dots, M_n — молекулярные веса этих компонентов.

Определение весовой и молярной концентрации. Если смесь газов дана в объемных единицах, в сумме составляющих 100,

то весовое процентное содержание каждого из компонентов определяется по формуле:

$$X = \frac{100 \frac{M_1}{22,4} V_1}{\frac{M_1}{22,4} V_1 + \frac{M_2}{22,4} V_2 + \dots + \frac{M_n}{22,4} V_n} = \frac{100 M_1 \cdot V_1}{M_1 V_1 + M_2 V_2 + \dots + M_n V_n} \quad (24)$$

Если смесь газов дана в весовых процентах, то молярный процент каждого из составляющих компонентов находится по формуле:

$$X_1 = \frac{100 \cdot \frac{G_1}{M_1}}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \dots + \frac{G_n}{M_n}} \quad (25)$$

Пример 4. По данному составу каменноугольного газа найти его средний молекулярный вес и процент концентрации компонентов, составляющих эту смесь.

Состав каменноугольного газа в объемных процентах:

H_2	= 51,50
CO	= 6,80
CH_4	= 32,00
$C_n H_m$	= 2,80
$C_6 H_6$	= 1,10
CO_2	= 1,70
O_2	= 0,60
N_2	= 3,50.

Тогда по формуле (22) средний молекулярный вес будет:

$$M_{cp} = \frac{(51,5 \cdot 2) + (6,8 \cdot 28) + (32 \cdot 16) + (2,8 \cdot 28) + (1,1 \cdot 78) + (1,7 \cdot 44) + (0,6 \cdot 32) + (3,5 \cdot 28)}{51,5 + 6,8 + 32 + 2,8 + 1,1 + 1,7 + 0,6 + 3,5} = \frac{1161,9}{100} \approx 11,62.$$

Для одной грамм-молекулы $R = \frac{848}{427} = 1,985$ калории. Тогда уравнение (27) примет такой вид:

$$C_p = C_v + 1,985; \quad (28)$$

C_p и C_v представляют собой молекулярную теплоемкость, относенную к одному молю вещества.

Для веществ, имеющих незначительное число атомов в молекуле, величина отношения $\frac{C_p}{C_v}$ находится в простой зависимости от C_p и C_v , именно:

$$\text{для одноатомных газов и паров } \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} = 1,666;$$

$$\text{" двухатомных " " " } \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} = 1,40;$$

$$\text{" трехатомных " " " } \frac{C_p}{C_v} = \frac{9}{7} = 1,285.$$

Для молекул с большим числом атомов это отношение $\frac{C_p}{C_v}$ уменьшается, но всегда остается больше единицы.

Из уравнения (27) и отношения теплоемкостей можно найти C_p и C_v в отдельности следующим образом:

$$\frac{C_p}{C_v} = x. \quad (29)$$

Подставляя в эту формулу вместо C_p и C_v их значения из формулы (28), получаем:

$$C_p = 1,985 \frac{x}{x-1}; \quad (30)$$

$$C_v = 1,985 \frac{1}{x-1}. \quad (31)$$

Удельная теплоемкость. Если C_p и C_v в формулах (30) и (31) разделить на $22,4 \text{ м}^3$ (1 килограмм-моль), то получаются соответственно теплоемкости 1 м^3 газа при 0°С и 760 мм рт. ст. , называемые удельной теплоемкостью, и обозначаемые c_p и c_v .

Теплоемкости газов c_p и c_v , кроме одноатомных газов, с увеличением температуры возрастают. Эта зависимость выражается следующим образом:

$$c_p = c_{p_0} + at, \quad (32)$$

$$c_v = c_{v_0} + at, \quad (33)$$

где c_p и c_v — теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме при 0°C ;

a — константа при 0°C ;

t — температура, при которой определяются теплоемкости c_p и c_v ;

c_p и c_v — называются истинными теплоемкостями.

Для некоторых газов ниже приведены частные формулы для определения удельных теплоемкостей c_p и c_v на единицу веса.

Кислород $c_v = 0,156 + 0,0000332 t$; $c_p = 0,48 + 0,0000332 t$.

Водород $c_v = 2,42 + 0,000526 t$; $c_p = 3,408 + 0,000526 t$.

Азот $c_v = 0,178 + 0,0000378 t$; $c_p = 0,249 + 0,0000378 t$.

Оксид углерода . $c_v = 0,179 + 0,0000378 t$; $c_p = 0,250 + 0,0000378 t$.

Воздух $c_v = 0,172 + 0,0000366 t$; $c_p = 0,241 + 0,0000366 t$.

Средняя удельная теплоемкость для газов выражается формулой:

$$c_t = c_0 + \frac{1}{2} at + \frac{1}{3} bt^2 + \dots \quad (34)$$

где c_t — средняя удельная теплоемкость газа при температуре t° ;

c_0 — удельная теплоемкость газа при 0° ;

a и b — константы при 0° ;

t — температура, в пределах которой определяется C_t (в пределах от 0 до t°).

Б. ДВИЖЕНИЕ ГАЗОВ

Закон Бернулли. Пусть контур $ABCD$ (рис. 1) представляет продольное сечение элементарной струи потока идеальной жидкости. Если поперечные сечения этой элементарной струи PQ и RS весьма близки между собой, то линии PQ и RS можно принять за прямые. Если w и p — скорость и давление в сечении PQ , то для сечения RS скорость и давление будут соответственно равны: $w + dw$ и $p + dp$.

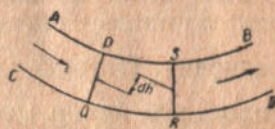


Рис. 1.

Принимая обозначения:

f — площадь сечения PQ ,

γ — объемный вес жидкости,

g — ускорение силы тяжести,

dh — разность отметок центров тяжести сечений PQ и RS и учитывая, что сумма всех действующих сил равна приращению энергии движения, имеем:

$$w \cdot dw + \frac{g \cdot dp}{\gamma} + g \cdot dh = 0,$$

или после интегрирования:

$$\frac{w^2}{2} + gh + \int \frac{g \cdot dp}{\gamma} = C = \text{const.} \quad (35)$$

Величина h представляет собой отметку центра тяжести сечения, отсчитываемую от какой-то условной плоскости сравнения. Если поток горизонтален, то за плоскость сравнения можно взять осевую линию потока и тогда величина h будет равна нулю.

Практически величина $g \cdot h$ чрезвычайно мала по сравнению с суммой остальных членов уравнения (35), поэтому это уравнение в упрощенной форме можно написать так:

$$\frac{w^2}{2} + \int \frac{g \cdot dp}{\gamma} = C. \quad (36)$$

Принимая жидкость несжимаемой, т. е. считая, что γ — постоянная величина, получаем:

$$\frac{\gamma \cdot w^2}{2g} + p = C. \quad (37)$$

Эта форма уравнения Бернулли является наиболее распространенной в практических работах.

При скоростях, имеющих место при движении газов по трубопроводам, эффектом сжатия также можно пренебречь, поэтому уравнение (37) распространяемо не только на жидкости, но и на газы.

Оба члена уравнения (37) имеют размерность силы на единицу площади; такую же размерность имеет и правая часть уравнения. Первый член уравнения $\frac{\gamma \cdot w^2}{2g}$ — это так называемый скоростной напор или динамическое давление; второй член p — статический напор, а сумма этих двух напоров — полный или суммарный напор, создаваемый газом при его движении.

Если на пути движения потока газа установить препятствие, то на это препятствие будет действовать сила потока, равная

$$H = p + \frac{\gamma \cdot w^2}{2g} \text{ кг/м}^2 \text{ или мм вод. ст.} \quad (38)$$

Теоретически это справедливо только при условиях: а) сечение трубки, по которой протекает поток газа, очень мало; б) протекание через трубку прекращено, т. к. другой ее конец присоединен к манометру; в) влияние вязкости на работу трубки исключено и г) трубка не нарушает нормальных условий движения потока.

Опыт показывает, что трубка, помещенная открытым своим концом против течения потока, показывает достаточно точно величину полного напора.

Работы Ваккер'а показали, что влиянием вязкости можно на практике пренебречь, если только поток движется не по узким трубкам и не при малых скоростях; для воздуха, например, можно пренебрегать вязкостью при условии, что произведение $w \cdot d$ будет больше 0,107 (при обыкновенном давлении и температуре), где w — скорость движения воздуха в м/сек, а d — диаметр трубы в м.

Вязкость газов. Различают динамическую и кинематическую вязкость. При прохождении струи газа через капиллярную трубку величина динамической вязкости определяется по закону Гагена-Пуазеля:

$$\eta = \frac{p_1 - p_2}{8 \cdot v \cdot l} \cdot r^4 \cdot \pi \cdot \text{г} \cdot \text{см}^{-1} / \text{сек}^{-1}, \quad (39)$$

где η — динамическая вязкость газа;

$p_1 - p_2$ — перепад давления в капилляре;

v — количество проходящего по капилляру газа в единицу времени;

l — длина капилляра;

r — радиус капилляра.

Кинематическая вязкость ν :

$$\nu = \frac{\eta}{\gamma} \text{см}^2 / \text{сек}, \quad (40)$$

где γ — плотность газа в г/см³.

При прохождении одинаковых количеств двух различных газов (например, коксового газа и воздуха) под одинаковыми давлениями через капиллярные трубки одинаковых размеров, соотношение динамических вязкостей этих газов равно соотношению количества времени прохождения, т. е.

$$\frac{\eta_{\text{газ}}}{\eta_{\text{возд}}} = \frac{Z_{\text{газ}}}{Z_{\text{возд}}}. \quad (41)$$

Это дает возможность измерить величину динамической вязкости исследуемого газа, зная вязкость воздуха.

Динамическая вязкость воздуха по исследованиям Мюллера равна при 0°С

$$\eta_0 = 1728 \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-1} / \text{сек}^{-1}.$$

Эта же вязкость при другой температуре может быть вычислена по формуле:

$$\eta_{20} = \frac{\eta_t}{1 + \varepsilon \cdot \Delta t}; \quad (42)$$

здесь $\Delta t = t - 20$;

ε — температурный коэффициент, который для отдельных газов имеет такие значения:

воздух	270 · 10 ⁻⁵	метан	299 · 10 ⁻⁵
азот	267 „	углекислота	335 „
кислород	279 „	этилен	332 „
водород	247 „	бензол	410 „
окись углерода	263 „		

Эта формула действительна для температур в пределах от -10°C до $+40^\circ \text{C}$.

На основании уравнения (42) динамическая вязкость воздуха при 20°C равна:

$$\eta_{20} = 1827 \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-1} / \text{сек}^{-1} \quad (43)$$

и для газа:

$$\eta_{20^\circ, \text{газ}} = 1827 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{Z_{20^\circ, \text{газ}}}{Z_{20^\circ, \text{возд}}}. \quad (44)$$

Цифровые значения для динамической вязкости η_{20} , кинематической вязкости ν_{20} и объемного веса отдельных компонентов, входящих в состав технических газов, приведены в таблице 1.

Таблица 1

	$\eta_{20} \cdot 10^7$ $\text{г} \cdot \text{см}^{-1} / \text{сек}^{-1}$	$\nu_{20} \cdot 10^6$ $\text{м}^2 / \text{сек}^{-1}$	γ_{20} $\text{кг} / \text{м}^{-3}$
CO ₂	1 474	8,06	1,8292
C ₂ H ₄	1 000	8,58	1,1653
C ₆ H ₆	756	2,33	3,2447
O ₂	2 046	15,38	1,3303
CO	1 760	15,12	1,1640
H ₂	889	106,09	0,0838
CH ₄	1 096	16,44	0,665
N ₂	1 761	15,12	1,1649

Все эти цифровые значения, взятые по литературным источникам, относятся к температуре $+20^\circ \text{C}$.

Проведенные в последнее время экспериментальные проверки⁽¹⁾ величины вязкости технических газов (F. Hering, L. Zipreger) дали такие результаты (см. таблицу 2).

Таблица 2

Наименование газа	Состав газа в объемных %							Объемн. вес γ_{20}^0 кг/м ³	Дин. вяз- кость $\gamma_{20}^0 \cdot 10^7$ гс·см ⁻¹ /сек ⁻¹	Кин. вяз- кость $\nu_{20}^0 \cdot 10^6$ м ² /сек ⁻¹
	CO ₂	C _n H _m	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂			
Коксовый газ . I	1,7	2,1	0,9	6,0	57,5	24,0	7,8	0,4468	1262	28,25
" II	2,1	2,3	0,9	5,7	53,0	24,3	11,7	0,4987	1304	26,15
" III	2,0	2,0	1,4	4,6	54,9	23,5	11,6	0,4802	1310	27,28
Светильн. газ I	3,3	1,4	0,6	3,8	51,3	29,6	10,0	0,4919	1332	27,08
" II	2,2	1,3	0,6	4,1	53,1	29,5	9,2	0,4656	1306	28,05
" III	2,2	1,2	1,0	4,0	52,3	29,9	9,4	0,4729	1307	27,64
Смешан. газ . . .	2,5	1,6	0,8	14,9	53,0	18,1	9,1	0,5278	1355	25,67
Генераторный газ I	4,8	0,5	0,3	26,4	17,2	2,6	48,2	1,0023	1714	17,10
" II	3,5	0,8	0,3	27,3	14,4	3,7	50,0	1,0184	1712	16,81
" III	3,1	0,9	0,5	28,6	17,7	4,2	45,0	0,9779	1715	17,54
Доменный газ I	8,7	—	—	32,8	1,5	0,2	56,8	1,2052	1749	14,51
" II	8,9	—	—	30,7	3,3	0,4	56,7	1,1861	1747	14,73
" III	10,4	—	—	28,5	1,6	—	59,5	1,2164	1738	14,29
" IV	10,6	—	—	29,8	3,9	0,3	55,4	1,1914	1743	14,63
Дымовой газ кокс. печей I	8,6	—	2,3	—	—	—	89,1	1,2256	1756	14,33
" II	13,3	—	3,9	—	—	—	82,8	1,2597	1749	13,88
" III	6,2	—	10,7	—	—	—	83,1	1,2238	1793	14,65

Подсчеты показывают, что приведенные в табл. 2 величины очень близко подходят к теоретическим, полученным путем вычисления; отклонения составляют в среднем $\pm 1^0/0$.

При определении вязкости не капилляром, а керамическим фильтром, формула для вычисления вязкости, согласно расчету Вейгит'а и Манегольд'а, имеет такой вид:

$$\eta = \frac{r^2 \cdot w}{24 \cdot D \cdot d},$$

где r — радиус пор в см;

w — пористость (объем пор) в одном см³ фильтра;

D — объем газа в л/сек, проходящего через 1 см³ фильтра при давлении в 1 см вод. ст.;

d — толщина фильтра в см.

Если наблюдения ведутся с одним и тем же фильтром и при одинаковых скоростях газового потока, то можно это уравнение написать так:

$$\eta = k \cdot \Delta p \cdot Z, \quad (45)$$

где k — константа;

Δp — разность давлений до и после фильтра;

Z — время протекания через фильтр постоянного объема в единицу времени.

Для воздуха при 20°C будет:

$$\eta_{20} = 1827 \cdot \frac{(\Delta p \cdot Z)_{20^\circ, \text{газ}}}{(\Delta p \cdot Z)_{20^\circ, \text{возд}}} \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-1} / \text{сек}^{-1}; \quad (46)$$

здесь пересчет Δp и Z , найденных при $t^\circ \text{C}$, на 20°C осуществляется по уравнению (42).

Для подсчета кинематической вязкости по уд. весу газа s служит формула Richter'a:

$$\nu_{20} = 0,755 + \frac{13,82}{s} - \frac{0,775}{s^2} \text{ м}^2 / \text{сек}^{-1} \cdot 10^{-6}$$

или проще:

$$\nu_{20} = 14,6 \cdot s^{-0,68} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{сек}^{-1}, \quad (47)$$

а для динамической вязкости — приближенная формула:

$$\eta_{20} = 1759 \cdot s^{0,32}. \quad (48)$$

Зависимость динамической вязкости газовой смеси от вязкости отдельных ее компонентов выражается так:

$$\eta_m = \frac{n_1 \cdot \sqrt{m_1} \cdot \eta_{11} + n_2 \cdot \sqrt{m_2} \cdot \eta_{22} + \dots}{n_1 \cdot \sqrt{m_1} + n_2 \cdot \sqrt{m_2} + \dots}; \quad (49)$$

здесь η_m — динамическая вязкость газовой смеси при данной температуре $t^\circ \text{C}$;

$\eta_{11}, \eta_{22}, \dots$ — динамические вязкости компонентов смеси при этой же температуре $t^\circ \text{C}$;

m_1, m_2, \dots — молекулярные веса компонентов;

n_1, n_2, \dots — объемные содержания каждого компонента.

Для газов, имеющих сходные молекулярные веса, эта формула дает точное совпадение с экспериментом (воздух, O_2 , N_2 , CO , NO , C_2H_4 , C_2H_6 , N_2O и C_3H_8).

Для газов, отличающихся незначительно по своим молекулярным весам ($\text{CO} - \text{O}_2$, $\text{N}_2 - \text{O}_2$, $\text{CO} - \text{N}_2$, $\text{CO}_2 - \text{N}_2\text{O}$), отклонения от эксперимента составляют $1-3\%$.

Для газов, резко отличающихся между собой по величине молекулярных весов, например: $\text{C}_2\text{H}_4 - \text{N}_2$, воздух — C_2H_4 , $\text{N}_2\text{O} - \text{C}_3\text{H}_8$, воздух — HCl , воздух — H_2S , $\text{CH}_4 - \text{C}_3\text{H}_8$ и т. д., формула применима с ограничениями; можно для таких газов и смесей

внести коэффициент:

$$\eta_m = 1,03 \cdot \frac{n_1 \cdot \sqrt{m_1} \cdot \eta_1 + n_2 \cdot \sqrt{m_2} \cdot \eta_2 + \dots}{n_1 \cdot \sqrt{m_1} + n_2 \cdot \sqrt{m_2} + \dots} \quad (50)$$

Эта же формула для любой температуры t° :

$$\eta_{it} = (0,974 + 0,0028 t) \cdot \frac{n_1 \cdot \sqrt{m_1} \cdot \eta_1 + n_2 \cdot \sqrt{m_2} \cdot \eta_2 + \dots}{n_1 \cdot \sqrt{m_1} + n_2 \cdot \sqrt{m_2} + \dots}; \quad (51)$$

еще точнее:

$$\eta_m = \frac{n_1 \cdot \sqrt{m_1} \cdot T_{k1} \cdot \eta_1 + n_2 \cdot \sqrt{m_2} \cdot T_{k2} \cdot \eta_2 + \dots}{n \cdot \sqrt{m_1} \cdot T_{k1} + n_2 \cdot \sqrt{m_2} \cdot T_{k2} + \dots}, \quad (52)$$

где T_k — критическая температура, равная для

H ₂	— 32	CH ₄	— 190
N ₂	— 126	C ₂ H ₄	— 283
воздух	— 133	CO ₂	— 304
CO	— 134	N ₂ O	— 310
O ₂	— 154	SO ₂	— 430
NO	— 177		

Ламинарное и турбулентное движение потока по трубам. По классическим исследованиям Осборна Рейнольдса существуют два совершенно отличных вида движения по трубам: 1) ламинарное или параллельно-струйчатое, когда струйки потока жидкости или газа, двигаясь параллельно, не смешиваются друг с другом, и 2) турбулентное (беспорядочное), при котором траектории частиц не прямолинейны, а необычайно извилисты.

При данных размерах трубки и постоянной температуре воды скорость, при которой начинается образование завихрений, является более или менее постоянной, но опыты показали, что с постепенным уменьшением скорости от начальной, при которой движение турбулентно, вихри затухают при скорости более определенной и всегда меньшей по сравнению с той, при которой вихреобразование начиналось при возрастании скоростей.

Скорость, при которой ламинарное движение переходит в турбулентное, называется верхней критической скоростью, а та скорость, при которой происходит обратное явление и турбулентное движение переходит в ламинарное, называется нижней критической скоростью. Последняя, как имеющая более определенное значение и большее практическое значение, обыкновенно называется истинной критической скоростью или просто критической скоростью.

Из опытов, проведенных с водой на трубах различных диаметров (причем коэффициент вязкости менялся в зависимости от колебаний температуры от 5° до 22°C), Рейнольдс вывел основную зависимость, что критическая скорость w_c вполне определяется постоянным отношением $\frac{w_c \cdot d \cdot \rho}{\mu}$, где d есть диаметр трубы, μ — коэффициент вязкости, а ρ — плотность (массы единицы объема) воды. Он нашел также, что эта формула применима и к другим жидкостям, а позднейшие исследования определенно установили ее общую применимость к движению всех жидкостей по трубам.

Отношение $\frac{w_c \cdot d \cdot \rho}{\mu}$ называется числом Рейнольдса. Отношения, подобные числу Рейнольдса, находят широкое применение не только в области движения воздуха по трубам, но также и во всех вопросах движения жидкостей и газов.

Опыты по определению величины $\frac{w_c \cdot d \cdot \rho}{\mu}$, при которой происходит переход от турбулентного движения к ламинарному, показали среднее ее значение около 2000 для параллельных труб с одинаково гладкими стенками, так что для любой жидкости

$$w_c = 2000 \cdot \frac{\mu}{d \cdot \rho};$$

под w_c надо понимать среднюю скорость в сечении потока.

Рассматривая воздух при температуре 15°C и атмосферном давлении, получим $\frac{\mu}{\rho}$ равным около 0,1480 в системе CGS (следует помнить, что ρ есть вес единицы объема, разделенный на ускорение силы тяжести). При этом критическая скорость для данного случая определится как $w_c = \frac{296}{d}$. Следовательно,

для диаметра трубы в 1 м критическая скорость в этих условиях будет равна 2,96 см/сек. Критическую же скорость $w_c = 1$ м/сек можно получить при диаметре трубы 296 см.

Ламинарные потоки воздуха в трубах исключительно редко встречаются на практике и в большинстве случаев приходится иметь дело с турбулентными потоками.

Необходимо отметить, что значение $2000 \cdot \frac{\mu}{d \cdot \rho}$ для критической скорости представляет собой среднюю величину при обыкновенных условиях. При соблюдении особых мер предосторожности ламинарное движение может удерживаться до чисел Рейнольдса, в 10 или даже больше раз превосходящих указанное выше значение.

Сопротивления труб движению потока. Если m — масса жидкости, движущейся вдоль горизонтальной трубы, w — скорость движения этой массы, p — статическое давление, то кинетическая энергия определяется как

$$\frac{m \cdot w^2}{2},$$

а потенциальная энергия, т. е. работа, необходимая для перемещения жидкости из области, где давление равно нулю, в область, где давление равно p , определяется как $p \cdot V$; полная энергия, отнесенная к оси трубы, выражается как:

$$\frac{m \cdot w^2}{2} + p \cdot V$$

или

$$V \left(\frac{\rho \cdot w^2}{2} + p \right),$$

где V — объем жидкости с массой m ,

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ — масса единицы объема.}$$

Отсюда энергия единицы объема:

$$\frac{\rho \cdot w^2}{2} + p.$$

Оба члена этого выражения имеют размерность давления и, следовательно, сумма их является полным давлением или полным напором жидкости.

Если вдоль трубки нет сопротивлений движению и если энергия не расходуется на вихреобразование, то это полное давление должно бы оставаться постоянным. В действительности, конечно, имеют место как вихреобразование, так и сопротивления, возникающие от действия сил вязкости на стенках трубы, что и обуславливает некоторые потери энергии. Рассматривая два сечения трубы, по одному на каждом конце, заметим, что при перемещении единицы объема от одного конца трубы к другому происходят потери энергии. Некоторое количество работы должно быть затрачено на перемещение жидкости вдоль по трубе. Сопротивление трубы между двумя рассматриваемыми сечениями может быть принято равным этой работе. Энергия единицы объема, проходящей через данное сечение, выражается полным напором в этом сечении, следовательно, сопротивление по длине трубы проявит себя в том, что полный напор нижнего сечения будет меньше, чем полный напор сечения, расположенного выше по течению. Таким образом, очевидно, что сопротивление, представляемое трубой при прохождении через нее жидкости, может быть измерено величиной падения полного напора, которым жидкость располагает при начале дви-

жения по трубе. В практике этот способ выражения сопротивлений является наиболее распространенным.

Средний полный напор данного сечения равен статическому давлению, которое, будучи одинаковым в этом сечении, может быть получено однократным измерением в любой точке сечения, плюс скоростной напор, соответствующий средней кинетической энергии единицы объема газа, проходящего через данное сечение. Если обозначить скорость, соответствующую средней кинетической энергии, через w_{cp} , то скоростной напор будет равен величине $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_{cp}^2$.

Благодаря наличию сопротивлений движению потока по трубам начальное давление потока p_1 больше конечного давления p_2 . На основании исследований Lees предложил формулу для определения величины сопротивлений на единицу площади в следующем виде:

$$F = \rho \cdot w^2 \left[0,0009 + 0,0763 \left(\frac{\nu}{w \cdot d} \right)^{0,35} \right];$$

так как

$$p_1 - p_2 = \frac{4 \cdot F \cdot l}{d},$$

то

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho \cdot w^2 \cdot l}{d} \left[0,0036 + 0,305 \left(\frac{\nu}{w \cdot d} \right)^{0,35} \right], \quad (53)$$

где F — сила трения, оказывающая сопротивление движению на единице внутренней поверхности трубы диаметром d ;

l — длина трубы;

$\rho = \frac{m}{v}$ — масса единицы объема;

ν — кинематическая вязкость;

w — скорость движения.

Это уравнение служит для определения сопротивлений гладких цилиндрических труб для любых условий движения потока.

Сопротивление движению газа при резких поворотах. Случаи резкого поворота представлены на рис. 2.

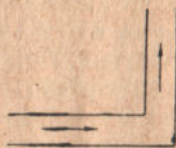


Рис. 2.

Исследования Вейсбаха показывают следующую зависимость коэффициента сопротивления R от угла поворота α :

$\alpha = 20^\circ$	40°	45°	60°	80°	90°
$R = 0,046$	$0,139$	$0,188$	$0,364$	$0,740$	$0,984$

Приведенные результаты выражаются следующей эмпирической формулой:

$$R = \sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2 \sin^4 \frac{\alpha}{2}. \quad (54)$$

Сопротивление движению газа при закругленных поворотах.

Эти случаи показаны на рис. 3. Для этого случая движения газа на повороте Вейсбах предложил следующие формулы для определения R :

$$R = \frac{\alpha}{180} \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2r} \right)^{\frac{7}{2}} \right], \quad (55)$$

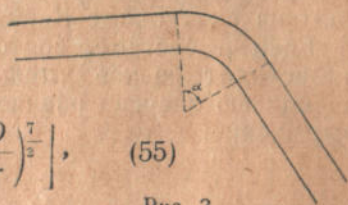


Рис. 3.

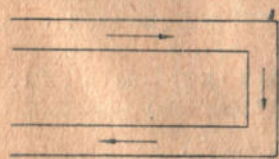
где D и r — соответственно диаметр трубопровода и радиус кривизны;

α — угол поворота, выраженный в градусах.

Для трубопровода прямоугольного сечения со стороной a R определяется:

$$R = \frac{\alpha}{180} \left[0,124 + 3,104 \left(\frac{a}{2r} \right)^{\frac{7}{2}} \right]. \quad (56)$$

Когда r становится больше $3D$ или $3a$, то R не зависит от $\frac{D}{2r}$ и $\frac{a}{2r}$, и остается постоянным при постоянной величине a . В этих случаях R выражается:



$$R = 0,15 \frac{\alpha}{180}.$$

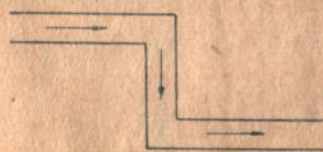


Рис. 4.

Сопротивление движению газа при последовательных поворотах. На рис. 4 представлены случаи последовательных поворотов.

Лебрассер и Эпин предложили следующую зависимость коэффициента сопротивления двух поворотов R_1 от одного поворота R :

повороты одного знака $R_1 = 1,5 R$,

повороты противоположного знака $R_1 = 2R$,

повороты не в одной плоскости $R_1 = 2,19 R$.

Сопротивление движению газов при изменении сечения. Если изменение сечения трубопровода происходит постепенно, то скорость и давление меняются тоже постепенно. Это объ-

ясняется отсутствием гидравлических ударов и разрывов струи, благодаря чему механическая энергия не переходит в тепловую энергию.

Иначе обстоит дело, когда сечение трубопровода резко изменяется. В этом случае имеют место удары и разрывы струи, что ведет к выделению тепловой энергии за счет механической.

Выделяющаяся при этом тепловая энергия может быть подсчитана по теореме Карно.

Если в системе, состоящей из неизменяющихся элементов, происходит резкое уменьшение скорости движения, то выделяемая ею энергия равняется живой силе, имеющей следующее выражение:

$$\frac{1}{2} \sum m (w - w_1)^2. \quad (57)$$

Теорема Карно имеет силу в применении ее к текущим газам, когда удельный вес их не изменяется при внезапном изменении скорости движения газов. Для 1 кгз газа, у всех частиц которого скорость одинакова, формула живой силы будет:

$$\sum m = \frac{1}{g}$$

и потеря напора будет:

$$h = \frac{(w - w_1)^2}{2g}. \quad (58)$$

Потеря напора и сопротивление при резком расширении и сужении трубопровода. Потеря напора при резком расширении трубопровода может быть выражена через сечение его (см. рис. 5):

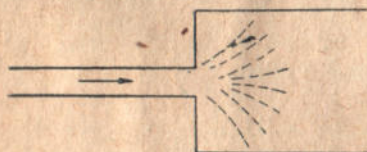


Рис. 5.

откуда $f \cdot w = f_1 \cdot w_1$,

откуда $\frac{f}{f_1} = \frac{w_1}{w}$ и, преобразовывая

формулу (58) и заменяя w и w_1 сечением, потеря напора выразится:

$$h = \frac{(w - w_1)^2}{2g} = \frac{w^2}{2g} \left(1 - \frac{w_1}{w}\right)^2 = \frac{w^2}{2g} \left(1 - \frac{f}{f_1}\right)^2. \quad (59)$$

Коэффициент сопротивления в этом случае выражается:

$$R = \left(1 - \frac{f}{f_1}\right)^2.$$

Потеря напора в расширенной части трубопровода будет:

$$\left(\frac{w}{w_1} - 1\right)^2 \frac{w_1^2}{2g} = \left(\frac{f_1}{f} - 1\right)^2 \frac{w_1^2}{2g} = R_1 \cdot \frac{w_1^2}{2g}$$

и

$$R_1 = \left(\frac{f_1}{f} - 1 \right)^2.$$

Газ, входя в суженную часть трубопровода, не заполняет всего сечения сразу. Допуская, что трение между отдельными частицами газа весьма мало, можно принять, что потеря напора обусловлена только расширением в сечении f_2 (после сжатого сечения). Потеря напора в этом сечении (f_2) будет:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{w_2^2}{2g}, \quad (60)$$

где $R = \frac{1}{2}$.

Литература

1. Проф. *О. Д. Хвольсон*, Курс физики, 1923.
2. Проф. *Есьман*, Гидравлика, 1931.
3. *А. Мондье*, Техническая физика, 1930.
4. Проф. *Сушков*, Техническая термодинамика, 1931.
5. Проф. *Шюле*, Основы технической термодинамики, 1927.
6. Проф. *Есьман*, К теории движения газов в металлургических печах.
7. *В. Бертельсман* и *Ф. Шустер*, Введение в техническую обработку газовых веществ, 1935.
8. *Э. Оуэр*, Измерения воздушных потоков, 1935.
9. Журнал „Кокс и Химия“, 1933 г., № 10, стр. 23 — 27.
10. *Chal. et Industrie*, № 175, 1934.
11. *L. Litinsky*, Messung grosser Gasmengen, 1922.

Ссылки в тексте

1. *Gas. u. Wasserfach*. № 4 и № 5, 1936.

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И УДЕЛЬНОГО ВЕСА ГАЗА]

А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГАЗА

Определение содержания водяных паров в газе может быть осуществлено или методом их поглощения или методом гигрометрии.

По первому методу в качестве поглотителей применяют хлористый кальций, фосфорный ангидрид, пемзу, смоченную серной кислотой, и др.

В промышленных условиях обычно применяется второй метод, позволяющий значительно быстрее и достаточно точно определить содержание в газе водяных паров.

Как известно, различают два вида влажности газа: влажность абсолютную и влажность относительную.

Абсолютную влажность принято определять количеством граммов водяных паров, содержащихся в 1 м^3 газа; относительная влажность определяется отношением числа граммов f к тому числу граммов F водяного пара, которое необходимо для насыщения 1 м^3 газа при данной температуре. Обозначая через ω относительную влажность и выражая последнюю в процентах, получаем:

$$\omega = 100 \cdot \frac{f}{F}.$$

Если известны упругости паров p при данной температуре и P (наибольшая) при насыщении, то ω определяется по формуле:

$$\omega = 100 \cdot \frac{p}{P}.$$

Допуская, что водяной пар до насыщения подчиняется закону Мариотта-Гей-Люссака (при сравнительно невысоких температурах), связь между f и p выражается:

$$f = \frac{1293 \cdot 0,622 \cdot p}{760 (1 + \alpha t)} = \frac{1,0582}{1 + \alpha t} \cdot p \text{ г,}$$

где 1293 — вес в граммах 1 м^3 воздуха при 0°C и 760 мм рт. ст.; 0,622 — плотность водяных паров относительно воздуха.

Волосяной гигрометр. Волосяные гигрометры отличаются простотой (рис. 6). Человеческий волос, хорошо освобожденный

от жира, одним концом прикрепляется к металлической раме, а другой его конец перекидывается через блок со стрелкой и оканчивается закрепленным противовесом. Волос, освобожденный от жиров, хорошо поглощает влагу и благодаря этому растягивается. При снижении влажности в воздухе или газе волос осушается и укорачивается; следовательно, стрелка, соединенная с блоком, колеблется в обе стороны, причем величина амплитуды градуируется от 0 до 100 по абсолютному прибору и каждое деление шкалы соответствует 1%. Нулевая точка получается тогда, когда воздух совершенно сухой, а точка 100 — когда он насыщен влагой.

Психрометр. Наиболее совершенный психрометр представляет собою психрометр Асмана (рис. 7).

Два термометра укрываются в латунной оправе, соединенной с трубкой; шарики термометров находятся внутри раструбов с. Шарик одного термометра покрывается тонким батистом и перед наблюдением смачивается водой. При помощи вентилятора через всю систему труб просасывается воздух с определенной постоянной скоростью; просасываемый воздух обтекает оба термометра; при этом влага с батиста испаряется. На испарение влаги отнимается тепло от просасываемого воздуха, благодаря чему температура понижается и фиксируется влажным термометром. Таким образом, понижение или повышение температуры влажного термометра зависит от влажности воздуха и чем последняя меньше, тем испарение воды с этого термометра будет протекать быстрее и температура будет ниже. Измерения влажности прибором Асмана и абсолютным гигрометром приводят к следующей эмпирической формуле для определения абсолютной влажности:

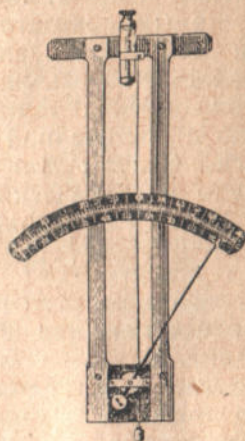
$$f = f_1 - \frac{1}{2} (t - t_1) \frac{b}{755},$$

где f_1 — упругость насыщенного пара при температуре влажного термометра;

t_1 — показания влажного термометра;

t — показания сухого термометра;

b — барометрическое давление.



Фиг. 6. Волосной гигрометр.



Рис. 7. Психрометр Асмана.

При определении относительной влажности по полученным результатам необходимо принимать во внимание так называемый коэффициент самого психрометра, прилагаемый для каждого прибора заводом-изготовителем.

Определение числового значения относительной влажности по полученным результатам не совсем просто; для облегчения и ускорения расчетов служат таблицы и диаграммы; по диаграмме Приложения 11 можно сразу найти искомую величину влажности.

Значительно сложнее определение влажности газов, загрязненных смолой, пылью и проч., когда ни психрометры, ни метод поглощения приемлемых показателей дать не могут. В этих случаях пригоден метод определения падения давления при охлаждении определенного объема газа ниже точки росы; измеряя до и после охлаждения температуры и давления данного объема газа, можно с достаточной точностью подсчитать содержание в нем влаги. Сосуды для проведения этого метода делаются с обогревом электрическим (по Nädel'ю), паровым (по Maase) и горячей водой (по Thibaut)¹.

Б. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ГАЗОВ

Под удельным весом данного газа понимают отношение веса единицы объема этого газа при 0° С и 760 мм рт. ст. к воздуху, при тех же условиях.

Объемный вес газа — вес единицы его объема при данных условиях (обычно при 0° и 760 мм).

В таблице 3 приведены объемные и удельные веса некоторых газов.

Таблица 3

Объемные и удельные веса газов при 0° С и 760 мм рт. ст.
(по Chem. Kalender)

Название газа	Химическая формула	Объемный вес (вес 1 м ³) кг	Удельный вес (по воздуху = 1)
Этан	C ₂ H ₆	1,3565	1,0493
Этилен	C ₂ H ₄	1,2606	0,9751
Аммиак	NH ₃	0,7708	0,5962
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,1791	0,9121
Бензол	C ₆ H ₆	3,4824	2,694
Окись углерода	CO	1,2504	0,9672
Углекислота	CO ₂	1,9769	1,5292
Воздух	—	1,2928	1,000
Метан	CH ₄	0,7168	0,555
Кислород	O ₂	1,4289	1,1053
Сероводород	H ₂ S	1,5392	1,1906
Азот	N ₂	1,2506	0,9673
Водяной пар	H ₂ O	0,8038	0,622
Водород	H ₂	0,0899	0,0693
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,6725	2,0673
Пропан	C ₃ H ₈	2,0195	1,5622

Чтобы получить объемный вес, надо удельный вес помножить на 1,2928.

Определение удельного веса газа можно производить различными методами: в приборах, основанных на различных скоростях истечения газов через узкие отверстия, в приборах, позволяющих взвешивать равные объемы сравниваемых газов, или сравнивать давления, оказываемые равными объемами и т. д.

Ниже дается описание и принципы действия наиболее интересных и характерных приборов, служащих как для одновременного, так и для непрерывного определения удельного веса газа.

Аппарат Шиллинга-Бунзена. Аппарат (рис. 8) основан на том принципе, что одинаковые объемы различных газов при одинаковых давлениях и температуре, вытекают через узкое отверстие с разной скоростью, причем удельные веса газов пропорциональны квадратам времени истечения.

Аппарат состоит из двух стеклянных цилиндров: одного узкого и одного широкого. Внутренний цилиндр прочно приделан к латунной крышке с насадкой, имеющей платиновую пластинку с маленьким отверстием, под которой помещен выпускной кран. Помещенный сбоку кран с резиновой трубкой закрывает впускное отверстие. Сбоку от него находится точный термометр, погруженный в воду. Газ, поступающий при измерении в узкий цилиндр, благодаря большой поверхности соприкосновения быстро принимает температуру окружающей воды. Кран, находящийся у дна, служит для спуска воды из сосуда. Вертикальная установка всего аппарата достигается при помощи трех установочных винтов, предусмотренных на подставке.

Внешний цилиндр заполняют водой почти до верхнего края, затем, предварительно закрыв впускной и выпускной краны, погружают в воду внутренний цилиндр, наполненный воздухом; вода войдет при этом в узкий цилиндр до определенного уровня, не доходя, однако, до нижнего деления. Затем открывают выпускной кран и выпускают воздух через отверстие; вода начнет медленно подниматься в узком цилиндре. При достижении водой нижнего деления отмечают по секундомеру время начала истечения воздуха и при достижении ею верхнего деления — время конца. Одновременно отмечают показание барометра. После этого приступают к измерению газа. Соединивши входную втулку с газопроводом и открывши впускной кран, наполняют внутренний цилиндр газом, медленно вынимая его из воды. Когда цилиндр почти наполнен газом, закрывают входной кран,



Рис. 8. Аппарат Шиллинга-Бунзена.

погружают цилиндр обратно в воду и выпускают газ, открывая выпускной кран. Необходимо несколько раз повторить наполнение и опоражнивание цилиндра, чтобы полностью удалить из него воздух. Затем цилиндр наполняют снова газом, закрывают горизонтальный входной кран и производят те же операции, которые делались при определении времени истечения воздуха. В конце опыта также отмечают показание барометра.

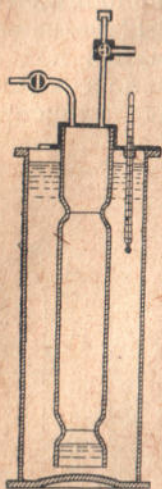


Рис. 9. Аппарат Шиллинга, видоизмененный Панертцем.

Во избежание сужения маленького отверстия для истечения газа вследствие загрязнения, аппарат после опытов необходимо покрывать колпачком.

Для повышения точности наблюдений Панертц видоизменил аппарат Шиллинга-Бунзена (рис. 9), сузивши цилиндр на уровнях черточек. Вследствие этого водяное зеркало быстрее проходит через более узкие поперечные сечения, причем отсчеты начала и конца истечения газа производятся точнее.

Определение числового значения удельного веса при применении прибора Шиллинга-Бунзена производится следующим образом.

Если время истечения равных количеств воздуха и газа из прибора при одинаковых давлениях и температурах обозначить через $Z_{\text{возд}}$ и $Z_{\text{газ}}$, то удельный вес газа получается

$$\gamma = \frac{Z_{\text{газ}}^2}{Z_{\text{возд}}^2}.$$

Если при проведении опыта температура газа была на x° ниже температуры воздуха, то

$$\gamma = \frac{Z_{\text{газ}}^2}{(1 + 0,003666 \cdot x) Z_{\text{возд}}^2}.$$

Если, наоборот, температура газа была на x° выше температуры воздуха, то

$$\gamma = \frac{Z_{\text{газ}}^2}{(1 - 0,003666 \cdot x) Z_{\text{возд}}^2}.$$

Пример 5. Пусть для истечения воздуха потребовалось 120 секунд, а для истечения газа — 80 секунд, и пусть температура газа была на 2° выше температуры воздуха, тогда

$$\gamma = \frac{80^2}{(1 - 0,003666 \cdot 2) \cdot 120^2} = 0,447.$$

Однако такой метод расчета можно применять лишь при незначительных разностях температур; в противном случае необходимо учесть упругость водяных паров.

Вес единицы объема влажного воздуха составляет (ср. уравнение (5) в главе 1):

$$\gamma_{\text{возд.}, t^{\circ}, (b+p)} = 1,293 \frac{b+p-\tau}{760} \cdot \frac{273}{273+t} + w_l \text{ кг/м}^3; \quad (1)$$

вес единицы объема влажного газа:

$$\gamma_{\text{газ}, t^{\circ}, (b+p)} = \gamma \cdot \gamma_{\text{возд.}, t^{\circ}, (b+p)} \text{ кг/м}^3. \quad (2)$$

При пересчете на сухой газ при нормальных условиях (0° 760 мм) получается для объемного веса сухого газа такое выражение:

$$\gamma_{\text{газ}, 0^{\circ}, 760} = \left[\left(1,293 \frac{b+p-\tau}{760} \cdot \frac{273}{273+t} + w_l \right) \gamma - w_l \right] \frac{760}{b+p-\tau} \times \frac{273+t}{273} \text{ кг/м}^3. \quad (3)$$

При температурах, с которыми приходится иметь дело (15 до 20°C) среднее давление вод. столба p в приборе Шиллинга приблизительно равно парциальному давлению τ , так что разностью $(p-\tau)$ можно на практике пренебречь. Таким образом, приведенное уравнение (3) примет вид:

$$\gamma_{\text{газ}, 0^{\circ}, 760} = 1,293 \cdot \gamma + w_l \frac{760}{b} \cdot \frac{273+t}{273} (\gamma - 1) \text{ кг/м}^3. \quad (3a)$$

При замере объемный вес газа в насыщенном состоянии:

$$\gamma_{\text{газ.}, t_{cp}, (b+p_{cp})} = \gamma_{\text{газ}, 0^{\circ}, 760} \cdot \frac{b+p_{cp}-\tau_{cp}}{760} \times \frac{273}{273+t_{cp}} + w_{l_{cp}} \text{ кг/м}^3. \quad (4)$$

Пример 6

Z_g — время истечения газа из прибора Шиллинга-Бунзена — 48,9 секунд.

Z_a — время истечения воздуха из прибора Шиллинга-Бунзена — 52,4 секунды.

γ — отношение квадратов времени истечения насыщенного влажной газа и насыщенного воздуха = $\frac{48,9^2}{52,4^2}$

= 0,8705 (по отношению к воздуху, принятому за 1).
 $\gamma_z, 0^{\circ}, 760$ — объемный вес сухого газа при нормальных условиях [см. уравнение (3a)].

w_1 — содержание влаги в насыщенном газе в $\text{кг}/\text{м}^3$; при рабочей температуре газа = 18°C w_1 составляет $15 \text{ г} = 0,015 \text{ кг}/\text{м}^3$ (см. диаграмму Приложения 2).

t — температура газа при наблюдении = 18°C .

b — показание барометра в $\text{мм рт. ст.} = 752,5 \text{ мм}$ с поправкой согласно таблице в Приложении, составляет $752,5 - 2,5 = 750 \text{ мм рт. ст.}$ или $750 \cdot 13,6 = 10\,200 \text{ мм вод. ст.}$

p — избыточное давление газа в приборе в мм рт. ст. ; в данном случае p не принимается во внимание.

τ — упругость пара, соответствующая температуре t ; она берется из таблицы Приложения 5; в данном случае τ тоже не принимается во внимание.

Отсюда

$$\gamma_{2, 0^\circ, 760} = 1,293 \cdot \gamma + w_1 \cdot \frac{760}{b} \cdot \frac{273+t}{273} (\gamma - 1) \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\gamma_{2, 0^\circ, 760} = 1,293 \cdot 0,8705 + 0,015 \cdot \frac{760}{750} \cdot \frac{273+18}{273} (0,8705 - 1) \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\gamma_{2, 0^\circ, 760} = 1,1256 - 0,021 = 1,1035 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Чтобы определить объемный вес в условиях наблюдения, требуется знать следующие величины:

p_{cp} — избыточное давление газа в точке замера в мм рт. ст. ; пусть в данном случае:

$$p_{cp} = \frac{50}{13,6} = 3,7 \text{ мм};$$

τ — упругость пара, соответствующая температуре наблюдения; по диаграмме в Приложении 8 при температуре $t_{cp} = 40^\circ\text{C}$ она составит 747 мм вод. ст. ;

$$\tau = \frac{747}{13,6} = 54,9 \text{ мм рт. ст.}$$

w_{1cp} — содержание влаги в насыщенном газе при температуре $t_{cp} = 40^\circ\text{C}$; согласно диаграмме в Приложении 8 равняется $51,0 \text{ г}/\text{м}^3$ или $0,051 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Если обозначить объемный вес насыщенного газа при этой температуре и давлении через $\gamma_{1cp, (b+p_{cp})}$, то согласно уравнению (1)

$$\begin{aligned} \gamma_{1cp, (b+p_{cp})} &= 1,1035 \cdot \frac{750 + 3,7 - 54,9}{760} \times \\ &\times \frac{273}{273 + 40} + 0,051 \text{ кг}/\text{м}^3 = 0,8850 + 0,051 = 0,936 \text{ кг}/\text{м}^3. \end{aligned}$$

Если в уравнении (3) заменить выражение $\left(\frac{b+p-\tau}{760} \times \frac{273}{273+t}\right)$ через K , то в таблице Приложения 7 можно непосредственно найти цифровое значение для K . При $t=40^\circ$ и $(b+p)=750+3,7 \text{ мм}=753,7 \text{ мм рт. ст.}$ или $753,7 \cdot 13,6=10\,250 \text{ мм вод. ст.}$ коэффициент K равен 0,802. Таким образом, можно получить те же результаты более быстрым путем:

$$1,1035 \cdot 0,802 + 0,051 = 0,885 + 0,051 = 0,936 \text{ кг/м}^3.$$

По Ципереру (Zipperer) корректирование найденного с помощью прибора Шиллинга удельного веса производится таким образом.

Пусть:

s — найденный при определении удельный вес;

s_0 — скорректированный удельный вес;

b — барометр. давление в мм рт. ст.;

t — температура газа при определении;

$p_{\text{изб}}$ — среднее избыточное давление газа, определяемое как $\frac{l_1 - l_2}{2 \cdot 13,6}$ мм рт. ст., где l_1 и l_2 — высоты столба воды в начале и конце отсчета

$p = b + p_{\text{изб}}$ в мм рт. ст.;

p_s — парциальное давление вод. паров при данной температуре в мм рт. ст.; тогда

$$s_0 = s - 0,622 \frac{p_s}{p - p_s} (1 - s)$$

или, обозначая

$$0,622 \frac{p_s}{p - p_s} (1 - s) = K,$$

получается

$$s_0 = s - K.$$

Пример 7. $p = (b + p_{\text{изб}}) = 740 \text{ мм рт. ст.}$; $t = 15^\circ \text{C}$; $p_s = 12,8 \text{ мм рт. ст.}$; для s найдено 0,550, тогда

$$K = 0,622 \frac{12,8}{740 - 12,8} \cdot (1 - 0,55) = 0,00493$$

и прокорректированный удельный вес:

$$s_0 = s - K = 0,550 - 0,00493 = 0,5451.$$

В целях ускорения расчетов предложены для определения величины K специальные номограммы (GWF, 1934, стр. 716), а также специальная расчетная линейка (GWF, 1935, стр. 210), позволяющие очень быстро найти значение для K .

Прибор Бюро стандартов. Прибор Бюро стандартов построен на том же принципе, как и прибор Шиллинга. Стекло-ный баллон *A* (рис. 10) сообщается одним концом с уравнительным сосудом *B*, а другим — с металлическим трехходовым краном. Баллон и частично уравнительный сосуд наполняются водой, уровень которой не должен достигать крана, когда он открыт. Через левую трубку трехходового крана производят наполнение прибора газом или воздухом, а через правую, имеющую внутри платиновую пластинку с узким отверстием, —

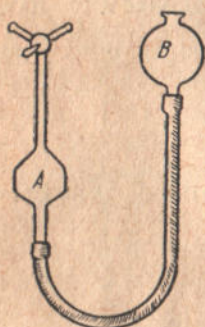


Рис. 10. Схема прибора Бюро стандартов.

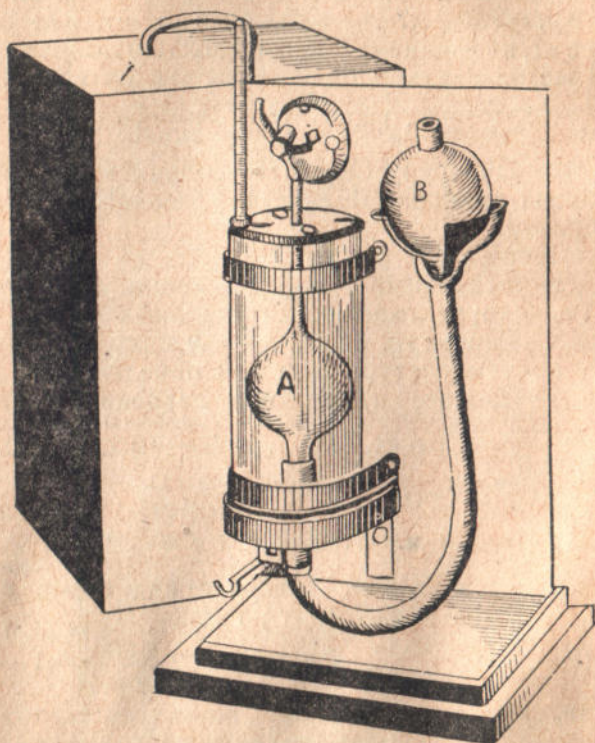


Рис. 11. Общий вид прибора Бюро стандартов.

газ выпускается. Баллон *A* имеет одну метку внизу, другую сверху и помещается в широкой стеклянной трубе, в которую наливается вода (рис. 11), служащая для поддержания постоянной температуры газа и воздуха. Источник исследуемого газа присоединяется каучуком к левой трубке трехходового крана. При достаточном давлении газ сам наполняет баллон *A*, вытесняя воду; если же давление газа мало или если в баллон *A* набирают воздух, то опускают уравнительный сосуд и закрывают кран в тот момент, когда уровень воды будет на несколько сантиметров ниже метки. Наполнив баллон *A* газом, ставят уравнительный сосуд на его место и выпускают газ через узкое отверстие в правой трубке, повернув соответствующим образом кран (баллон *A* при выпуске газа должен сооб-

щаться только с правой трубкой и ни в коем случае не сообщаться с левой). Наполнив и выпустив газ из баллона *A* два или три раза для промывки соединительных трубок и прибора от остатков воздуха, набирают газ окончательно так, чтобы, когда уравнительный сосуд будет помещен на свое место, уровень воды был на 2—3 см ниже метки. Соединив баллон *A* с узким отверстием, пускают в ход секундомер в момент прохождения уровня воды через нижнюю метку. При прохождении уровня через верхнюю метку секундомер останавливают. Опыт повторяют несколько раз с исследуемым газом и берут среднее из измерений.

Измерение скорости истечения воздуха можно производить или до или после измерений с газом. В обоих случаях перед измерением следует два-три раза промыть прибор, выпуская воздух через узкое отверстие. Так же как и при работе на приборе Шиллинга в том случае, если первыми производятся измерения с воздухом, предварительная промывка прибора все равно обязательна, так как в большинстве случаев нельзя быть уверенным, что в приборе не остался газ от предыдущего опыта. Определив среднее из времени истечения воздуха и среднее из времени истечения газа, находят удельный вес газа по той же формуле, которая применяется при работе на приборе Шиллинга. Для облегчения работы на кране прибора имеются метки, показывающие, с чем соединен баллон *A*.

В приборах Шиллинга и Бюро стандартов в качестве вытесняющей жидкости употребляется вода. Если испытуемый газ сильно растворим в воде, то измерения на этих приборах уже будут неточными. Для определения уд. веса легко растворимых в воде газов следует заменить воду ртутью. Углеродные природные газы в воде почти нерастворимы, поэтому определение их уд. весов можно с точностью до 1—2% производить во всех приборах, основанных на методе истечения, в которых в качестве вытесняющей жидкости применяется вода.

Газовые весы Эдвардса. Уд. вес газа можно определить при помощи так называемых газовых весов, основанных на законе Архимеда, по которому „всякое тело, помещенное в газ, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненный им газ“.

Ртутный манометр *M* (рис. 12), открытый с одного конца и имеющий высоту около 80 см, сообщается при помощи металлической изогнутой трубки с металлической камерой, имеющей двойные стенки, между которыми наливается вода, поддерживающая постоянную температуру газа и воздуха. В камере помещается коромысло *B*, имеющее на одном конце полый металлический запаянный цилиндр, а на другом—массивный противовес. Коромысло опирается двумя стальными иголками на агатовую пластинку и имеет две шайбочки, передвигающиеся на нарезке и служащие для установления коромысла в равновесии

и для регулировки его чувствительности. В боковую стенку, которая находится около противовеса, вделано толстое стекло, имеющее горизонтальную черту. Противовес на стороне, обращенной к стеклу, также имеет горизонтальную черту. При помощи лупы *L* (рис. 14) легко можно заметить момент совпадения черты на противовесе с чертой на стекле. Камера весов может сообщаться с внешним воздухом, испытываемым газом и

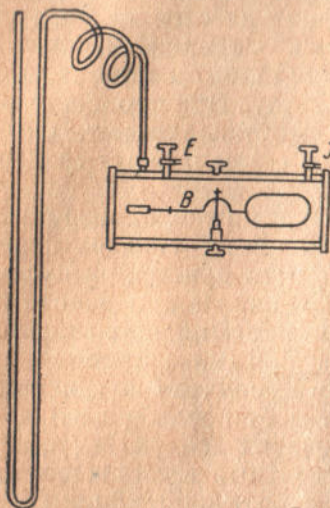


Рис. 12

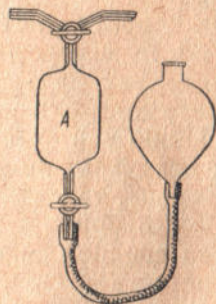


Рис. 13.

вакуумом при помощи двух вентилях *E* и *J*. Боковая крышка, прилегающая к противовесу, сделана на нарезке и может сниматься.

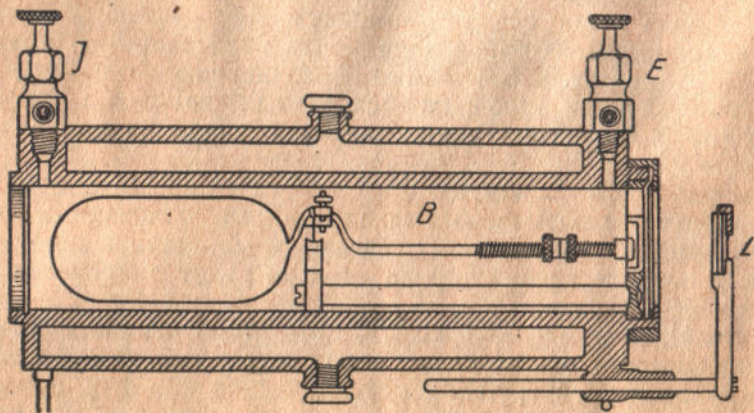


Рис. 14. Газовые весы Эдвардса (продольный разрез).

Согласно закону Бойля-Марриота плотность газа прямо пропорциональна его давлению; сила, с которой газ действует снизу вверх на находящееся в нем тело, согласно закону Архи-

меда, пропорциональна плотности газа, а следовательно, и его давлению. Предположим, что в двух различных газах коромысло весов находится в равновесии (совпадение черты противовеса с чертой на стекле). Это означает, что при тех давлениях, при которых коромысло находится в равновесии, оба газа имеют одинаковый удельный вес. Отсюда следует, что чем меньше уд. вес данного газа, тем большее давление необходимо для того, чтобы привести коромысло весов в равновесие. Если p означает давление воздуха, при котором коромысло будет в равновесии, p_1 — та же величина для испытуемого газа, то искомый удельный вес будет равен

$$D = \frac{p}{p_1}.$$

Манометр M должен быть наполнен ртутью до половины. Между двойными стенками камеры должна быть налита вода, имеющая комнатную температуру; если в камеру налита холодная вода, то прежде чем делать измерения должно пройти достаточное время, чтобы вода пришла в равновесие с температурой окружающего воздуха. Агатовая подставка, на которую опирается коромысло, должна быть совершенно горизонтальна, что достигается подвинчиванием уравнильных винтов и проверяется постукиванием пальцем по весам; если при этом коромысло сдвигается в одну какую-либо сторону, — это означает, что агатовая подставка имеет в эту сторону уклон. Весы перед работой должны быть проверены на плотность всех соединений; для этой цели откачивают из весов воздух, а затем, закрыв вентиль, через который производилась откачка, наблюдают за манометром. Если в течение 5 мин. не будет заметно никакого движения уровня ртути в манометре, то можно считать плотность всех соединений удовлетворительной. После этой проверки наполняют весы сухим воздухом, предварительно создав в них полный вакуум и впуская воздух через трубку с хлористым кальцием. Впуск воздуха следует производить через вентиль J . В конце осушительной трубки должна быть вата для того, чтобы воспрепятствовать попаданию пыли в камеру весов. Откачку воздуха следует производить через вентиль E при помощи хорошего масляного или ртутного насоса. Если в весах остался газ от предыдущего опыта, то он должен быть удален путем нескольких повторных откачек и наполнений прибора воздухом. Впускать воздух через вентиль J следует очень осторожно и закрыть его нужно в тот момент, когда черта на коромысле совпадает с чертой на стекле. Рекомендуется сначала набрать в весы воздуха больше чем следует, а затем, закрыв вентиль J , выпустить излишек воздуха через вентиль E , который допускает более тонкую регулировку и позволяет изменять давление очень медленно и постепенно. Когда будет достигнуто равновесие, давление манометра должно быть отсчитано. Также должно быть отсчитано и атмосферное давление по барометру. После

этого весы наполняют газом, уд. вес которого требуется определить. Для наполнения весов газом поступают следующим образом: вентиль *J* при помощи толстостенного каучука соединяют с трехходовым краном ртутного насоса (рис. 13). Затем, оставя *J* открытым, откачивают воздух из весов и из каучука. Трехходовый кран ртутного насоса должен быть повернут так, чтобы сосуд *A*, целиком наполненный ртутью, не сообщался с камерой весов. Свободная трубка трехходового крана должна быть присоединена к источнику газа и из нее также должен быть откачан воздух. После откачки опусканием уравнительного сосуда насоса газ набирают в *A*.

Закрыв вентиль *E*, через который производилась откачка соединяют баллон *A* с весами и поднятием уравнительного сосуда наполняют весы газом. Операцию наполнения весов газом следует производить осторожно, медленно поворачивая трехходовый кран насоса, чтобы газ не входил в камеру весов резкой и сильной струей. Первую порцию впущенного газа следует опять откачать для промывки весов от остатков воздуха. После этого, набрав в насос новую порцию газа, впускают его опять в камеру весов до достижения равновесия коромысла. Рекомендуется впустить газа больше, чем следует, а затем уже, закрыв вентиль *J*, выпустить осторожно излишек через вентиль *E*. Давление, которое будет показывать манометр в момент совпадения черты коромысла с чертой на стекле, необходимо заметить. Если равновесие коромысла наступило при некотором вакууме, то разницу уровней ртути в манометре следует вычесть из атмосферного давления. Если же равновесие наступило при давлении больше атмосферного, то эту разницу следует прибавить к атмосферному давлению, так как для определения уд. веса необходимо знать полное давление; это относится как к воздуху, так и к испытываемому газу. В качестве примера определения уд. веса газа можно привести следующий расчет:

Барометрическое давление 750 мм

Показание манометра с воздухом в приборе:

левое колено	390 "
правое "	396 "

Разница уровней ртути в манометре . . — 6 мм

Так как показания манометра означают некоторый вакуум в приборе (по сравнению с атмосферой), то для получения абсолютной величины давления воздуха в весах следует из атмосферного давления вычесть разницу показаний манометра. Следовательно, давление воздуха, при котором коромысло весов находится в равновесии, равно $750 - 6 = 744$ мм.

Показания манометра с газом в приборе:

левое колено	600 мм
правое "	186 мм

Разница уровней ртути в манометре . . . +414 мм

Следовательно, давление газа, при котором коромысло находится в равновесии, равно $750 + 414 = 1164$ мм.

$$\text{Уд. вес газа равен } \frac{744}{1164} = 0,639.$$

При опытах с воздухом может случиться, что равновесие еще не наступает и при атмосферном давлении. В этом случае следует давление поднять выше атмосферного, для чего воспользоваться упомянутым ртутным насосом (рис. 13).

Чувствительность коромысла можно изменять, поднимая или опуская шайбочку, находящуюся на вертикальном стерженьке коромысла. Положение равновесия коромысла может быть изменено передвижением шайбочки на горизонтальном стержне.

В тех случаях, когда приходится определять плотность образцов очень легких газов (содержащих главным образом водород или гелий), необходимо в качестве газа, с которым производится сравнение, вместо воздуха употреблять чистый водород, так как при той большой разнице давлений, которая необходима для равновесия коромысла в легком газе и в воздухе, манометр M , имеющий длину 80 см, окажется слишком малым. Пользуясь водородом как стандартным газом, необходимо изменить положение равновесия коромысла так, чтобы оно наступало примерно при атмосферном давлении.

При определении уд. веса газа методом истечения и при помощи газовых весов может случиться, что температура воздуха, взятого в прибор, будет отличаться от температуры испытуемого газа. В этом случае в величину уд. веса газа следует внести поправку по следующей формуле:

$$D_0 = \frac{D}{1 \pm \alpha t},$$

где D_0 — истинный уд. вес;

D — измеренный;

t — разница в температуре воздуха или газа,

α — коэффициент расширения газа, равный 0,003667.

Если газ холоднее воздуха, то в знаменателе следует взять знак $+$, если же теплее, то знак $-$.

В большинстве случаев температура воздуха и газа в течение опыта меняется на очень незначительную величину, и эту поправку следует вводить только при желании получить максимально точные результаты.

Газовые весы Люкса. Газовые весы Люкса (рис. 15) позволяют отсчитывать удельный вес непосредственно при проведении опыта. Они основаны на том принципе, что взвешиваются равные объемы газа и воздуха, и соотношение их весов отсчитывается по шкале в виде удельного веса, причем удельный вес воздуха принимается за единицу. Весы состоят из стеклянного или металлического баллона, емкостью приблизительно в

1 л, герметически посаженного на трубку. По этой трубке подводится газ. Газ подается по резиновой трубке и поступает через ртутный затвор в трубку, лежащую на оси центра вращения и соединенную с подводящей трубкой. Отводится газ через отверстие в дне баллона и по патрубку через ртутный затвор поступает в газоотводящую трубку. Таким образом баллон постоянно наполняется свежим газом. Оба ртутных затвора должны обеспечить свободное движение коромысла весов; в нижней части они состоят из двух концентрических цилиндров, пространство между которыми заполнено ртутью. Газ поступает по внутреннему цилиндру. В кольцевом пространстве, заполненном

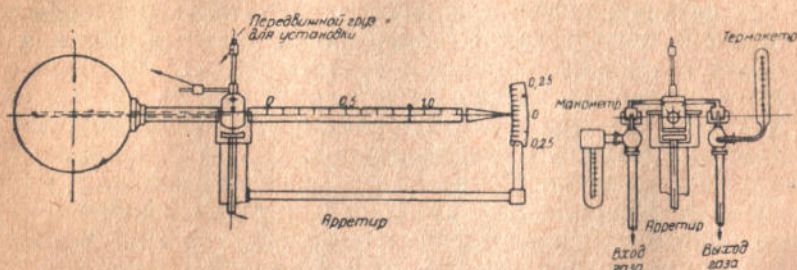


Рис. 15. Газовые весы Люкса.

ртутью, погружен свободный, отогнутый назад конец трубки, лежащей на оси вращения таким образом, что он всегда погружен в ртуть и коромысло весов может делать отклонение от горизонтального положения, не выводя конца трубки из ртути.

Коромысло весов разделено на 100 частей, с вырезом через каждые 5 делений; через каждые 10 делений, по обеим сторонам от центра имеются отметки 0,0, 0,1 до 1,0. Транспортёр снабжен 50 делениями; в центре его находится отметка 0,0, а снизу и сверху через каждые 10 делений имеются отметки 0,1 и 0,2. Выше отметки 0,0 помещен знак (+), ниже знак (-).

При установке весов поступают следующим образом: помещают прежде всего весь аппарат на устойчивое место, защищенное от прямого солнечного света и резких колебаний температуры, и затем устанавливают его при помощи установочных винтов точно горизонтально.

Перед опытом пропускают воздух и передвигают подвижную гирьку, находящуюся на правом конце коромысла весов до тех пор, пока стрелка не станет на нулевой точке шкалы. Затем пропускают газ и по отклонению коромысла весов непосредственно отсчитывают удельный вес. Для уравнивания больших разниц в весе можно передвигать по коромыслу весов рейтер по шкале, имеющейся на коромысле.

Аппарат Крелля. Этот аппарат (рис. 16) основан на принципе соединяющихся между собою трубок, в которых разница ве-

сов атмосферного воздуха и измеряемого газа уравнивается жидкостью, служащей гидравлическим затвором.

По количеству жидкости, необходимой для уравнивания, определяется удельный вес измеряемого газа.

Так как этот аппарат не содержит никаких сложных подвижных частей, которые требовали бы регулировки или могли бы вызвать неточности, то при помощи его можно без особых навыков весьма быстро и достаточно точно определять требуемый удельный вес.

Как видно из рисунка, аппарат в основном состоит из особенно чувствительного манометра, так называемого микроманометра *ac*, и вертикальной трубки *e* с соответствующими кранами и соединениями. Эта вертикальная трубка *e* из практических соображений делается длиною в 2 м и служит для помещения исследуемого газа. Микроманометр состоит из коробки *a* со вставленной в нее стеклянной трубкой *c* со шкалой.

Коробка отлита вместе с подставкой *b* и сообщается с внешним воздухом посредством втулки *l*.

Стеклянная трубка свободным концом упирается в скобу *d* и укрепена в слегка наклонном положении по отношению к коробке *a*.

Весь аппарат покоится на чугунном основании. При помощи трех установочных винтов и ватерпаса аппарат приводится в горизонтальное положение, затем коробка вплоть до начала стеклянной трубки заполняется алкоголем, окрашенным в красный цвет, удельного веса 0,8.

Для того, чтобы не зависеть от определенной нулевой точки жидкости, шкала устроена следующим образом: вблизи от стеклянной трубки помещается шкала, точно градуированная соответственно отдельным сечениям стеклянной трубки; ее отдельные деления в свою очередь соединены с делениями второй

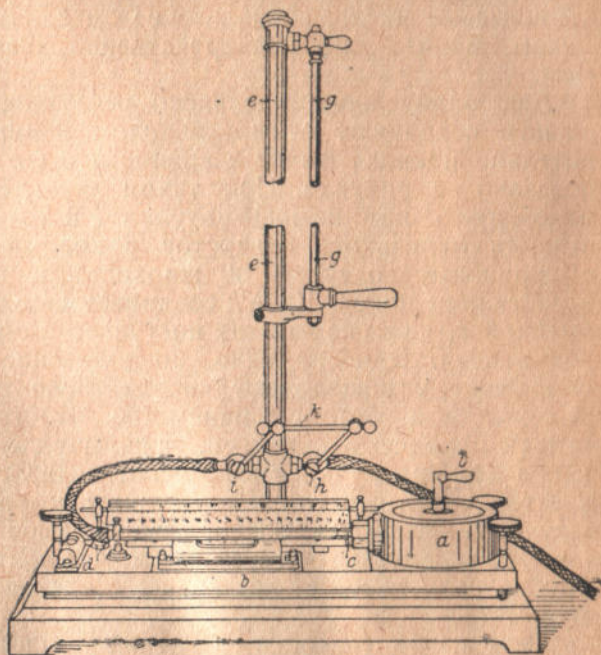


Рис. 16. Аппарат Крелля.

шкалы, точно разделенной на миллиметры. На этой последней шкале помещена передвижная шкала, на которой нанесены уд. веса, соответствующие отдельным делениям неподвижных шкал. Если, например, при наполнении коробки жидкость дошла до третьего деления нижней шкалы, то начальную точку передвижной шкалы устанавливают на третьем делении средней шкалы. Если при определении удельного веса газа жидкость доходит до двадцатого деления нижней шкалы, то на передвижной шкале отсчитывают число, совпадающее с двадцатым делением средней шкалы, причем оно непосредственно указывает удельный вес газа.

Для определения удельного веса газа кран h при помощи шланги соединяют с газопроводом измеряемого газа, предварительно приведя рычаг k кранов h и i в такое положение, как показано на рисунке. При таком положении кранов коробка манометра a при помощи втулки l и трубка манометра c при помощи маленького отверстия в корпусе крана i сообщаются с наружным воздухом, и жидкость в манометре находится в состоянии покоя. Кран h соединяет газопровод с вертикальной трубкой e , измеряемый газ поступает в трубку и вытесняет из нее воздух. Одновременно, приводя аппарат в горизонтальное положение, устанавливают передвижную шкалу соответственно положению жидкости в манометре. Чтобы убедиться в том, что воздух полностью вытеснен, зажигают газ у выхода из трубки и при помощи ручки g закрывают кран, чтобы потушить огонь, а затем опять его открывают, так как во время опыта он должен быть открытым. Затем поворачивают рычаг k кранов h и i налево, вследствие чего газ не может поступать в вертикальную трубку e , в то время как кран i соединяет трубку e с трубкой манометра c .

Вследствие разности давлений столба газа, находящегося в трубке e и соединенного с трубкой манометра, и столба воздуха, опирающегося на коробке манометра, жидкость в стеклянной трубке манометра передвигается. После того, как жидкость через несколько секунд успокоится, можно на соответствующем делении передвижной шкалы непосредственно отсчитать удельный вес газа.

Регистрирующие газовые весы Симманса и Абади. Принцип, лежащий в основе этого аппарата, в высшей степени прост и состоит в том, что взвешивается столб газа, высоту приблизительно в 1 м, и указываются, или записываются изменения в весе его при помощи стрелки, соединенной с коромыслом весов.

На рис. 17 схематически показан принцип действия этих регистрирующих газовых весов. Измеряемый газ входит в цилиндр a в точке b и выходит в точке c . При входе газ сильно дросселируется, выходит же он вполне свободно; таким образом, через цилиндр проходит поток газа слабого давления и с умеренной скоростью.

При помощи стержня e и гибкого соединения f поршень соединен с сегментом g коромысла весов, снабженного противовесом h и стрелкой i , под которой находится шкала k .

Если цилиндр a наполнен воздухом, то давление атмосферы по обеим сторонам поршня будет одинаково, и стрелка займет на шкале положение 1,0, соответствующее удельному весу воздуха. Если же через цилиндр проходит газ тяжелее или легче воздуха, то на нижнюю сторону поршня действует вес окружающей атмосферы, а на верхнюю сторону — вес атмосферы в

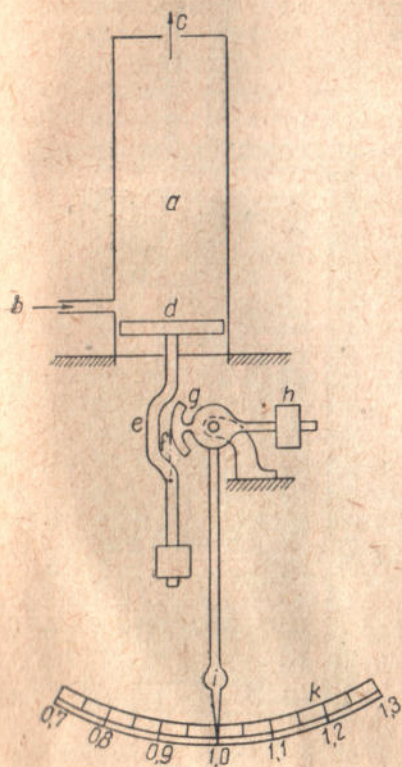


Рис. 17. Принцип действия газовых весов Симманса и Абади.

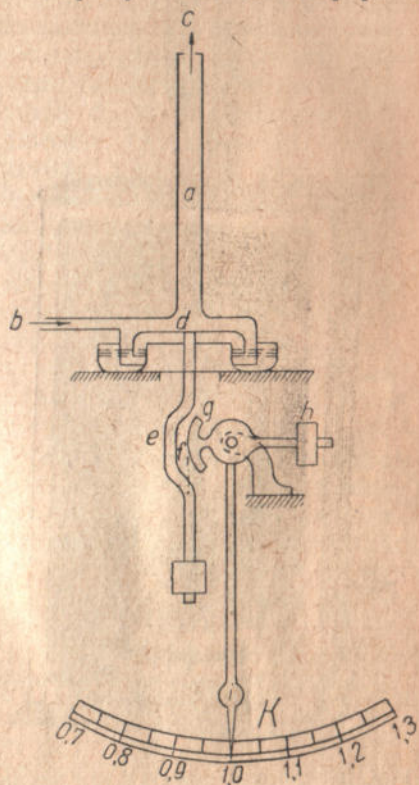


Рис. 18. Схематический чертеж газовых весов Симманса и Абади.

точке истечения газа плюс вес газа, содержащегося в цилиндре. Если газ легче воздуха, то коромысло весов с левой стороны будет подыматься до тех пор, пока не наступит равновесие в системе; если же газ тяжелее воздуха, то коромысло будет опускаться с левой стороны до наступления равновесия. Расстояния между делениями шкалы устанавливаются эмпирическим путем.

На рис. 18 схематически изображены весы Симманса и Абади. Отличие между весами Симманса и Абади (на рис. 18) и весами,

изображенными на рис. 17, состоит в том, что вместо поршня имеется водолазный колокол, который действует точно так же, как поршень, а вместо широкого цилиндра применяется узкая трубка.

Как известно, давление в жидкости распространяется равномерно по всем направлениям и поэтому давление жидкости на дно не зависит от формы боковых стенок сосуда. Таким образом, давление газа, находящегося над колоколом, будет всюду

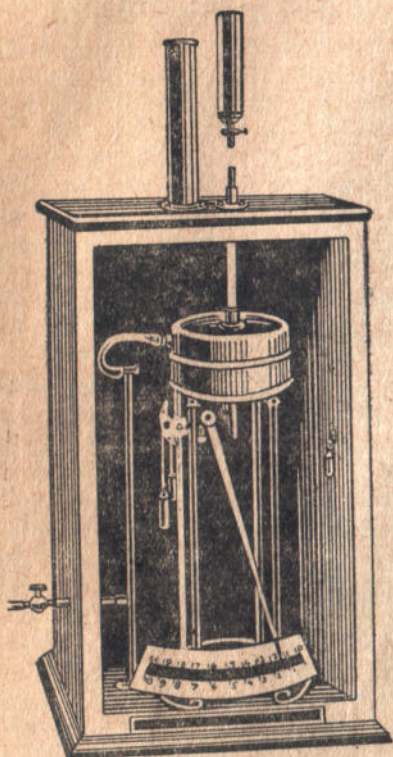


Рис. 19. Общий вид газовых весов Симманса и Абади.

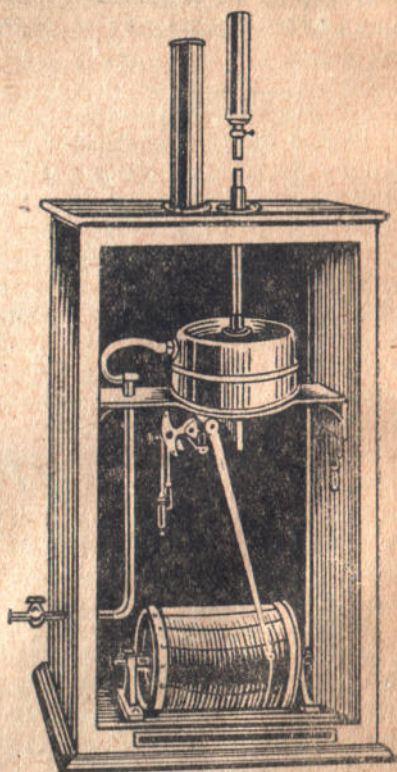


Рис. 20.

одинаково и независимо от того, применяется ли широкий цилиндр (рис. 17) или узкая трубка (рис. 18). Применение узкой трубки делает прибор более легким и удобным в обращении, газ проходит через прибор быстрее, чем при применении широкого цилиндра, и, таким образом, газовые весы быстрее реагируют на изменения удельного веса.

На рис. 19 и 20 изображены указывающие и регистрирующие газовые весы по Симмансу и Абади в рабочем положении; трубка длиною приблизительно в 1 м, в конце которой помещена горелка, изображенная в сокращенном виде. Газ поступает

через боковой кран прибора и проходит над точно сбалансированным, погруженным в масло алюминиевым колоколом. Газ желательнее предварительно пропускать через точно работающий регулятор давления. В конце столба газа, давящего на алюминиевый колокол, газ сжигается в стеатитовой горелке. Алюминиевый колокол соприкасается с атмосферным воздухом своей нижней внутренней поверхностью и соединен с очень подвижным коромыслом весов, имеющим незначительное трение. Коромысло движется перед барабаном, снабженным часовым механизмом и шкалой для записывания, и с большой чувствительностью отмечает малейшее изменение в удельном весе газа. Этот прибор устанавливается при помощи прибора Шиллинга-Бунзена, причем регистрирующий барабан приводится в горизонтальное положение при помощи установочного винта таким образом, чтобы стрелка указывала удельный вес, определенный посредством прибора Шиллинга-Бунзена. Показания прибора Симманса-Абади так же, как показания прибора Шиллинга-Бунзена, не зависят от температуры и барометрического давления, так как эти величины и их изменение влияют на газ и на воздух одинаково и одновременно. В приборе Шиллинга-Бунзена измерение времени истечения производится при некотором насыщении и газа и воздуха влагой; в регистрирующем приборе Симманса и Абади дополнительное насыщение воздуха и газа не происходит.

Регистрирующий прибор Симманса и Абади был испытан учебным и исследовательским институтом в Карлсруэ. Некоторые проверочные определения, проведенные при помощи прибора Шиллинга-Бунзена, показали отклонения от 0,01 до 0,008 при удельном весе газа от 0,3 до 0,45. Таким образом, отклонения составляли от 2 до 3%, что вполне удовлетворительно для многих случаев практики, особенно в том случае, если вводится в показания прибора поправочный коэффициент.

Гидравлический самопишущий прибор для измерения удельного веса газа. Принцип работы этого прибора основан

на зависимости между удельным весом и давлением газа при одной и той же скорости его движения. Эта зависимость выражается так: разность давлений газа пропорциональна удельному весу. К этой зависимости приводит следующее рассуждение: имеется двойное сопло (рис. 21), вроде тех, которые применяются для измерения количеств газа; обозначая поперечное сечение его в месте стыка с трубопроводом через f_1 , узкое сечение — через

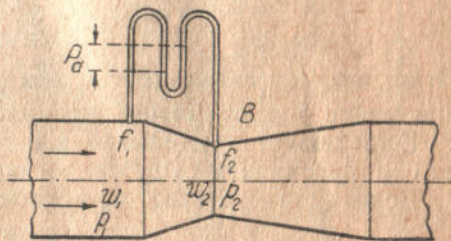


Рис. 21. Принцип действия гидравлического прибора для измерения удельного веса газа.

f_2 , скорость при f_1 через w_1 , а при f_2 — через w_2 , статическое давление — через p_1 и p_2 , объемный вес газа в $\text{кг}/\text{м}^3$ — через γ , и пренебрегая сопротивлениями от трения, — получим следующее уравнение:

$$p_1 + \frac{w_1^2}{2g} \cdot \gamma = p_2 + \frac{w_2^2}{2g} \cdot \gamma,$$

в котором g означает ускорение силы тяжести. Из этого уравнения следует, что

$$p_1 - p_2 = p = \frac{\gamma}{2g} \cdot (w_2^2 - w_1^2).$$

Дальше, $\frac{w_2}{w_1} = \frac{f_1}{f_2}$.

Вставив это выражение в написанное выше уравнение, получим

$$p_1 - p_2 = p = \frac{\gamma}{2g} \cdot w_1^2 \cdot \left[\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 - 1 \right],$$

т. е. разность давлений между входом и самым узким сечением двойного сопла пропорциональна удельному весу и квадрату скорости.

Сопротивления трения следующие:

$$T_1 = \alpha \cdot \frac{w_1^2}{2g} \cdot \gamma;$$

принимая их во внимание, получим:

$$p = \gamma \cdot \frac{w_1^2}{2g} \cdot \left[\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 - 1 + \alpha \right].$$

Итак, пропорциональность между p и $\gamma \cdot w_1^2$ сохраняется также при учете сопротивлений трения.

Если известен удельный вес γ , то можно по разности давлений p рассчитать скорость и количество протекающего газа.

Если скорость газа w_1 постоянна, то

$$p = c \cdot \gamma,$$

т. е. разность давлений пропорциональна удельному весу.

На этом принципе основан гидравлический самопишущий прибор для определения удельного веса газа системы Контцен, схематически изображенный на рис. 22. Прибором этой конструкции измеряется не разность давлений, а только давление в самом узком сечении; давление же газа при входе в это сечение при помощи регулятора давления поддерживается постоянным.

Аппарат состоит из сосуда f с водой, приводного механизма e , двойного сопла d , регулятора давления c и фильтра b . В точке a прибор присоединяется к газопроводу.

Из сосуда f вода течет через сопло g в приводной механизм e . Если механизм e наполнен, он „выкачивает“ газ посредством трубки h и равномерно засасывает его посредством трубки γ . На барабане m наносится при помощи регистратора k перепад давления, возникающий вследствие сужения потока. Барабан при помощи часового механизма делает один оборот в сутки. Посредством регулятора z давление перед двойным соплом d поддерживается на постоянном уровне, а фильтр b очищает газ. Если приводной механизм e опорожнен, то вода, поступающая из сосуда f , вытесняет засосанное количество газа по трубке h , вентилю i и отводящей трубке o .

Механизм e сконструирован в виде бутылки Мариотта, поэтому высота подъема не изменяется в течение засасывания.

В зависимости от количества жидкости, поступающей в механизм e для вытеснения газа, время опораживания этого механизма и скорость газа, проходящего через двойное сопло d , изменяются, так как количество газа всегда равняется только емкости механизма e , в то время как стекающее количество воды соответствует емкости сосуда плюс приток воды во время опораживания.

Неравномерный приток воды, вызванный какими бы то ни было причинами, может привести к значительным ошибкам в показаниях прибора.

Для устранения этого источника ошибок имеется следующее приспособление: спускная трубка h заканчивается в маленьком сборнике z , который подвешен на шарнирном рычаге x ; этот рычаг в свою очередь соединен с вращающейся подвеской для сопла y . Пружина σ оттягивает подвеску к правому упору. Как только сосуд e начинает опораживаться по трубке h , — сборник z наполняется водой. Наполненный сосуд z в противовес пружине тянет подвеску с соплом налево; таким образом, в течение опораживания в механизм e вода не поступает, а течет в сосуд 15 и оттуда по трубе w в спускную коробку l .

После опораживания механизма e вода стекает через отверстие, имеющееся в дне сосуда z , и пружина σ обратно оттягивает

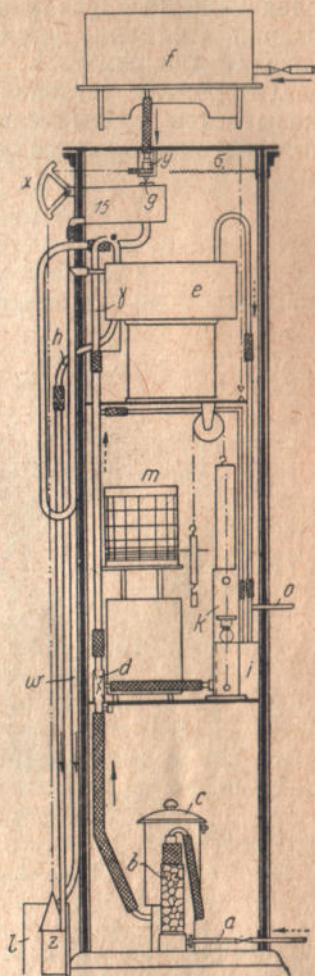


Рис. 22. Гидро-аппарат для измерения удельного веса газа.

подвеску с соплом. Благодаря этому приспособлению не только избегаются ошибки, могущие возникнуть вследствие неравномерного притока воды, но также удается менять в широких пределах количество поступающей воды путем замены сопла g , вследствие чего увеличивается или уменьшается количество показаний в единицу времени, причем нет необходимости менять масштаб диаграммы.

Диаграммы устанавливаются таким образом, что вес газа указывается относительно веса воздуха, принятого за 1 при определенной температуре и определенном показании барометра,

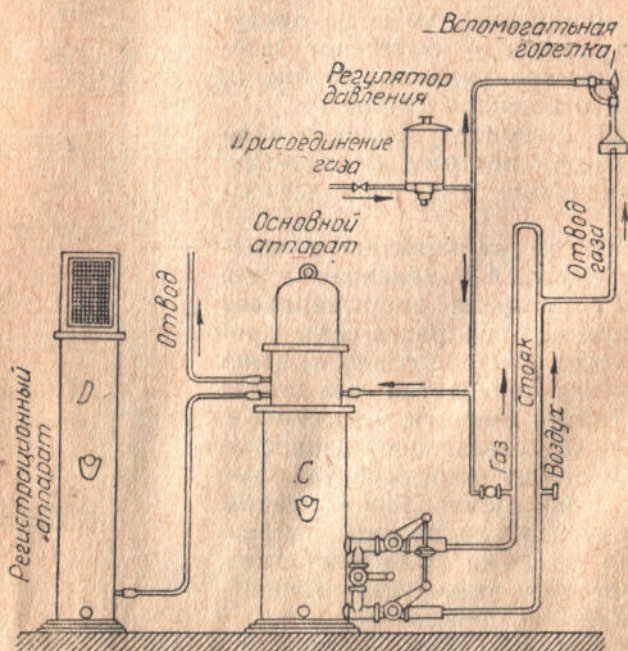


Рис. 23. Гидравлические газовые весы.

например, при 15°C и 735 мм ртутного столба. Для других условий необходимо полученные результаты исправить при помощи специальных таблиц или пересчетов.

Это обстоятельство необходимо иметь в виду при сравнении результатов измерений. Согласно испытаниям учебного и исследовательского газового института в Карлсруэ прибор дает отклонения максимум в $2,5\%$ и может быть рекомендован для текущего контроля производства.

Гидравлические газовые весы. Другой прибор, также сконструированный фирмой «Gidroapparatenbauanstalt» в Дюссельдорфе, изображен на рис. 23. Прибор основан на том же принципе, что и газовые весы Симманса и Абади, но конструкция

его отличается тем преимуществом, что система соединения трубок позволяет эти трубки сделать любой высоты, чем достигается большая разница давлений и становится возможным применение точно записывающего прибора для измерения давлений.

В трубке слева находится столб газа, а в трубке справа столб воздуха, одинаковой высоты. Разница весов столбов воздуха и газа по двум трубкам передается на основной аппарат С. Пишущий прибор *D* непрерывно наносит удельный вес газа на диаграмму.

Прибор Гидро-Реле. [2] Принцип аппарата состоит в том, что у основания двух вертикальных трубок одинаковой высоты, по которым протекает два различных газа, регистрируется разница давлений. Если эти газы имеют объемные веса γ_1 и γ_2 (кг/м^3) и полезную высоту трубок обозначить через s (м), то для разности давлений получаем $h = s (\gamma_1 - \gamma_2)$ мм водяного столба.

Если γ_1 известна (воздух или газ постоянного состава), то имеем

$$\gamma_2 = \left(\gamma_1 - \frac{h}{s} \right) \text{кг/м}^3.$$

Из объемного веса γ_2 можно вычислить искомый удельный вес газа. Аппаратура состоит по существу из реле, точного регулятора, пишущего прибора и трубок; все это помещается в футляре. Контролируемый газ и сравниваемый газ поступают через краны R_1 и R_2 в аппарат (рис. 24); за кранами R_1 и R_2 помещены два простых регулятора давления DR_1 и DR_2 , которые предохраняют всю аппаратуру от избытка давления. Исследуемый и сравниваемый газы осушаются в наполненных хлористым кальцием сосудах, затем автоматически регулируются до одинакового давления точным регулятором, расположенным перед двумя дросселями DL_1 и DR . При этом скорость газов регулируется таким образом, что в вертикальных трубках достигается скорость газотока, достаточная для быстроты вращения указательной стрелки.

По оставлении точного регулятора оба газа отдельно проходят под обоими главными колоколами HGL и HGR —реле аппарата и затем через обе вертикальные трубки. При OV они соединяются. Вследствие различных объемных весов на главные колокола действует разница давления, вызываемая обоими столбами газов в вертикальных трубках. Коромысло весов WB , на одном конце которого висит уравнивающий колокол gg , а на другом имеется распределительная коробка SM с весьма незначительной амплитудой перемещения перед головкой распределителя $СК$, испытывает под влиянием разницы давлений вращательное движение; смотря по положению коромысла, распределительная коробка SM пропускает в трубку S большее или меньшее количество воздуха, поступающего через BL и проходящего под вспомогательный колокол gg , а через ответвление— в регистрирующий аппарат. Колебания коромысла

весов продолжают до тех пор, пока давление под вспомогательным колоколом *gg* не уравновесит „момента“ давления, развиваемого главными колоколами *HGL* и *HGR*. С помощью

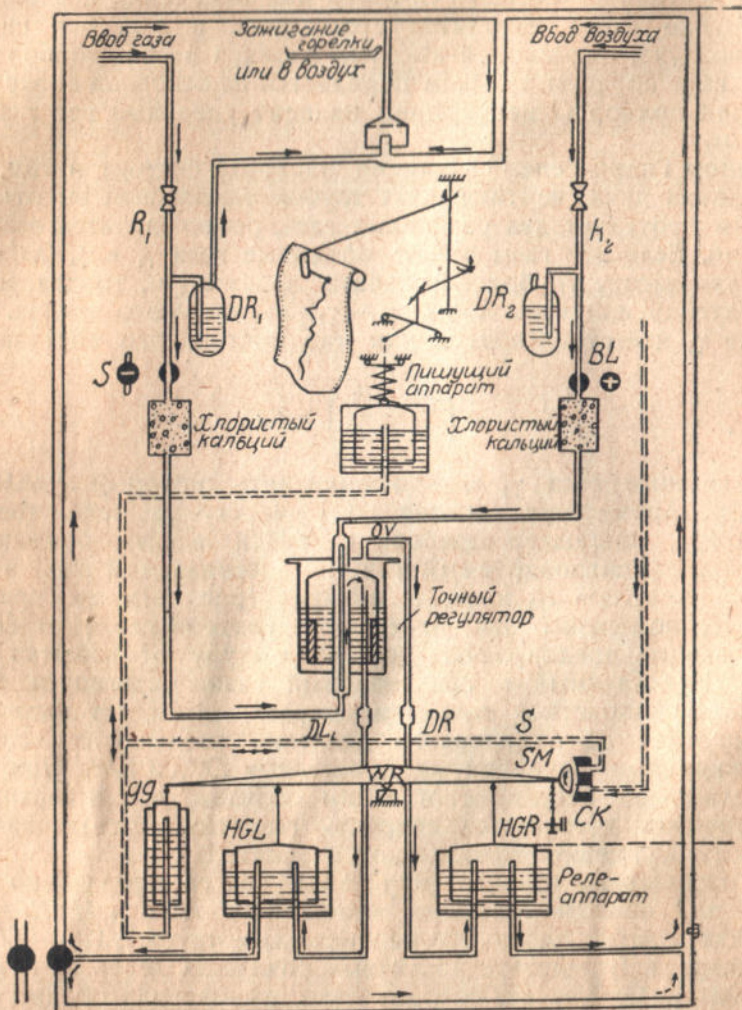


Рис. 24. Схема газовых весов „Гидро-реле“.

этого устройства — реле, незначительная первоначальная разность давлений преобразуется в соответственно пропорциональную, но во много раз большую величину, которая является мерою для определения объемного веса испытуемого газа. Запись производится простым ленточным регистром. Аппарат моментально указывает малейшее изменение объемного веса испытуемых газов с точностью до $\pm 0,5\%$. Показания пропор-

циональны высоте диаграммы, поэтому она составляется непосредственно и планиметрически. Путем предварительной нагрузки аппарата может быть исключена часть кривой, не имеющая значения для окончательных выводов, что дает возможность использования всей ширины диаграммы (120 мм) и увеличения точности показаний. При необходимости, точность показаний может быть увеличена соответствующим подбором высот вертикальных трубок; предел ошибки при замерах гарантируется до 0,005 мм водяного столба.

На основании 300 испытаний, дававших всегда удовлетворительные результаты, Рурское газовое общество в Эссене дает самый лучший отзыв об этом аппарате.

Денсограф Штрахе. Высокий сосуд g (рис. 25) снабжен в точке поступления газа a и в точке истечения газа b пластинками с маленькими отверстиями, через которые пропускается газ при помощи всасывающего приспособления. Разрежение внутри сосуда g составляет половину суммарного разрежения в том случае, если оба отверстия a и b одинаковы, и если через последние пропускается один и тот же газ. Если предположим, что сначала в сосуде g находится воздух, а затем туда через отверстия a вводится газ легче воздуха, например, каменноугольный, тогда сопротивление, оказываемое газу отверстием a , падает и разрежение в сосуде g соответственно понижается; манометр, установленный в сосуде g , при этом покажет понижение давления; величина этого понижения определяет плотность протекающего газа. По мере постепенного вытеснения воздуха газом из сосуда g , газ доходит до отверстия истечения b , и тогда манометр будет показывать первоначальное давление, так как через оба отверстия a и b проходит один и тот же газ.

Для получения непрерывных показаний, через отверстие a необходимо пропускать попеременно то воздух, то исследуемый газ, и по изменениям столба жидкости в манометре m определять удельный вес газа. Для получения непрерывных записей манометр m заменен регистрирующим прибором, который при помощи пера отмечает давление или разрежение. Показания наносятся на диаграмму; вычерчиваемая пером линия указывает величину удельного веса газа. Попеременное пропускание воздуха и газа осуществляется при помощи переключателя простой конструкции.

Прибор кроме сосуда g , соединенного с отверстиями a и b , имеет еще следующие элементы: 1) водоструйный насос p , 2) регулятор r , регистрирующий засасывающее действие этого насоса, отмечаемое манометром m , 3) регистратор давления d и 4) переключатель u .

Пусть согласно рис. 26 p_0 обозначает давление притекающего газа перед входным отверстием a , p — давление в сосуде g , p_1 — давление, с которым газ покидает сосуд, пройдя через отверстие истечения b ; γ — удельный вес одного газа, γ_1 — удельный вес другого газа. Так как потери давления в обоих отверстиях

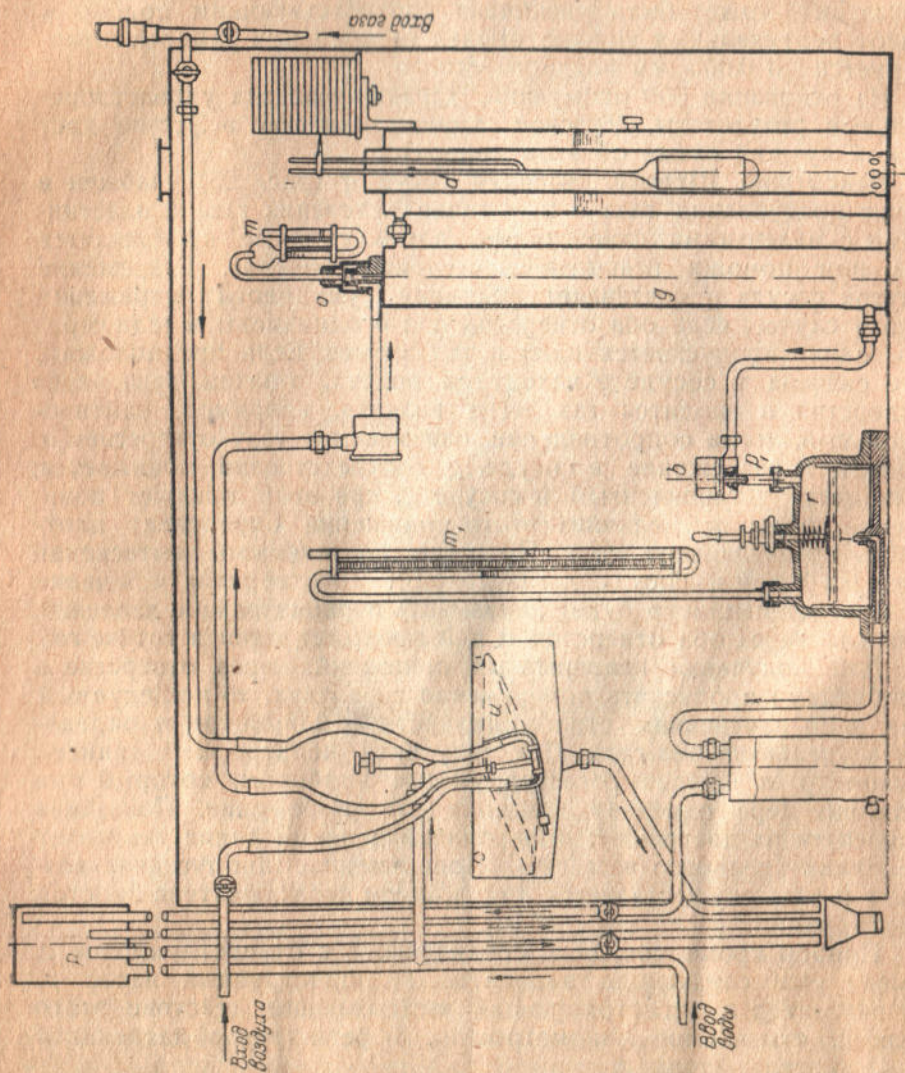


Рис. 25. Денсограф Штрахе.

пропорциональны удельным весам протекающих газов, то можно написать:

$$\frac{p_0 - p}{p - p_1} = \frac{\gamma}{\gamma_1}.$$

Если же суммарное понижение давления относительно наружного воздуха, установленное по регулятору-манометру, обозначим через

$$p_0 - p_1 = P,$$

то

$$p_0 - p = P \cdot \frac{\gamma}{\gamma + \gamma_1}.$$

Принимая γ_1 для воздуха = 1, получаем:

$$p_0 - p = P \cdot \frac{\gamma}{\gamma + 1}.$$

Для воздушного потока, когда и $\gamma = 1$,

$$p_0 - p = \frac{D}{2},$$

что соответствует расстоянию между нижней и верхней линиями диаграммы, хотя это расстояние, выраженное в мм, по величине не соответствует данному понижению давления, выраженному в мм вод. ст., ибо применяемый при этом приборе регистратор давления наносит разрежение в несколько уменьшенном масштабе. Пусть, например, это расстояние равняется 89 мм; тогда по формуле расстояние A отдельных линий от нулевой линии составит

$$A = 1,78 \frac{\gamma}{\gamma + 1}.$$

Цифровые значения для A и γ приведены в следующей таблице:

$\gamma =$	$A =$
0,0	0,0 мм
0,1	16,2 "
0,2	29,6 "
0,3	41,2 "
0,4	51,0 "
0,5	59,3 "
0,6	66,7 "
0,7	73,3 "
0,8	79,1 "
0,9	84,5 "
1,0	89,0 "

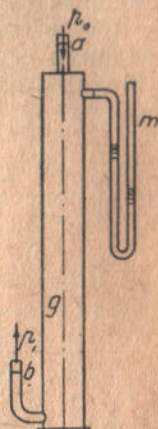


Рис. 26. Схема деисографа.

Описанный прибор показывает удельный вес исследуемого газа относительно воздуха при любом атмосферном давлении. Если требуются точные показания, отнесенные к сухому воздуху, надо внести соответствующую поправку в зависимости от степени влажности воздуха, измеряемой при помощи гигрометра или психрометра.

Определение удельного веса по составу газа. Если вышеописанные приборы отсутствуют, или же имеющееся количество газа очень мало, то можно удельный вес газа рассчитать на основании его химического состава.

Метод такого расчета ясен из прилагаемого числового примера.

Пример 8

Состав газа	Проц. содержание	Удельный вес каждого компонента	Общий удельный вес
H ₂	61	0,069	4,209
CH ₄	27,2	0,555	15,096
C ₆ H ₆	0,9	2,694	2,425
C ₂ H ₄	2,9	0,975	2,828
CO	3,3	0,967	3,201
N ₂	4,7	0,967	4,545
			32,304

$32,304 : 100 = 0,323$ по воздуху = 1. Объемный вес газа отсюда: $0,323 \cdot 1,2928 = 0,417$ кг/м³.

Помещенная в Приложении 9 таблица позволяет сократить этот расчет. Вертикальные графы таблицы показывают процентное содержание в газе соответствующего компонента, горизонтальные ряды показывают десятые доли процента. Объемный вес газа приведенного выше состава определяется по этой таблице так:

Для 61 части	H ₂	= 5,484
" 27,2 "	CH ₄	= 19,456
" 0,9 "	C ₆ H ₆	= 3,132
" 2,9 "	C ₂ H ₄	= 3,625
" 3,3 "	CO	= 4,125
" 4,7 "	N ₂	= 5,875
		41,697

$41,697 : 100 = 0,417$ кг/м³.

Другие методы определения удельного веса газов. По Гулиху при помощи аспиратора создается определенный вакуум. Затем впускают через отверстие воздух и наблюдают за понижением ртутного столба в манометре; точно также поступают с газом и по времени, необходимому для уменьшения вакуума на определенную величину, судят об удельном весе газа.

Другой метод, показывающий разности плотностей различных газов, носящий, однако, более качественный характер, основывается на диффузии газов через пористые мембраны. Если снабдить цилиндр из неглазурованной обожженной глины затвором и к его отверстию присоединить манометр, то при введении цилиндра в атмосферу более легкого газа внутри этого цилиндра обнаружится повышение давления. Дело в том, что легкий газ более легко проникает через поры внутрь цилиндра, чем выходит оттуда более тяжелый газ; таким образом, растет количество газа, находящегося в цилиндре, и вместе с тем и давление. На этом принципе основан прибор, известный под названием „газоскоп“.

Был также предложен акустический метод, основанный на том принципе, что высоты звуков, получаемых при продувании различных газов через губной свисток, так же, как и скорости истечения, обратно пропорциональны квадратным корням из удельного веса этих газов.

Замечания по проведению определения удельного веса на практике. Точное определение удельного веса при учете газа очень важно; его необходимо определять с точностью минимум трех десятичных знаков. Если, например, принять полученный удельный вес в 0,427 за 0,42 или 0,43, то при скоростном напоре в 5,5 мм получается разница в количестве газа минимум на 2%.

При изменении температуры меняются условия определения в приборах, поэтому необходимо наблюдения производить при одинаковой температуре. Нельзя также наблюдение с воздухом производить один раз для многих случаев измерения удельного веса газа; это особенно важно при применении прибора Бунзена-Шиллинга.

Большое значение имеет хорошее пропаласкивание аппарата в случаях перемены измеряемого газа.

Применение в качестве гидравлического затвора жидкостей, например, воды или глицерина, страдает тем недостатком, что гигроскопические газы, например CO_2 , абсорбируют влагу, вследствие чего удельный вес может заметно измениться. Предпочтительно было бы применять в этих случаях в качестве затвора ртуть.

Определение удельного веса необходимо производить одновременно с замером количества газа. Для определения числового результата измерения надо взять среднее из нескольких опытов.

При определении удельного веса газа нельзя игнорировать вопрос об его влажности, памятуя, что водяной пар более

чем в два раза легче воздуха. Определение влажности воздуха и газа, и внесение соответствующих поправок в результаты определения удельного веса надо считать обязательным в тех случаях, когда измеряемые газ и воздух имеют повышенную температуру.

Литература

1. О. Д. Хвольсон, Курс физики, 1923.
2. В. А. Соколов, Методы исследования природных газов, 1932.
3. В. Бертельсман и Ф. Шустер, Введение в технич. обработку газовых веществ, 1935.
4. Журнал „Кокс и химия“, № 4, стр. 135—143, 1935.
5. L. Litinsky, Messung Grosser Gasmengen. 1922.

Ссылки в тексте

1. Журнал „Кокс и химия“, № 12, стр. 34—35, 1933.
2. Журнал „Кокс и химия“, № 1, стр. 60—61, 1932.

Глава III

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ ГАЗОВОГО ПОТОКА И ПЕРЕДАЧА ИХ НА РАССТОЯНИЯ

Объемное количество протекающего по газопроводу газа определяется по скорости движения потока w и площади поперечного сечения трубопровода F , согласно уравнения:

$$V = F \cdot w.$$

Таким образом, чтобы определить количество газа, надо знать скорость движения газового потока.

В любой точке газового потока полный напор может быть определен на основании следующего выражения, приведенного в главе I-й:

$$H = p + \frac{\gamma \cdot w^2}{2g} \text{ кг/м}^2,$$

где p — давление газа в кг/м^2 или мм вод. ст.

w — скорость потока в м/сек

γ — объемный вес в кг/м^3

g — ускорение силы тяжести = $9,81 \text{ м/сек}^2$.

Из этого выражения следует, что для определения скорости надо определить давления потока H и p . Это положение действительно, конечно, для тех методов измерения скорости, которые основаны на измерении напоров или перепада давлений, создаваемого установкой в газопроводе искусственных препятствий (о чем речь будет в последующих главах).

Измерение давлений газового потока является, таким образом, весьма существенным фактором в деле учета газов и в частности, при определении скорости движения газов по трубопроводам.

В зависимости от того, находится ли газ в покое или в движении, различают два вида давления.

Если для начала отвлечься от потерь энергии на трение, а также от изменений энергии вследствие расширения, сжатия или удара, то при движении газового потока приходится говорить о динамическом и статическом давлении.

Статическое давление ($p_{ст}$) — это внутреннее давление прямолинейно движущегося потока газа, которое покажет манометр, условно движущийся в направлении движения газового потока со скоростью, равной скорости этого газового потока.

Динамическое давление ($p_{дин}$) или скоростной напор представляет собой давление, которое способен произвести поток газа благодаря энергии своего движения.

Динамическое давление приходится определять в тех случаях, когда нужно найти количество газа по его скорости.

Сравнительно легко удается определить так называемое суммарное давление ($p_{сум} = p_{ст} + p_{дин}$); применяют для этой цели насадки, диафрагмы, трубки Вентури, при установке которых динамическое давление получается в виде разности между суммарным и статическим давлением.

Отдельное определение статического давления играет очень большую роль как для измерений количеств газа при помощи сопротивлений движению его, так и для других производственных целей. В качестве примера можно привести случай засорения газопровода, что влечет за собой повышение в нем статического давления и понижение пропускной способности. При

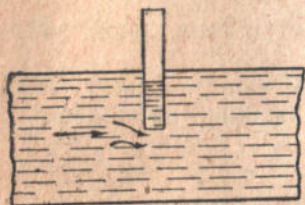


Рис. 27. Всасывающее действие газового потока на вставленную в газопровод трубку.

применении обычных приборов для измерения давления дежурный на заводе не будет иметь возможности обнаружить неполадку, особенно в тех случаях, когда измеряется общее давление, так как при повышенном статическом давлении динамическое давление при закупорке газопровода падает, сумма случайно может не измениться, и с внешней стороны все остается в порядке. Исходя из этих соображений полезно наряду с общим давлением определять также статическое давление.

В технике измерения газов пришлось преодолеть много трудностей, прежде чем в известной степени удалось создать прибор для измерения или же исключения статического давления.

Если пространство занято покоящимся паром или газом, то можно весьма просто определить его статическое давление: стоит лишь в это пространство ввести трубку и соединить ее с манометром. При этом не имеет никакого значения, прямая ли трубка, достигает ли она лишь стенки сосуда или глубоко погружена в это пространство, изогнута ли она под прямым углом и в какую сторону направлена. При любых условиях присоединенный манометр укажет одинаковую постоянную высоту напора, соответствующую статическому давлению.

При движении же газа по газопроводу определить статическое давление весьма трудно. Если для этой цели в трубопровод вставить трубку, обрезанную под прямым углом, как это показано на рис. 27, то она будет действовать засасывающим образом и покажет статическое давление ошибочно, а именно: при наличии избыточного давления в трубопроводе покажет пониженное, а при наличии разрежения — повышенное стати-

ческое давление. Статическое давление может быть измерено более или менее точно лишь при условии, что измерение производится у самой стенки трубопровода, что эта стенка гладкая, что измерительная трубка узка, находится под прямым углом к стенке и оканчивается у самой стенки. Само собой разумеется, что таким путем можно правильно измерить давление непосредственно у стенки трубопровода лишь в тех случаях, когда газовые струйки потока направлены параллельно стенке трубопровода.

Вамбера и Шрамль (Vamberra u. Schramml) обстоятельно занимались приборами для измерения давления и пришли к следующим выводам.

Прямая измерительная трубка (С на рис. 28) производит засасывающее действие. При этом определенное влияние оказывают: диаметр измерительной трубки, скорость потока газа и характер отверстия трубки. Таким образом, для измерения статического давления нельзя применить прямые трубки.

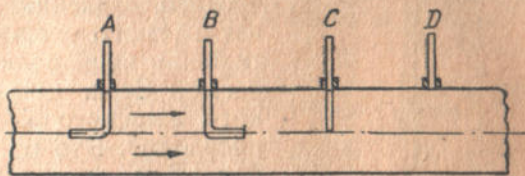


Рис. 28. Установка трубок для измерения статического давления.

Измерительная трубка, изогнутая под прямым углом, установленная в качестве всасывающей трубки (В на рис. 28) тоже обладает определенными недостатками. Всасывающее действие при равной длине колена растет с увеличением диаметра трубки и падает с ростом длины горизонтального колена трубки.

Были также изучены показания трубки А на рис. 28; диаметр такой трубки не оказывает большого влияния на точность отсчета в том случае, если она сужает поперечное сечение трубопровода не больше, чем на 3%. Если отношение диаметра трубки к ее длине не слишком велико, то сопротивление, оказываемое вертикальной частью трубки, не влияет на показания. Толщина стенок трубки большой роли не играет, зато оказывает большое влияние на точность показания давления положение трубки. При положении А (рис. 28) очень точно замеряется общее давление ($p_{ст} + p_{дин}$).

Долгое время считали, что отверстие, высверленное в стенке канала (рис. 28 — D) и соединенное с манометром, дает статическое давление. Новейшие опыты показали, что в отверстии D создается в сравнении с внутренностью канала повышенное давление на 1 до 3%, что следует принимать во внимание при точных замерах. Если динамическое давление составляет лишь незначительную часть измеряемой разности давлений, то в большинстве случаев эта ошибка не играет роли; она совершенно отпадает, когда разность давлений измеряется между двумя точками с одинаковой скоростью движения газа. Следует упомянуть что при высверливании стенки весьма значительно

могут повлиять на результат измерения неровности стенки канала в месте высверливания, легкие углубления или выступы на стенке.

Определение статического давления можно просто осуществить лишь в тех случаях, когда созданное потоком динамическое давление настолько мало, что им можно пренебречь в сравнении с измеряемой разностью давлений.

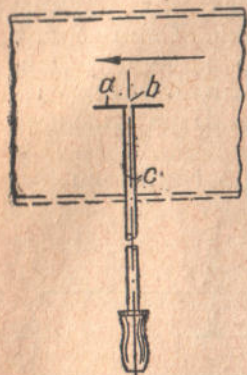


Рис. 29. Шайба Сера.

При определении статического давления в трубопроводе важно, таким образом, устранить влияние динамического давления газового потока или так называемого скоростного напора. Для достижения этой цели часто пользуются диафрагмой Сера. Она (рис. 29) состоит из тонкого плоского кружка *a* с отверстием *b* посредине. Это отверстие соединено с трубкой *c*, которая выходит наружу и в конце снабжена резиновой втулкой для присоединения к манометру.

Для получения правильных показаний шайба Сера должна быть установлена в исследуемом трубопроводе параллельно газовому потоку для того, чтобы избежать влияния давления или засасывания газового потока на результаты замеров.

Шайба Сера соединяется с чувствительным манометром таким образом, чтобы его другой конец был соединен с атмосферой. В этом случае давление, показываемое манометром, будет соответственно выше или ниже атмосферного давления.

Можно также измерить статическое давление следующим образом: динамическое давление исключают при помощи большого количества препятствий, устанавливаемых на пути газового потока; статическое давление при этом преодолевает эти препятствия. Такие аппараты изображены на рис. 30—32.

Прибор Нифера (рис. 30) сконструирован как бы из шайбы Сера путем наложения нескольких круглых, проволочных кру-

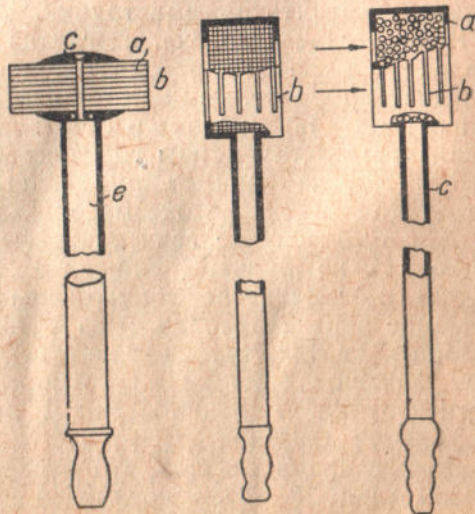


Рис. 30. Рис. 31. Рис. 32.
Приборы для измерения статического давления.

ков *a* на ее тонкую пластинку. У края их скрепляет узкое кольцо *b*, а в середине — маленький кружок *c*. По трубке *e* давление передается наружу к манометру.

Прибор Розенмюллера. На рис. 31 изображен подобный же прибор Розенмюллера. Маленькая цилиндрическая коробочка, кожух которой прорезан рядом щелей *b*, заполнена тонкой проволочной спиралью, представляющей собою сетку. При входе газового потока внутрь коробки его кинетическая энергия расходуется на трение о проволочную сетку; остается лишь статическое давление, которое передается наружу по металлической трубочке.

Подобной же конструкции прибор представлен на рис. 32; в нем имеются щели *b*, но сетка заменена дробью *a*. По трубке *c* давление передается наружу к манометру.

Значительно более точные показания дает прибор, представленный на рис. 33. При измерении статического давления при помощи этого прибора необходимо обращать внимание на точность его установки в трубопроводе, ибо при смещении он показывает более высокое давление.

Целый ряд аналогичной конструкции приборов, описание которых будет дано в главе VI и VII, предложен для измерения статического давления газового потока. Установка трубок и установка приборов для сужения газового потока позволяют определять как статическое давление, так и разность между суммарным общим давлением и статическим давлением. Подробное описание этих приборов дано в последующих главах.

Для измерения всех этих видов давлений служат манометры.

Как известно, манометры делятся на два основных типа: манометры металлические и манометры жидкостные. Первые применяются для измерения, главным образом, высоких давлений; ими пользуются для измерения статических давлений, например, компримированных газов, природных газов и т. п., когда приходится иметь дело с давлениями порядка десятков и даже сотен атмосфер. Для измерения статических давлений, выражаемых долями атмосферы и перепадов давлений, выражаемых зачастую только несколькими миллиметрами, а иногда даже десятками долями миллиметра вод. столба, — применимы только жидкостные манометры.

Для больших и средних разностей давлений годятся обычные жидкостные манометры, наполненные ртутью; для низких давлений они наполняются водой или еще более легкими жидкостями, вроде спирта, керосина и т. д., удельный вес которых ниже единицы. Такие манометры должны иметь трубки равно-

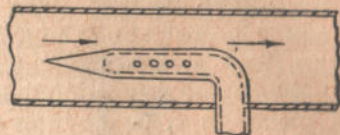


Рис. 33. Трубка для измерения статического давления.

мерной толщины и шкалу с точной градуировкой. Необходимо знать при этом, конечно, удельный вес жидкости, заполняющей манометр.

Не останавливаясь на описании простейших типов жидкостных манометров с вертикальными трубками, отметим здесь только манометр Крелля, удобный для применения и получивший довольно большое распространение.

Манометр Крелля (рис. 34) состоит из двух трубок; обе эти трубки с помощью отводов g и g_1 присоединяются к трубопроводу. При помощи краников k и k_1 обе трубки могут быть соединены между собой; краники k и k_1 соединены между собой рычагом c , благодаря чему могут поворачиваться одновременно.

Вверху трубка r соединяется с измерительной трубкой d , а трубка r_1 — с трубкой e , имеющей в верхней своей части расширение. Трубки d и e сообщаются внизу между собой.

Если систему кранов kk_1 поставить в левое положение (на рисунке они стоят направо) и открыть пробку f на трубке d , то налитая в прибор запорная жидкость (ртуть, вода, спирт и др.) установится в обеих трубках d и e на одинаковом уровне; этот уровень должен, конечно, совпадать с нулевым положением шкалы; если такого совпадения нет, то или шкалу соответственно передвигают, или изменяют количество налитой в прибор жидкости.

Если теперь пробкой f плотно закрыть отверстие вверху трубки d , систему кранов kk_1 передвинуть вправо, как это изображено на рисунке, и прибор присоединить к месту измерения, то положение уровней в трубках d и e изменится и на шкале можно будет отсчитать показание прибора.

Шкала делится на миллиметры; если прибор проградуирован, то деления этой шкалы могут показывать непосредственно скорость измеряемого в трубопроводе газового потока или объемные количества протекающего по трубопроводу газа.

Если одно колено g присоединить к трубопроводу, а второе g_1 соединить с атмосферой, то прибор покажет величину давления в трубопроводе; если оба колена g и g_1 присоединить к трубопроводу (например, одно колено соединить с пространством до диафрагмы, а второе — с пространством после диафрагмы), то прибор покажет величину перепада давления или разности давлений.

Как металлические, так и жидкостные манометры с одной или двумя вертикальными трубками являются сравнительно грубыми приборами, в которых измерения небольших давлений или разности давлений производить очень трудно. Даже при заполнении измерительных трубок этих манометров жидкостью с удельным весом меньше единицы измерять разности давлений в несколько миллиметров водяного столба с необходимой точностью нельзя, ибо погрешность в отсчете является слишком высокой. Для этих целей применяют *микроманометры*.

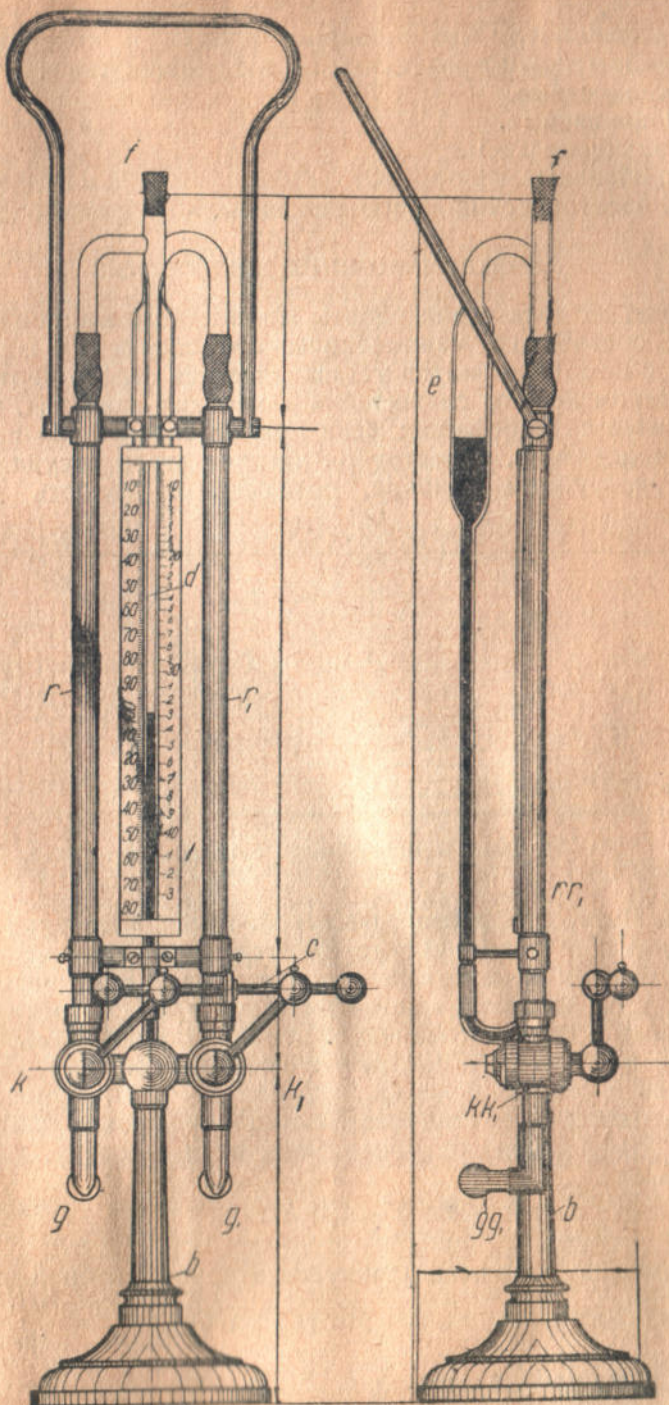


Рис. 34. Манометр Крелля.

Микроманометры по принципу работы и конструктивным особенностям можно разделить на следующие типы:

- А. Жидкостные.
- Б. Поплавковые.
- В. Кольцевые весы.
- Г. Мембранные.
- Д. С электрическим сопротивлением.

А. МИКРОМАНОМЕТРЫ ЖИДКОСТНЫЕ

На рис. 35 дана схема работы жидкостного микроманометра. Прибор состоит из манометрического сосуда a с жидкостью; сосуд a с помощью винтов устанавливается строго вертикально. Если микроманометр служит для измерения давления, то сосуд соединяется с атмосферой; если прибор служит для измерения разности давлений, то патрубок крышки этого сосуда соединяется с патрубком прибора, создающего разность давлений

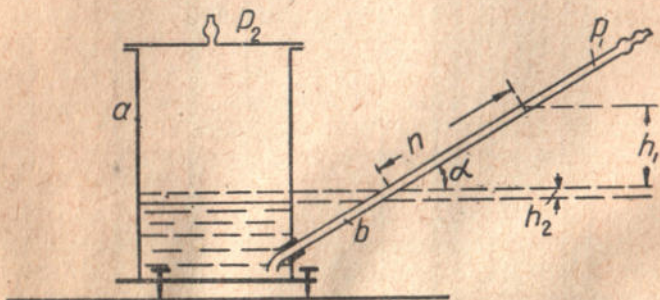


Рис. 35. Схема микроманометра с наклонной трубкой.

(трубкой Пито, диафрагмой, насадкой, трубкой Вентури и проч.). При манометрическом сосуде имеется наклонная манометрическая трубка b с изменяемым углом наклона. Если через α обозначить угол наклона манометрической трубки, то увеличение столба жидкости в последней обратно пропорционально $\sin \alpha$.

Пусть F — площадь поперечного сечения сосуда, f — площадь поперечного сечения наклонной трубки, α — угол наклона трубки к горизонтали, h_1 — величина повышения уровня жидкости в трубке, h_2 — понижение уровня жидкости в сосуде, тогда разность высот:

$$h = h_1 + h_2. \quad (1)$$

Пусть уровень жидкости сдвинулся в трубке вперед на n мм. Объем жидкости, вступившей тогда в трубку, $n \cdot f = \frac{h_1 \cdot f}{\sin \alpha}$ равен объему, ушедшему из сосуда $F \cdot h_2$; отсюда $nf = \frac{h_1}{\sin \alpha} \cdot f = Fh_2$.

Подставив получающиеся отсюда значения для h_1 и h_2 в уравнение (1), получим:

$$h = n \left(\sin \alpha + \frac{f}{F} \right); \quad (2)$$

h показывает изменение давления, выраженное в мм столба жидкости, применяемой для измерения, которое требуется для смещения уровня на n мм. Дробь $\frac{n}{h}$ соответствует увеличению показаний вследствие применения наклона:

$$\frac{n}{h} = \frac{1}{\sin \alpha + \frac{f}{F}}. \quad (3)$$

Если хотят достигнуть передаточного числа $\frac{n}{h}$ у прибора с отношением сечений $\frac{f}{F}$, то необходимо выбрать наклон:

$$\sin \alpha = \frac{h}{n} - \frac{f}{F}. \quad (4)$$

Для небольшого наклона можно $\sin \alpha$ заменить тангенсом α . Итак, на передаточное число оказывают одинаковое влияние как $\sin \alpha$, так и $\frac{f}{F}$, и прибор тем чувствительнее, чем меньше обе эти величины. Следовательно, чтобы микроанометр был чувствительным, трубка должна быть по возможности более узка.

Формула (3) применима также для простых U-образных трубок, $\sin \alpha$ которых равен 1. Для простой U-образной трубки

$$f = F, \quad \frac{n}{h} = \frac{1}{2}.$$

Обычно, работая с микроанометром, не вычисляют отношения по формуле (3), а находят его при калибровании манометра. Калибрование можно провести очень быстро, так что на практике совершенно отпадает необходимость определения $\sin \alpha$ и отношения $\frac{f}{F}$. Пусть при измерении столб жидкости подвинулся в трубке вверх на n делений шкалы; соответствующее значение h определится из выражения:

$$h = n \left(\sin \alpha + \frac{f}{F} \right).$$

Затем приливают к находящейся в приборе жидкости известный объем такой же жидкости и смотрят, на какое число n_0

делений передвинется вверх уровень жидкости. Получится:

$$V_0 = f \cdot n_0 + F \cdot h_0,$$

где h_0 — искомая высота подъема уровня жидкости в сосуде. Если измерить по вертикали, то уровень в сосуде и трубке подыдется на

$$h_0 = n_0 \cdot \sin \alpha;$$

отсюда

$$V_0 = f \cdot n_0 + F \cdot n_0 \cdot \sin \alpha.$$

$$\frac{V_0}{F} = n_0 \left(\frac{f}{F} + \sin \alpha \right). \quad (5)$$

Из уравнений (2) и (5) определяется:

$$h = n \cdot \frac{V_0}{F \cdot n_0}. \quad (6)$$

Пусть γ обозначает объемный вес применяемой жидкости в $\text{кг}/\text{м}^3$ и g_0 вес жидкости, заполняющей прибор при калибровании, тогда

$$h = \frac{n \cdot V_0 \cdot \gamma}{F \cdot n_0} = n \frac{g_0}{F \cdot n_0} \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ или мм вод. ст.} \quad (6a)$$

Микроманометры с неподвижной трубкой. Простейшим видом таких приборов является тягомер Крелля (рис. 36). Он

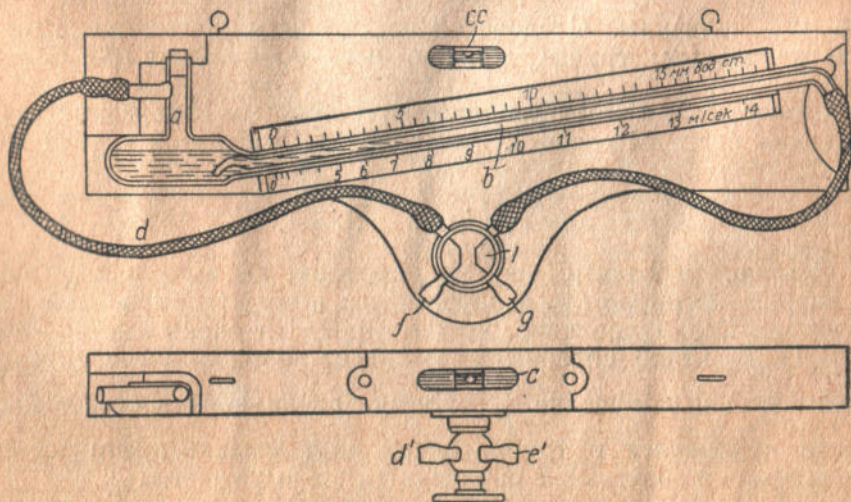


Рис. 36. Тягомер Крелля с наклонной трубкой.

снабжен двумя наклонными шкалами; по верхней — отсчитывается давление в мм вод. ст., по нижней — непосредственно скорость газа.

Применение нижней шкалы возможно при измерении газов известным и неизменяющимся удельным весом или в сочетании с одним и тем же прибором для измерения скорости газа (пневмометром, трубкой Прандтля и т. п.).

Прибор состоит из стеклянной измерительной трубки *b*, шкалы, ватерпаса *c* и четырехходового крана *i*, установленных на прочной доске.

Стеклянный измерительный сосуд *a* имеет отростки для наполнения жидкостью и присоединения к трубопроводу; конец измерительной трубки *b* при помощи отростка тоже присоединяется к трубопроводу. Сосуд *a* и измерительная трубка *b* отлиты вместе; внутри сосуда *a* конец трубки *b* загнут. Сосуд и трубка помещаются в углублениях дубовой доски; слева и справа устроены выемки для того, чтобы можно было свободно поместить отростки, служащие для присоединения резиновых шланг. Посредством этих шланг прибор соединяется с четырехходовым краном *i*, снабженным четырьмя втулками для шланг, из которых *f* и *g* служат для присоединения к напорным точкам. Включение прибора производится одновременно по двум втулкам, так как абсолютное давление в трубопроводе значительно выше того давления, которое может быть показано манометром. Пробка крана *i* снабжена спереди круглой пластинкой, на которой четко нанесены широкими бороздами четыре углубления для пальцев.

При помощи тягомера Крелля можно отсчитывать разности давлений до 1 мм, следовательно, при помощи его можно определять скорости газа до 5 м/сек.

Устанавливая такие приборы, необходимо иметь в виду, какой величины давления придется измерять, ибо наклонная трубка неподвижна и имеет определенный максимум показаний давлений.

Микроманометр Крелля. Для более точных измерений требуются более точные приборы. Очень распространен микроманометр Крелля с неподвижной трубкой, представленной на рис. 37. Прибор состоит из подставки *b*, дозирующего сосуда *a*, стеклянной измерительной трубки *e*, шкалы *q*, стояка *v* с двумя кранами *п*, двух ватерпасов *k* и *l*, трех микрометрических винтов *p* и двух соединяющих шланг.

Подставка и сосуд отлиты из одного куска, причем сосуд герметически закрывается шлифованной и привинчиваемой крышкой. Крышка в середине имеет конически высверленное отверстие для присоединения шлифованной втулки *i* для шланг. В сосуд наливается жидкость, служащая гидравлическим затвором. Жидкость наливается при помощи пипетки через упомянутое выше высверленное отверстие в крышке, для чего сначала вынимается втулка.

С сосудом соединена толстостенная стеклянная измерительная трубка, имеющая внутренний диаметр 3 мм и длину приблизительно 240 мм. С одной стороны эта трубка опирается на боковую стенку сосуда, к которому она прочно прикреплена, а

с другой стороны — на опору трубки *f*, к которой она прочно привинчена. Внутри сосуда измерительная трубка заканчивается изогнутым книзу отростком из стекла, прочно прикрепленным и погруженным в жидкость, служащую гидравлическим затвором. Если бы стеклянная измерительная трубка была идеально прямой по всей своей проградуированной длине в 200 мм и имела бы внутри точно одинаковый диаметр, то равным давлениям всегда бы соответствовали равные отрезки на стеклянной

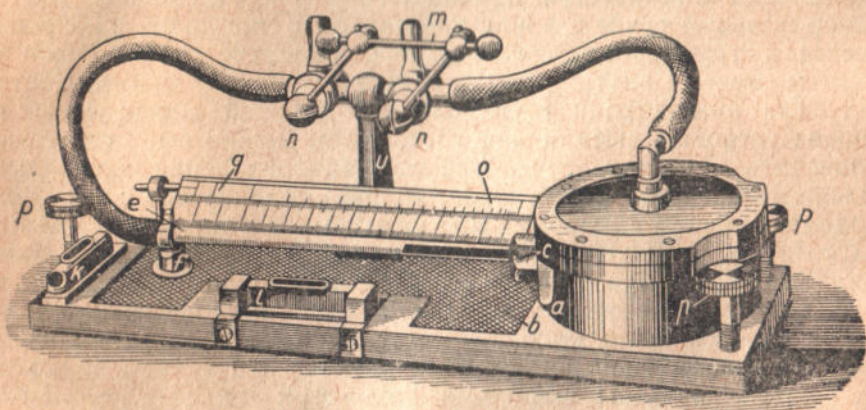


Рис. 37. Микроманометр Крелля.

измерительной трубке. Однако технически весьма трудно изготовить такие точные стеклянные трубки, поэтому обычно применяется так называемая компенсирующая шкала, деления которой не одинаковы; величина этих делений устанавливается при калибровании индивидуально каждого прибора, и, таким образом, учитывает все отклонения прибора от строгих математических форм.

При установке у измерительной трубки такой шкалы с равноценными, но не равновеликими делениями было бы очень затруднительным пользоваться передвижной шкалой для непосредственного измерения скоростей газа. Для того, чтобы это препятствие к пользованию подвижной шкалой устранить, компенсирующую шкалу выполняют с двумя рядами делений: верхний ряд состоит из нормальных равновеликих делений, нижний ряд — из компенсирующих делений; начальные и конечные деления обеих шкал лежат точно друг против друга. Каждое десятое деление компенсирующей шкалы соединяется линией с соответствующим делением миллиметровой шкалы, причем эти соединяющие линии получаются более или менее наклонными в зависимости от степени неравномерности делений компенсирующей шкалы. На соединяющих линиях нанесены цифры, соответствующие обеим шкалам. По верхней, равномерно разделенной шкале, скользит передвижная шкала, на которой нане-

сена шкала скоростей (при измерениях скоростей воздуха или газа). Шкала скоростей сделана передвижной для того, чтобы не зависеть от положения нулевой точки неподвижной двойной шкалы. Если бы передвижная шкала отсутствовала, то приходилось бы каждый раз, даже при самом незначительном отклонении мениска жидкости вследствие испарения, снова корректировать его, пополняя жидкость. Устройство передвижной шкалы освобождает от этой необходимости.

Необходимо всегда следить за тем, чтобы прибор стоял строго горизонтально; это достигается при помощи установочных винтов.

Стояк *u* снабжен двумя трехходовыми кранами, которые при помощи соединяющего стержня *m* открываются и закрываются одновременно. Это необходимо для того, чтобы предотвратить выбрасывание жидкости из измерительной трубки в том случае, когда в трубопроводе статическое давление выше, чем то, на которое рассчитан микроманометр.

Микроманометры с передвижной измерительной трубкой. Преимущество микроманометров такой конструкции состоит в том, что они позволяют на практике получить любое передаточное число и любую чувствительность прибора соответственным изменением угла наклона трубки. Манометры с передвижной трубкой позволяют измерять давления до 0,01 мм водяного столба.

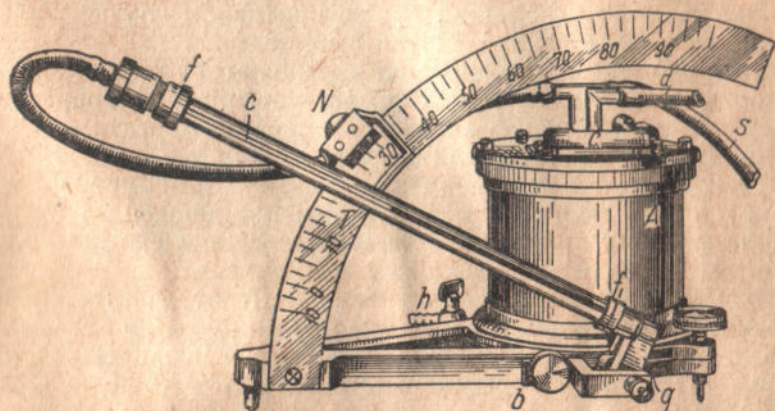


Рис. 38. Микроманометр Рекнагеля.

Микроманометр Рекнагеля. Впервые этот прибор был описан и применен Рекнагелем в 1877 году; в 1893 году были опубликованы данные о дальнейшем усовершенствовании этого прибора. На рис. 38 изображена весьма распространенная конструкция микроманометра Рекнагеля в исполнении Р. Фюса.

Прибор состоит из сосуда *A*, снабженного специальной защитой против излучения, что очень важно для измерения в теплых

местах, например, котельных, генераторных и т. п. В подставке этого сосуда при помощи металлического конуса g подвижно закреплева стеклянная измерительная трубка C . Во избежание ослабления конуса он осторожно прижимается к своему углублению посредством пружинящего штифта. Чтобы вынуть трубку C , надо удалить сначала скрепляющий уголок вместе с пружинящим штифтом, затем поставить трубку вертикально, причем клемма N соскальзывает с транспортира T .

Транспортир T снабжен по окружности делениями через каждые $0,5^\circ$; зажатый клеммой конус позволяет отсчитывать углы до $5'$. В целях лучшей защиты трубка C с обеих сторон заключена в металлические оправы f и f_1 , в которых она по образцу водомерных стекол уплотняется маленькими резиновыми кольцами.

На крышке прибора кроме двух ватерпасов C помещены также два патрубков, из которых один d соединен с сосудом A , а другой S при помощи резинового шланга соединен с концом измерительной трубки C . Патрубки имеют знаки $+$ и $-$; при включении прибора необходимо следить за правильностью приключения этих патрубков к патрубкам прибора скоростей.

При пользовании прибором надо сначала установить его горизонтально при помощи обоих ватерпасов и установочных винтов.

Если подлежащая измерению разность давлений невелика, но каждое из этих давлений большое, то включать оба патрубка прибора надо одновременно, ибо в противном случае жидкость из измерительной трубки может выбросить.

При дальнейшем усовершенствовании этого микроманометра на обоих вводных патрубках были установлены сопряженные между собой краники; поворотом одного рычага можно при этом включить или выключить весь прибор.

В некоторых конструкциях этих микроманометров шкала делится на дуговые градусы; умножая показания на синус угла наклона трубки, получают величину подлежащей определению разности давлений.

Микроманометр с постоянным наемом. Приведенные выше конструкции микроманометров с наклонной трубкой обладают тем недостатком, что при переходе от одного наклона к другому происходит значительное смещение нулевой точки относительно делений измерительной трубки, что нарушает точность измерения. При каждом отклонении приходится снова определять нулевую точку. При маленьком наклоне требуется отсасывать жидкость из микроманометра, а при переходе к вертикальному положению измерительной трубки необходимо пополнить жидкостью, чтобы вернуть мениск в пределы измерения. Эти манипуляции занимают много времени, неудобны и часто служат причиной ошибок. Все эти недостатки устранены у микроманометра Берловитц-Розенмюллера (рис. 39). В приборе этой конструкции нулевая точка остается без изменения для всех на-

лонов измерительной трубки; отпадают все неудобства, связанные с установкой новой нулевой точки при изменении наклона и вызывающие пополнение или уменьшение жидкости в микроманометре. Это преимущество достигнуто весьма простым усовершенствованием: ось вращения наклонной трубки проходит через нулевой уровень микроманометра (с учетом при этом поднятия мениска в трубке, вследствие явлений капиллярности).

Точная проверка этого прибора показала, что в пределах передаточного числа от 1:100 до 1:1 положение нулевой точки действительно остается неизменным.

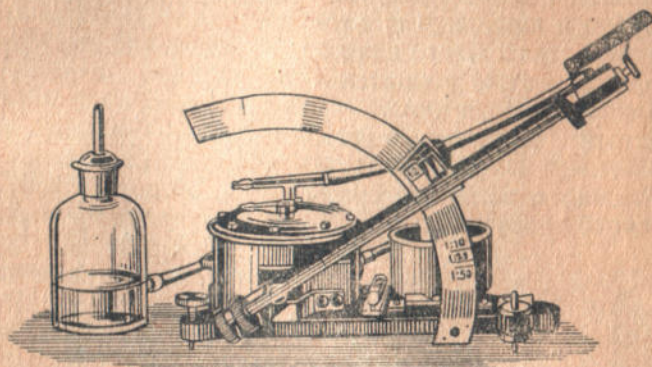


Рис. 39. Микроманометр Берловитц-Розенмюллера.

Для наклонов, меньших 1:50, к прибору добавляется специальная склянка, позволяющая уточнять определения передаточного числа и калибровать измерительную трубку. Для таких наклонов необходимо градуировать всю шкалу от начала до конца.

Если бы измерительная трубка была абсолютно прямой и точно выверенная, можно было бы ограничиться определением передаточного числа только для одной (любой) точки. Однако для небольших наклонов, примерно при 1:100 (35 минут), неточности капилляра по всей длине трубки заметно отражаются на показаниях, и градуировать надо поэтому всю трубку от начала до конца. С этой целью вливают при помощи пипетки отмеренные количества жидкости в широкое колено и определяют соответствующие смещения мениска. Частное от деления прибавленного объема на поперечное сечение широкого колена дает при учете ширины капилляра величину изменения давления, соответствующую данному смещению мениска.

Для передаточного числа ниже 1:50 вместо микроманометров с наклонной трубкой, целесообразнее все же употреблять микроманометры с постоянным наклоном.

Специальное приспособление предложено для выравнивания быстро колеблющихся давлений.

Если измеряемое микроманометром давление пульсирует, то эта пульсация передается в измерительную трубку манометра, мениск жидкости начинает быстро перемещаться, препятствуя точному отсчету показаний прибора.

Изображенный на рис. 40 кран, устанавливаемый на вводной трубке манометра, сглаживает эти колебания. Внутри крана имеется пространство *A* достаточной емкости; быстрые колебания измеряемого давления гасятся в этом пространстве и не передаются в трубку.

Необходимым условием хорошей работы таких микроманометров является полное удаление пузырьков воздуха из измерительной трубки и конуса. Для этого требуется тщательно наполнять прибор жидкостью и тщательно устанавливать его на нуль.

Поворотный микроманометр. Прибор состоит из весьма точного U-образного водяного уровня с приспособлением для мик-

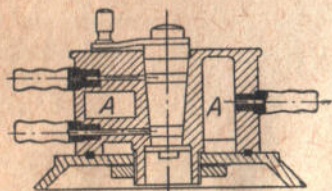


Рис. 40. Кран к микроманометру рис. 39.

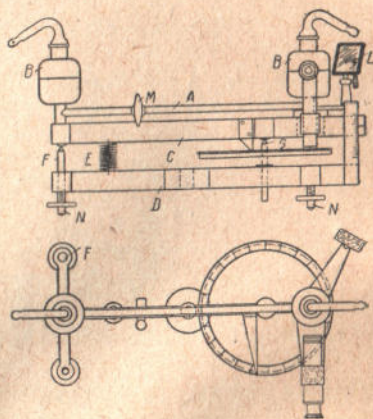


Рис. 41. Поворотный микроманометр.

роскопического отсчета уровня воды по одному из вертикальных лимбов. Форма U-образной трубки показана на рис. 41; она состоит из горизонтальной прямой трубки *A*, соединяющей два стеклянных сосуда *B* и *B*. Оси этих сосудов должны быть параллельны и приблизительно вертикальны при установке прибора в полевом положении. Каждый сосуд снабжен пришлифованной крышкой, соединяемой резиновой трубкой с соответствующим отводом трубки Пито. Доньшки сосудов вытянуты в короткие патрубки, запаянные концы которых заделаны в пробки; последние в свою очередь загнаны в отверстия в верхней подвижной стальной рамке *C*. Рамка эта покоится на трех точках на нижней неподвижной рамке *D* и удерживается на ней пружиной *E*. Две точки *FF* этой трехточечной подвески расположены под левым сосудом *B*; соединяющая эти точки прямая перпендикулярна оси трубки *A*. Обе эти точки неподвижны, и верхняя рамка с покоящимся на ней прибором поворачивается вокруг прямой, соединяющей эти две точки, помощью вертикального микрометрического винта *G*, верхняя закаленная

часть которого является третьей точкой подвески. Один из левых установочных винтов упирается сверху в коническую чашечку, другой — в горизонтальный и перпендикулярный трубке А желобок; микрометрический винт упирается сверху в приделанную к подвижной рамке плоскую пластинку. Подобной конструкцией достигается неподвижность верхней рамки при одновременной полной свободе ее установки. Все опоры и их пяты изготовлены из закаленной стали. Положение подвижной рамки относительно неподвижной отмечается двумя указателями: первый из них указывает на диске микрометра доли поворота, а другой — на вертикальной шкале число полных оборотов винта. На верхней рамке установлен микроскоп с крестом нитей в окуляре для наблюдения уровня жидкости в правом сосуде. Для облегчения работы рекомендуется установка небольшого подвижного зеркальца L , с помощью которого можно направить свет от какого-либо источника через сосуд в микроскоп. В этом случае часть поля зрения над уровнем будет светлее, под уровнем — темнее, что дает возможность точного определения линии раздела. Краник M предохраняет от расплескивания воды при переноске прибора.

Часто пользуются установкой прибора на треножнике. Для этой цели рекомендуется снабдить нижнюю рамку отверстием для возможности навинчивания на треногу. Тренога может быть обычного типа, употребляемого для установки геодезических приборов. Рекомендуется на случай установки прибора на столе приспособить к нижней рамке три установочных винта NN для приведения прибора в нолевое положение.

При пользовании манометром, во избежание возможного перемещения прибора при присоединении к нему трубки Пито, следует сначала произвести это соединение, а затем уже устанавливать его на нулевое положение. Для обеспечения полной герметичности следует смазать шлифованные части крышек вазелином. Стеклообразная трубка A должна принять приблизительно горизонтальное положение, и место ноля инструмента определяется по показаниям неподвижной шкалы и микрометра в момент, когда изображение уровня воды находится на пересечении с крестом нитей микроскопа. После этого вводят трубку Пито в исследуемый поток воздуха и подвижную рамку поворачивают микрометрическим винтом до тех пор, пока изображение уровня воды не будет снова на пересечении креста нитей микроскопа.

Введем следующие обозначения:

- d — разность между нолевым и конечным отсчетами, выраженная числом оборотов;
- l_1 — расстояние между осями сосудов BB в сантиметрах;
- l_2 — горизонтальное расстояние между осью микрометрического винта и прямой, соединяющей неподвижные точки подвеса FF , в сантиметрах;
- t — шаг микрометрического винта в сантиметрах,
- p — разность давлений в сантиметрах водяного столба.

Получаем для не очень больших углов поворота подвижной рамки формулу:

$$p = t \cdot d \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (7)$$

Практически удобные значения величин l_1 , l_2 и t следующие: $l_1 = 330$ мм, $l_2 = 255$ мм и $t = 1,25$ мм.

Полный ход микрометра может не превышать 20 оборотов, что соответствует подъему уровня воды примерно на 31,0 мм. Диаметр микрометрического винта должен быть около 20 мм, так как в противном случае быстрое изнашивание винта вызывает расшатывание инструмента.

При необходимости увеличения диапазона инструмента не следует прибегать к удлинению микрометрического винта; лучше увеличить расстояние между сосудами B и B , так как при больших углах поворота уравнение (7) не даст достаточно точных результатов. U-образная трубка, длиной 660 мм, взамен таковой в 330 мм, увеличивает диапазон прибора в два раза и может быть свободно установлена на предназначенную для 330-миллиметровой трубки рамку. Однако практика показала, что для скоростного напора, превышающего область применения 330-миллиметрового микроманометра, простая, наполненная водой U-образная трубка дает в большинстве случаев вполне достаточную точность.

Следует тут же отметить, что подобный поворотный микроманометр является абсолютно стандартным прибором, не требующим никакой тарировки относительно других манометров. Все значения, определяющие величину отсчета, при данной разности давления, как-то: шаг микрометрического винта и расстояние от его оси до прямой, соединяющей точки FF , могут быть выбраны так, что обеспечат точность с ошибкой менее 0,1%. Расстояние между осями сосудов BB не может быть выдержано со столь большой точностью, но может быть без труда измерено с точностью до 0,25 мм. Прибор может дать при достаточно точном исполнении точность в 0,1% в пределах всей шкалы. Если такая высокая степень точности требуется при больших давлениях, то в этом случае уравнение (7) требует некоторой поправки. В уравнении (7) произведение td представляет в сантиметрах вертикальное расстояние, на которое поднимается вращением микровинта одна из точек подвижной рамки относительно какой-либо неподвижной точки.

Уравнение (7) предполагает постоянство длины l_2 , т. е. расстояния между подвижной точкой опоры и неподвижной осью вращения верхней рамки. В действительности, конечно, $l_2 \neq \text{const}$ и сохраняет принятое в уравнении (7) значение лишь при горизонтальном положении прибора; при повороте величина этого расстояния больше l_2 . При подъеме рамки верхнее острие микрометрического винта скользит по приделанной снизу к подвижной рамке закаленной стальной пластинке, так что l_2 изменяется.

Простой расчет показывает, что соответствующий отсчету d действительный подъем рамки равен $\sqrt{l_2^2 + t^2 \cdot d^2}$, так что уравнение (7) должно быть заменено следующим:

$$p = td \frac{l_1}{\sqrt{l_2^2 + t^2 d^2}}. \quad (8)$$

При $td = 35,0$ мм ошибка при применении приближенного уравнения (7) взамен точного уравнения (8) составляет всего 1⁰/₁₀ и уменьшается при уменьшении td по сравнению с l_2 .

Необходимость этой поправки на изменение l_2 может быть совершенно исключена, если микрометрический винт будет оканчиваться не острием, а горизонтальной закаленной стальной пластинкой, упирающейся в стальной шарик, приделанный снизу к подвижной рамке.

В этом случае $l_2 = \text{const}$ и будет равно расстоянию от оси вращения рамки FF (рис. 41) до центра стального шарика. Последний будет перемещаться относительно неподвижного (в горизонтальной плоскости) конца микрометрического винта.

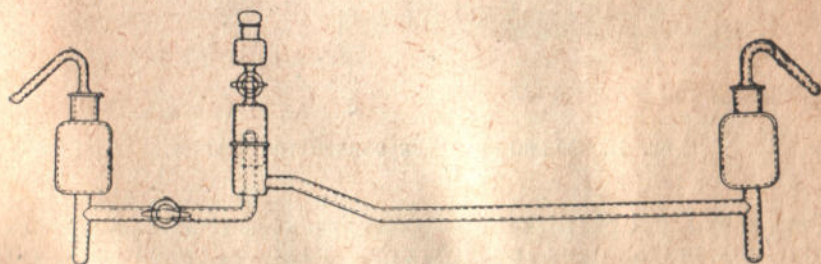


Рис. 42. Стекланные части микроманометра Чаттока.

При микроскопе с 20—30 кратным увеличением подобный микроманометр допускает измерение давлений, меньших 0,025 мм водяного столба. Таким образом, при применении обычной трубки Пито можно измерить скорость потока около 3,0 м/сек с точностью до 2⁰/₁₀. Некоторое изменение стеклянных частей прибора может увеличить чувствительность прибора в значительной степени, что, однако, связано с замедлением и усложнением самой работы с этим манометром. Изменение это состоит во включении в горизонтальную часть U-образной трубки особого стеклянного сосуда. При этом одна часть начальной трубки присоединена к нижней части нового сосуда, а другая отогнута вертикально вверх и доходит до середины сосуда. Новая конструкция стеклянных частей показана на рис. 42, а на рис. 43 показан общий вид всего прибора. Нижняя металлическая рама остается неизменной.

Конструкция эта была впервые предложена Chattock'ом. Вертикальная труба в среднем сосуде имеет у своего конца квадратное сечение и гладко срезана. В боковые сосуды и нижнюю часть среднего сосуда наливается дистиллированная вода. В верхнюю же часть среднего сосуда наливается через верхний сосудик и кран некоторое количество очищенного медицинского парафинного масла. Парафинное масло, как известно, не смешивается с водой и образует с ней две отлично видимые поверхности раздела—одну в среднем сосуде, а другую в вертикальной трубке, расположенной в последнем.

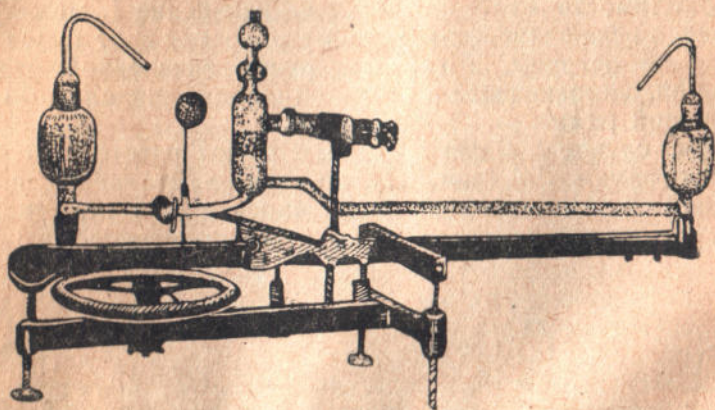


Рис. 43. Общий вид микроманометра Чаттока.

Регулируя соответственным образом количества жидкостей, можно получить одну поверхность раздела, расположенную у открытого среза вертикальной трубки, имеющую вид мениска. При разности давлений в боковых сосудах этот мениск изменяет свою величину, и передвижение его, наблюдаемое через микроскоп, может быть остановлено вращением микрометрического винта, вызывающего известный поворот рамки.

При расстоянии между осями сосудов в 330 мм чувствительность прибора достигает 0,0025 мм водяного столба. Это увеличение чувствительности достигается наблюдением уровня жидкости не в сравнительно широких концевых сосудах, а в узкой трубке.

Если пренебречь влиянием поверхностного натяжения, то передвижение пузырька будет при данной разности давлений во столько раз больше передвижения уровней в концевых сосудах, во сколько раз площадь поверхности воды в последних больше площади поверхности в средней вертикальной трубке. Отсюда следует, что при данном увеличении микроскопа чувствительность манометра Чаттока будет во столько же раз больше, чем у любого другого поворотного манометра. Однако нельзя

вовсе пренебречь поверхностным натяжением, которое значительно уменьшает чувствительность прибора. Но при всем этом данный прибор значительно чувствительнее простого поворотного прибора. Главным его практическим недостатком при измерении колеблющихся давлений является возможность разрыва поверхности раздела. В этом случае необходимо прекратить работу и снова установить прибор в нулевое положение.

Микроанометр большой чувствительности. К этой же категории микроанометров можно отнести микроанометр, предложенных проф. Д. В. Нагорским, пригодный для измерения очень небольших перепадов давления, выражаемых сотыми и тысячными долями мм вод. ст.

Этот микроанометр (рис. 44) состоит из двух основных частей: манометрического сосуда и измерительной трубки. Мано-

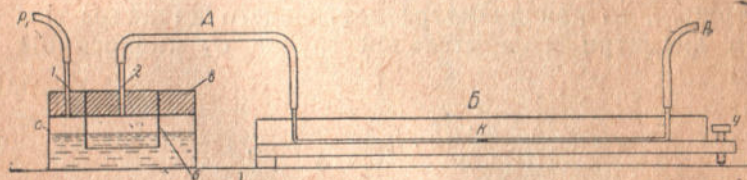


Рис. 44. Микроанометр большой чувствительности системы проф. Д. В. Нагорского.

А—манометрический сосуд, Б—измерительная трубка, К—капля спирта, У—установочный винт.

метрический сосуд А состоит из внешнего сосуда а и внутреннего цилиндра б. Полости сосуда а и цилиндра б сообщаются снизу между собою; сверху они изолированы от внешней атмосферы воздухонепроницаемым слоем в, через который проходят две трубки: одна— из полости сосуда а, вторая— из полости цилиндра б. При изготовлении прибора собственными средствами в обычных лабораторных условиях воздухонепроницаемое перекрытие (слой) сосуда выполняется следующим образом: сосуд накрывается вырезанными из жести пластинками (одна для внешнего сосуда, вторая— для внутреннего цилиндра), в которых прорезаны отверстия для трубок; прозоры между трубками и пластинками уплотняются шнуром, пропитанным полужидким раствором цемента; по затвердении цементного раствора перекрытие сверху заливается расплавленной менделеевской замазкой.

В манометрический сосуд наливается этиловый спирт (уд. в. 0,8) так, чтобы между ним и перекрытием в оставалось небольшое воздушное пространство.

Измерительная трубка Б представляет собой толстостенную горизонтальную стеклянную трубку с просветом в 2—2,5 мм, согнутыми вертикально концами. Трубка укреплена на деревянном штативе с установочным винтом. В трубку помещается

капля спирта; при горизонтальном положении трубки капля в ней остается неподвижной, при негоризонтальном положении — передвигается в сторону уклона.

На штативе имеется шкала с делениями в *см* и *мм*, по которой отмечается передвижение капли во время наблюдений.

Для измерения перепада давления $\Delta p = p_1 - p_2$ манометрический сосуд через трубочку 1 и надетую на нее каучуковую трубку соединяется с давлением p_1 , а через трубочку 2 и каучуковую трубку — с измерительной трубкой, другой конец которой соединяется при помощи каучуковой трубки с областью давления p_2 . Благодаря перепаду давления $\Delta p = p_1 - p_2$ уровень спирта во внутреннем цилиндре поднимается на некоторую высоту h ; вытесняемый воздух передвинет каплю спирта в измерительной трубке на длину l . Если бы при движении капли спирта по трубке некоторое количество спирта не оставалось на стенках этой трубки, то при диаметре внутреннего цилиндра d и внутреннем диаметре измерительной трубки d_1 имелось бы отношение:

$$\frac{\bar{u} \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{\bar{u} \cdot d_1^2}{4} \cdot l,$$

откуда $h = l \cdot \left(\frac{d_1}{d}\right)^2$.

Прилипание спирта к стенкам, суживающее просвет, нарушает это отношение и не позволяет установить расчетным путем значение деления шкалы («цену деления») на штативе; градуировку шкалы приходится делать экспериментально, с помощью обычных менее чувствительных микроманометров.

При градуировке одного из пзготовленных микроманометров такой системы с внутренним диаметром внешнего сосуда 73,5 *мм*, внешним диаметром внутреннего цилиндра 24,3 *мм*, внутренним диаметром внутреннего цилиндра 20,7 *мм*, при внутреннем диаметре измерительной трубки 2,25 *мм* получились такие сравнительные цифры:

По тягомеру ЦАГИ	3,5	3,37	3,2	3,0	Среднее	3,27 <i>мм</i>
Отклонение капли спирта в измерительной трубке прибора	338	328	318	298	.	321 <i>мм</i>

Каждый *мм* шкалы измерительной трубки соответствует, таким образом: $3,27 : 321 = 0,0102$ *мм* вод. ст.

При всех наблюдениях манометрический сосуд должен быть защищен теплоизоляцией, например, слоем ваты; без этой предосторожности даже незначительные температурные влияния,

например, теплота тела наблюдателя, влияют на показание прибора, причем влияние это тем больше, чем чувствительнее прибор, т. е. чем больше диаметр внутреннего цилиндра в манометрическом сосуде.

Микроманометры с большими пределами отсчетов. Весьма удобным и выносным типом манометра является простая U-образная трубка, состоящая из двух вертикальных стеклянных трубок, соединенных снизу резиновой трубкой. Одна из них остается неподвижной, другая может опускаться и подниматься на соответствующую разности давления величину.

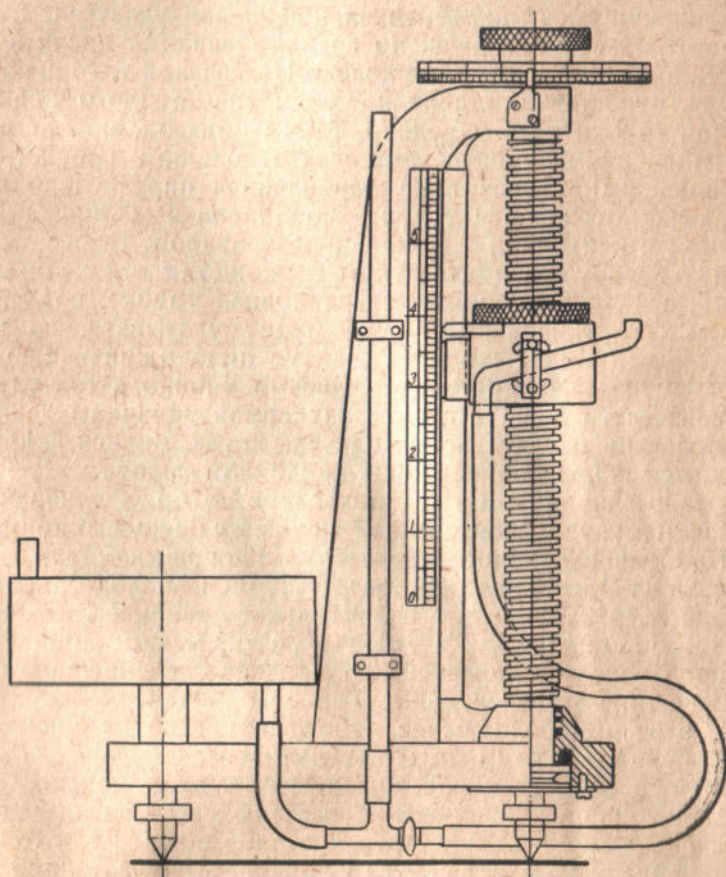


Рис. 45. Микроманометр с большими пределами отсчетов.

Передвижение второй трубки производится микрометрическим винтом, к которому она присоединена. На рис. 45 изображен построенный в университете в Торонто (США) основанный на этом принципе манометр, в конструкцию которого был затем

введен ряд полезных новых дополнений. Рис. 45 дает ясное представление о конструкции прибора и почти не требует пояснений. Вращение гайки, поддерживающей подвижную трубку, предотвращается кулисой, которая перемещается по вертикальной прорези для головки микрометрического винта. Резервуар в подвижной части трубки заменен здесь наклонной трубкой с выравненной полевой (тарировочной) чертой. Положение, при котором мениск жидкости касается этой черты, считается полевым положением прибора. При производстве измерений подвижная наклонная трубка поднимается до вторичного совпадения мениска с этой чертой. Число полных оборотов винта указывается движущимся по вертикальной шкале указателем, доли же оборотов отсчитываются по градуированному диску в верхней части винта. Неподвижное колено U-образной трубки состоит из сосуда, отношение поперечного сечения которого к сечению наклонной трубки весьма велико. Таким образом, можно пренебречь изменениями уровня жидкости в большом сосуде. Удобным нововведением является установленная параллельно шкале вертикальная стеклянная трубка, соединенная T-образным ответвлением с наклонной трубкой и резервуаром. Если эту вертикальную трубку соединить открытым концом с той же областью давлений, с которой сообщается наклонная трубка, то уровень жидкости в вертикальной трубке будет указывать, на какую величину надо будет поднять гайку, поддерживающую наклонную трубку. Устройство это весьма удобно в тех случаях, когда неизвестен даже порядок изучаемой величины давления. Окончательный отсчет производится, когда мениск жидкости совмещается с полевой чертой в наклонной трубке.

Как и во всех манометрах, показания которых основаны на наблюдении мениска, в наклонной трубке лучше всего применять спирт. Наибольшая точность была получена при диаметре наклонной трубки в 5,0 мм и угле наклона последней около 3°. Меньший наклон не дает какого-либо значительного увеличения точности и делает прибор чересчур медленно реагирующим на изменение давления. Последнее может быть устранено уменьшением диаметра трубки, но это ухудшает качество мениска.

Хотя этот прибор сложнее простого манометра с наклонной трубкой и работа с ним более медлительна, он все же обладает тем преимуществом, что не нуждается в калибровке. Отсчет нуждается только в поправке на удельный вес спирта для того, чтобы перейти от столба спирта к столбу воды. Если точность микрометрического винта считается обеспеченной, то прибор может применяться в качестве стандартного инструмента. Указывают, что средняя точность отсчета столба жидкости равна 0,005 мм с максимальной возможной ошибкой в 0,0125 мм. Следующим крупным преимуществом этого манометра является диапазон шкалы, больший чем у других чувствительных манометров благодаря тому, что длина винта может быть увеличена до 250 или 300 мм.

ЗАМЕЧЕННАЯ ОПЕЧАТКА

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
87	8 сн.	стежки	стержня

Манометр Казелла (Casella). Этот манометр отличается от описанных выше, в частности от манометра Чаттока, очень остроумным методом и конструкцией для определения момента равновесия.

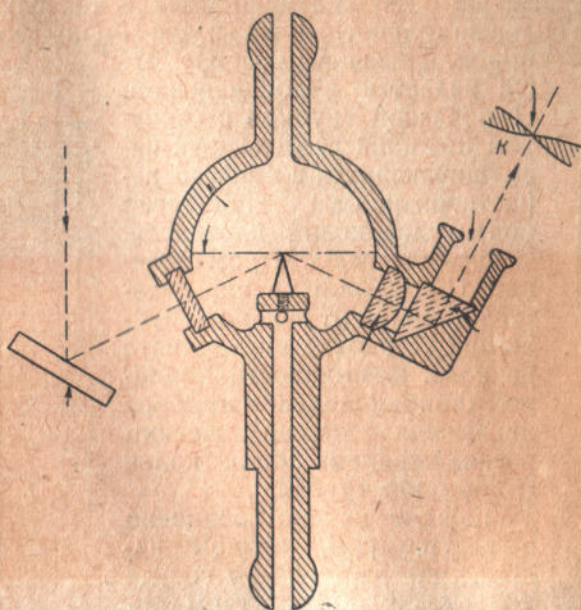


Рис. 46. Оптическая система манометра Казелла.

Манометр состоит из двух сосудов, соединенных между собой резиновой трубкой; один из сосудов укрепляется неподвижно на вертикальном стержне, причем высота его укрепления устанавливается с учетом величины измеряемого давления; второй сосуд передвигается по центральному вертикальному стержню с помощью микрометрического винта. Манометр заполнен водой.

Конструкция измерительного устройства этого манометра указана на рис. 46.

Положение подвижного сосуда изменяется при измерении до тех пор, пока уровень воды не коснется острия, укрепленного в центре. Луч света, падающий от бокового зеркала (зеркало показано на рисунке слева), дает возможность наблюдать касание острия стежки с его отражением от поверхности воды через специальную оптическую систему.

Уровень воды в сосуде путем перемещения регулируется до тех пор, пока острие стержня не коснется своего отражения. Соответствующее этому моменту положение сосуда по высоте вертикального стержня отсчитывается сначала при соединении обоих сосудов прибора с атмосферой, а затем с областями, разность давлений в которых требуется измерить. Разность

отсчетов указывает разность давлений в мм вод. ст. Точность отсчетов может достигать 0,01 мм вод. ст.

Манометр этой конструкции пригоден для измерения напоров до 90,0 см вод. ст.

Микроманометры с двумя жидкостями. В тех случаях, когда не требуется большая точность, можно с успехом пользоваться прибором, показанным на рис. 47.

Он является видоизмененной U-образной трубкой с отсчетом по линии раздела двух не смешивающихся и взаимно нерастворяющихся жидкостей почти одинаковой плотности. Серьезным недостатком обычной U-образной трубки являются ошибки от наклона трубки при установке инструмента на ноль. Возможность подобной ошибки в данном приборе исключена концентрическим расположением обоих колен U-образной трубки.

Каждое колено соединено с резервуаром, причем наполнение внутреннего сосуда происходит посредством короткой трубки, проходящей через крышку внешнего сосуда. Более легкая жидкость находится во внутренней трубке, а поверхность раздела располагается ближе к верхнему концу; отсчет давления производится по опусканию мениска вниз. Внутренний резервуар должен быть соединен с источниками большого давления, вызывающего опускание поверхности раздела жидкостей.

Связь между разностью давлений в миллиметрах водяного столба и величиной передвижения мениска может быть легко установлена.

Рис. 47. Двухжидкостный дифференциальный манометр с концентрическими трубками.

Пусть (рис. 48) A_1 и A_2 — поперечные сечения внутреннего и наружного резервуаров и a — сечение внутренней центральной трубки. Пусть при нулевом положении прибора поверхность раздела между легкой и тяжелой жидкостью в центральной трубке будет в точке P . Обозначим расстояния от P до уровня жидкостей в обоих резервуарах через H_1 и H_2 , а через γ_1 и γ_2 — удельные веса той и другой жидкости.

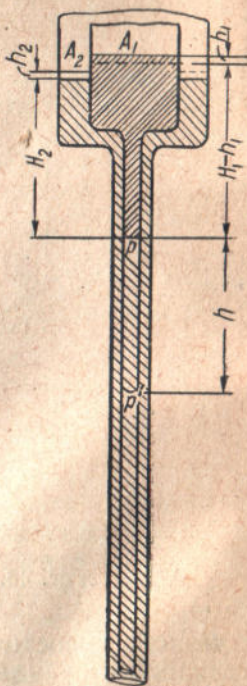
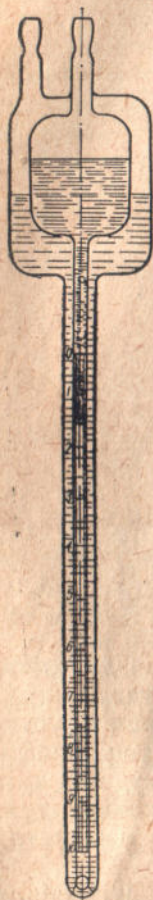


Рис. 48. Детали двухжидкостного манометра.

Условие равновесия жидкостей во внутренней и внешней трубке относительно точки P дает сразу:

$$H_1 \cdot \gamma_1 = H_2 \cdot \gamma_2. \quad (9)$$

Допустим теперь, что на жидкость во внутренней трубке действует давление, равное p мм водяного столба. Мениск опустится при этом до положения P' на некоторое расстояние h от точки P ; одновременно уровень жидкости во внутреннем сосуде опустится, а во внешнем поднимется на соответствующие величины h_1 и h_2 .

Условие равновесия жидкости в точке P' дается уравнением

$$p + (H_1 - h_1 + h) \cdot \gamma_1 = (H_2 + h_2 + h) \cdot \gamma_2. \quad (10)$$

Объем жидкости, переместившейся в каждом резервуаре, должен быть равен объему жидкости, переместившемуся во внутренней трубке, т. е.

$$a \cdot h = A_1 \cdot h_1 = A_2 \cdot h_2.$$

Получаем отсюда:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{a}{A_1} \cdot h \\ h_2 &= \frac{a}{A_2} \cdot h \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Подставляя уравнения (9) и (11) в уравнение (10), получаем:

$$p + h \cdot \gamma_1 \left(1 - \frac{a}{A_1}\right) = h \cdot \gamma_2 \left(1 + \frac{a}{A_2}\right),$$

откуда

$$p = h \left[(\gamma_2 - \gamma_1) + \frac{a(\gamma_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot A_2)}{A_1 \cdot A_2} \right], \quad (12)$$

что дает сразу связь между приложенной к манометру разностью давления p в миллиметрах водяного столба и соответствующим ей передвижением мениска h .

Величина передвижения мениска при данном давлении будет, очевидно, обратно пропорциональна расположенному в скобках выражению в правой части уравнения (12). Отсюда следует, что при прочих равных условиях величина эта будет обратно пропорциональна разности удельных весов жидкостей. Если разница между γ_1 и γ_2 мала и равна или меньше, чем 5%, то прибор требует длинных трубок для возможности измерений при достаточно широких пределах давлений, а движение мениска становится чересчур медленным. Кроме того, чрезмерно малая разница удельных весов жидкостей ведет к неясной, плохо видимой и разрывающейся поверхности раздела. При отношении p и h , как один к десяти или двенадцати прибор дает достаточно удовлетворительные показания.

В значительной степени на чувствительности прибора сказываются размеры трубок. При слишком больших диаметрах трубок мениск не имеет определенной формы ввиду малого проявления капиллярных сил, но при малых диаметрах капиллярные силы могут быть настолько велики, что могут вызвать разрыв столба жидкости при резких колебаниях давления.

Выбор подходящих жидкостей играет значительную роль. Как уже указано, главнейшими условиями являются несмешиваемость и взаимная нерастворимость жидкостей. Желательно получить ясно видимую поверхность раздела и малое прилипание жидкостей к стеклу при движении мениска. Так как показания прибора зависят от плотностей обеих жидкостей, то последние следует по возможности выбирать с малыми и приблизительно равными температурными коэффициентами расширения для того, чтобы более или менее исключить влияние температуры на отсчет. И, наконец, не следует употреблять летучих жидкостей, так как применение их поведет к постоянному изменению положения ноля.

В подобных манометрах было испытано множество различных жидкостей, но ни одна из них не оказалась вполне удовлетворительной. Э. Оуэр добился хороших результатов, применяя бензиловый спирт и водный раствор хлористого кальция с подкраской последнего небольшим количеством черной анилиновой краски. Этим достигалась ясно видимая поверхность раздела. Целый ряд подобных приборов работает с достаточной точностью на этих жидкостях. Преимуществом применения раствора хлористого кальция является возможность легкого изменения его удельного веса изменением его крепости. Таким образом, применяя его с жидкостью с вполне определенным удельным весом (в данном случае бензиловый спирт), можно добиться различных величин передвижения мениска.

В описанном манометре удельный вес спирта был 1,048, а удельный вес раствора хлористого кальция был подобран так, что получалось увеличение движения мениска в 10 раз. При изменении температуры в пределах 12°C изменение показаний прибора колебалось в пределах 3%. Температурные ошибки могут быть устранены погружением прибора в водяную ванну, в которой поддерживается постоянная температура (обычно $18,3^{\circ}\text{C}$). В противном случае можно поступить, пожалуй, проще и определить необходимые при разных температурах поправки. Принимая в порядке первого приближения линейный закон изменения температурного коэффициента расширения, можно считать таким же линейным законом закон изменения отсчетов при изменении температуры.

При этих условиях можно получить температурную поправку тарированием прибора при двух крайних температурах, встречаемых при работе.

Перед наполнением манометра жидкостями их следует вместе сильно встряхивать в большой бутылки и дать потом разделиться.

Жидкости затем необходимо профильтровать и потом в отдельности каждую влить в соответствующие сосуды манометра. Этим достигается насыщение одной жидкости другою, что предотвращает последующие изменения их плотности (а значит, и ноля прибора), могущие произойти от диффузии воды из одной жидкости в другую через поверхность их раздела. Кроме этой предосторожности следует обратить еще особое внимание, — что здесь настоятельнейшим образом рекомендуется — на абсолютную химическую чистоту всех стеклянных частей прибора. Малейший след жира во внутренней части центральной трубки затрудняет определение положения мениска и не дает возможности получить ясный отсчет. Улучшение работы манометра и вида мениска после чистки грязного прибора поразительны. Для чистки прибора рекомендуется крепкая азотная кислота и спирт или крепкая серная кислота и двуххромовокислый калий. Очистка манометров от этих реактивов должна производиться промывкой дистиллированной водой и чистым спиртом; окончательная просушка может быть ускорена продувкой теплого воздуха.

Можно рекомендовать следующие внутренние размеры отдельных частей подобных манометров:

Диаметр внешнего резервуара	около	90 мм
„ внутреннего резервуара	65 „
„ внешней трубки	12,5 „
„ внутренней трубки	5 „

Длина трубок определяется, конечно, по амплитуде измеряемых скоростей. Трубки длиной 600 мм оказываются вполне достаточными для измерения давления до 58,5 мм. водяного столба, причем нулевое положение получается чуть пониже верхней части центральной трубки. При больших напорах простая U-образная трубка дает вполне достаточную точность отсчета. Для достаточной прочности прибора следует припаять нижний конец средней трубки к доньшку внешней трубки, проделав в нижней части первой четыре отверстия для прохода жидкости. Полная площадь всех отверстий должна равняться поперечному сечению внутренней трубки. Для определения положения мениска внутренняя трубка должна быть снабжена миллиметровой шкалой.

Более простая, но менее надежная конструкция подобного прибора показана на рис. 49. Здесь оба резервуара и трубки

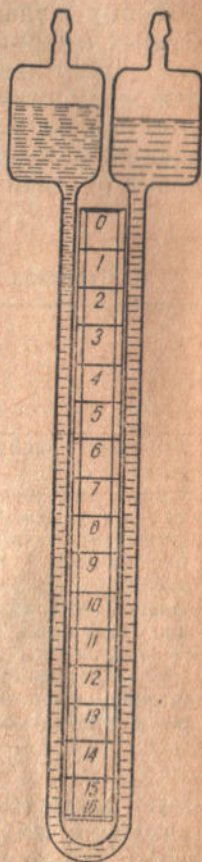


Рис. 49. Двухжидкостный дифференциальный манометр с параллельными трубками.

расположены не концентрически, а параллельно. При работе с этим прибором следует особенно следить за строго вертикальным положением его, так как даже малые отклонения от вертикали дадут довольно значительные отклонения мениска.

Выбор жидкости для микроманометра. Для описанных жидкостных микроманометров весьма существенным фактором является выбор жидкости для наполнения. Пригодными для этой цели жидкостями могут быть: вода, керосин, спирт, эфир, толуол, ксилол, хлороформ, бензиловый спирт, раствор хлористого кальция, бензол, нитробензол. В таблице 4 приведены основные характеристики некоторых из этих жидкостей.

Таблица 4

Свойства жидкостей для микроманометров (по Грамбергу)

	Вода	Керосин	Спирт	Эфир	Толуол	Бензол	Нитробензол	Хлороформ
Постоянная капиллярности	14,8	6,6	5,8	4,8	6,7	6,7	7,3	3,7
Удельная вязкость при 20°, для воды=100	100	—	—	14	33	36	114	32
Коэффициент теплового расширения × 1000 для 20°	0,18	0,95	1,0	1,65	1,1	1,25	0,84	1,27
Удельный вес при 20°, для воды при 4° = 1	0,998	0,85	0,8	0,705	0,864	0,880	1,206	1,501
Вес пара, для воздуха=1 (приблизительно)	0,62	—	1,5	2,6	4	2,6	—	5
Давление пара при 20° в мм ртутного столба	17	—	44	432	20	74	<1	160

Из данных этой таблицы следует, что вода является мало-пригодной жидкостью, вследствие большой вязкости. Сравнительно хорошие результаты дает толуол и технический ксилол, состоящий из $\frac{2}{3}$ ортоксилола и $\frac{1}{3}$ мета- и пара-ксилола; удельный вес ксилола мало меняется на воздухе, кроме того, он не оставляет никаких остатков на стекле; он растворяет жирный слой, образующийся на стеклянной трубке, лучше, чем водный раствор спирта. Постоянная капиллярности для ксилола приблизительно такая же, как и для водного раствора спирта, но вязкость ксилола составляет лишь половину вязкости спирта, и точка кипения составляет 137°, вместо точки кипения спирта в 78°.

Хорошие результаты дает водный раствор хлористого кальция и бензиловый спирт, как это было указано при описании двухжидкостных манометров.

Для того, чтобы столбик жидкости в измерительной трубке был более отчетлив, жидкость желательно подкрасить. Воду

можно окрасить флуоресценном, спирт—эозином, водный раствор хлористого кальция—анилиновой черной краской и т. д.

Корвометр Рабэ. Для измерения давления или перепада давлений предложен еще корвометр Рабэ^[1], изображенный на рис. 50. Корвометр состоит из стеклянной трубки, имеющей на одном конце шарик и установленной внутри прочного цилиндрического корпуса, один конец которого соединен с краном, а второй—с тройником. С помощью верхнего крана корвометр соединяется с атмосферой; нижний тройник с краном присоединяется к месту измерения.

Корвометр может служить для измерения давления газов и жидкостей. При измерении давлений газов прибор устанавливается так, чтобы кран для соединения с атмосферой находился внизу; при измерении давлений жидкостей—наоборот, т. е. так, как изображено на рисунке. При измерении газов в манометрическую трубку вводится жидкость, мениск которой должен совпадать с нулем шкалы; жидкость вводится через кран. При измерении жидкостей в манометрическую трубку через тот же кран вводится или выводится столько воздуха, чтобы опять таки мениск жидкости приходился против нуля шкалы.

При измерении давлений кран на тройнике должен быть закрыт; к трубопроводу присоединяется или штуцер манометрической трубки или штуцер корпуса прибора. Для измерения разности давлений к трубопроводу присоединяют оба штуцера прибора, после чего кран на тройнике прикрывают; кран

прикрывают при этом настолько, чтобы мениск в манометрической трубке находился в удобном для отсчета месте шкалы. После установки этого крана на определенном постоянном положении все изменения измеряемого положения мениска будут пропорциональны корню квадратному из разности давлений.

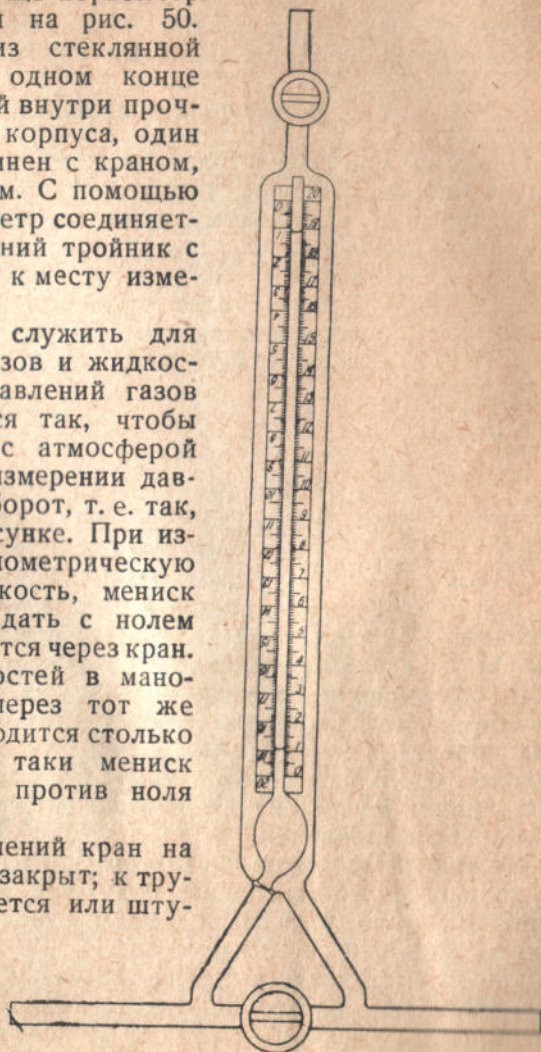


Рис. 50. Корвометр Рабэ.

Шкала прибора сделана двойной, чтобы иметь возможность производить измерения давлений и газов и жидкостей.

Благодаря наличию только одной манометрической трубки и, следовательно, только одного мениска, измерения с таким прибором могут на практике быть более точными, чем при обыкновенных дифференциальных манометрах.

Б. ПОПЛАВКОВЫЕ МАНОМЕТРЫ

Принцип действия поплавковых микроманометров представлен на рис. 51. Колокол опущен в сосуд с жидкостью; пространство под колоколом соединяется с прибором давления. Изменение давления P_2 под колоколом на $\pm \Delta P_2$ вызывает подъем или опускание колокола на высоту $\pm \Delta h$, считая уровень жидкости снаружи колокола неизменным. Обе величины ΔP_2 и Δh связаны между собой следующей зависимостью:

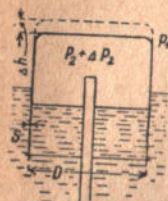


Рис. 51. Схема работы поплавкового манометра.

$$\Delta h = \frac{\Delta P_2 \cdot D}{4 \cdot s \cdot \gamma}, \quad (13)$$

где D — диаметр колокола в см;
 s — толщина стенки колокола в см;
 γ — плотность жидкости.

Из этого уравнения видно, что чувствительность прибора возрастает с увеличением диаметра колокола D , уменьшением толщины стенки колокола и уменьшением плотности жидкости.

В оформлении, представленном на рис. 51, прибор может измерять только давления газа. Для измерения не давления, а разности давлений колокол надо окружить замкнутым пространством, причем последнее соединить с другим полюсом прибора давления.

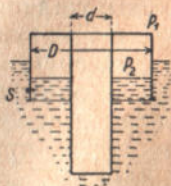


Рис. 52.

Поплавковые микроманометры изготавливаются не только как указывающие, но и как регистрирующие приборы, в связи с этим колоколу надо придать возможно большую подъемную силу. Достигается это тем, что прибор схематически выполняется так, как это представлено на рис. 52. При погружении такого колокола в жидкость с плотней в весе по закону Архимеда зависимость между элементами прибора и изменением давления выражается такой формулой:

$$\Delta h = \frac{D^2 - d^2 (1 + \gamma)}{\gamma (4 \cdot D \cdot s + d^2)} \cdot \Delta P_2, \quad (14)$$

где D — внутренний диаметр колокола,
 d — внутренний диаметр трубы,
 остальные обозначения те же, что и в предшествующей формуле (13).

Движение колокола или поплавок передается при помощи стержня или рычага самопишущему штифту, наносящему показания давления на барабан, обтянутый бумагой и приводимый в движение часовым механизмом.

Приборы этого типа позволяют регистрировать самые малые давления или же разности давлений (а тем самым и скорости или объемы) на соответствующей диаграмме. Соединение таких приборов с трубками Пито и прочими измерителями давлений привело к известным измерительным приборам для объемов и скоростей.

Прибор „Гидро“. Конструкция этого прибора следующая: вставленная в цилиндрический сосуд *A* (фиг. 53) труба *B* делит его на два пространства: внутренний цилиндр с так наз. несущей жидкостью *I* и наружное кольцо с запорной жидкостью *II*. В жидкость *I* погружен поплавок *T* колокола *D*; в жидкость *II* — его кожух *M*. Колокол посредством направляющих выступов *F* окружает стержень *S*, привинченный ко дну и укрепленный на крышечной плите *P*. Пишущий стержень доходит до кожуха колокола и соединяется с ним при помощи шарнира. Внутреннее пространство прибора должно быть герметически отделено от атмосферы, ибо требуется измерять разность давлений, независимую от показания барометра. Пространство внутри колокола замыкается жидкостью *I*, крышкой колокола, кожухом колокола и жидкостью *II*; пространство над колоколом замыкается крышкой *K* и водяным затвором *W*; этот затвор образуется кольцевым пространством, наполненным жидкостью *III*, в которую погружена труба *C*, укрепленная на крышке. Герметичность пишущего стержня *J* достигается посредством трубки *R*, сверху припаянной к крышке, а снизу погруженной в жидкость *II*. Трубки *R*₁ и *R*₂, по которым передается давление, снаружи прибора снабжены кранами, позволяющими одновременно передать давление пространствам под колоколом и над ним. Кроме того, трубки *R*₁ и *R*₂ соединены друг с другом соединительным краном *З*; отверстие в пробке этого крана соединяется посредством канала с атмосферой.

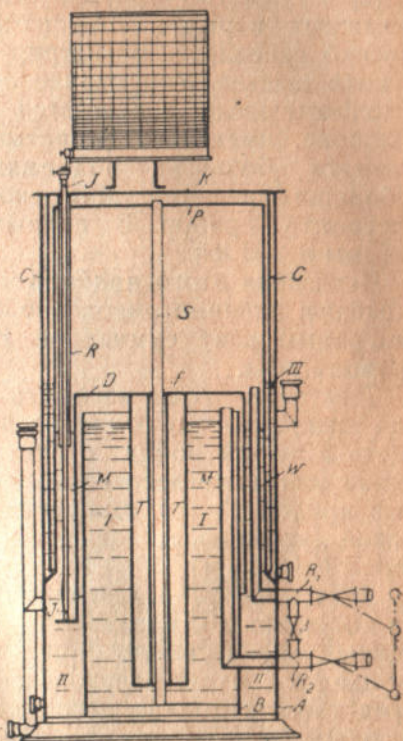


Рис. 53. Прибор „Гидро“.

Пространство внутри колокола замыкается жидкостью *I*, крышкой колокола, кожухом колокола и жидкостью *II*; пространство над колоколом замыкается крышкой *K* и водяным затвором *W*; этот затвор образуется кольцевым пространством, наполненным жидкостью *III*, в которую погружена труба *C*, укрепленная на крышке. Герметичность пишущего стержня *J* достигается посредством трубки *R*, сверху припаянной к крышке, а снизу погруженной в жидкость *II*. Трубки *R*₁ и *R*₂, по которым передается давление, снаружи прибора снабжены кранами, позволяющими одновременно передать давление пространствам под колоколом и над ним. Кроме того, трубки *R*₁ и *R*₂ соединены друг с другом соединительным краном *З*; отверстие в пробке этого крана соединяется посредством канала с атмосферой.

благодаря чему при закрытых вводных кранах и открытом соединительном кране пространства под поплавком и над ним соединены между собой, а также с атмосферой. Для наполнения прибора предусмотрены впускные штуцера, для опорожнения—спускные.

Преимущество прибора заключается в полном отсутствии рычажных передач. Ход измерительного колокола непосредственно передается регистрирующему барабану без промежуточных звеньев. Увеличение показаний, т. е. увеличение передаточного числа достигается соответственной соразмерностью колокола, имеющего развитые поверхности; может быть достигнута большая подъемная сила даже при измерении небольших величин. Для скоростей от 1 до 5 м/сек можно построить прибор с полным использованием высоты диаграммы в 200 мм.

Показания этого прибора записываются пером на диаграмме барабана; планиметрирование полученной за смену или за сутки диаграммы дает суммарное количество прошедшего по газопроводу газа.

Для того, чтобы избежать необходимости планиметрирования диаграмм, что отнимает некоторое время, и иметь возможность в любой момент отсчитать по показаниям прибора объемное или даже весовое количество измеренного газа, описанный прибор „Гидро“ был усовершенствован Контценом (Contzen). Такой усовершенствованный прибор представлен на рис. 54 (поз. 1—5).

Этот прибор, аналогично прибору „Гидро“, также состоит из колокола *a* с поплавком; колокол погружен в сосуд, наполненный жидкостью до определенной отметки. Колокол *a* перемещается соответственно разности давлений; его движение посредством самопишущего стержня переносится на регистрирующий барабан, приводимый часовым механизмом во вращательное движение вокруг своей оси. С самопишущим стержнем посредством *c* и других промежуточных звеньев соединен кулачный диск *f*, следующий за движениями колокола *a*. В определенные промежутки времени мимо кулачного диска *f* проходит штанга *o*, соединенная с заводным колесом *v* счетчика *g*. Кулачный диск *f* сконструирован таким образом, что путь штанги *o*, а вместе с тем и передвижение счетчика *g* пропорциональны количеству газа в единицу времени. Как было сказано выше, движение штанги *o* происходит в определенные промежутки времени, приблизительно через каждые 30 секунд; следовательно, отсчитываемое показание счетчика *g* дает количество газа за этот промежуток времени.

Для приведения в движение штанги *o* можно применять или часовой механизм *b* (позиция *b* на рис. 54), или же какой-либо двигатель, например, водяной (позиция *l* на рис. 54).

Благодаря введенным усовершенствованиям и дополнениям показания прибора не только записываются на диаграмме, но

отмечаются на счетном механизме и могут быть поэтому передаваемы одновременно на далекие расстояния.

Прибор Фюса. На рис. 55 изображен прибор в разрезе; там же показан способ его установки в газопроводе. В закрытом со всех сторон сосуде *K* помещается поплавок *A*, несущий

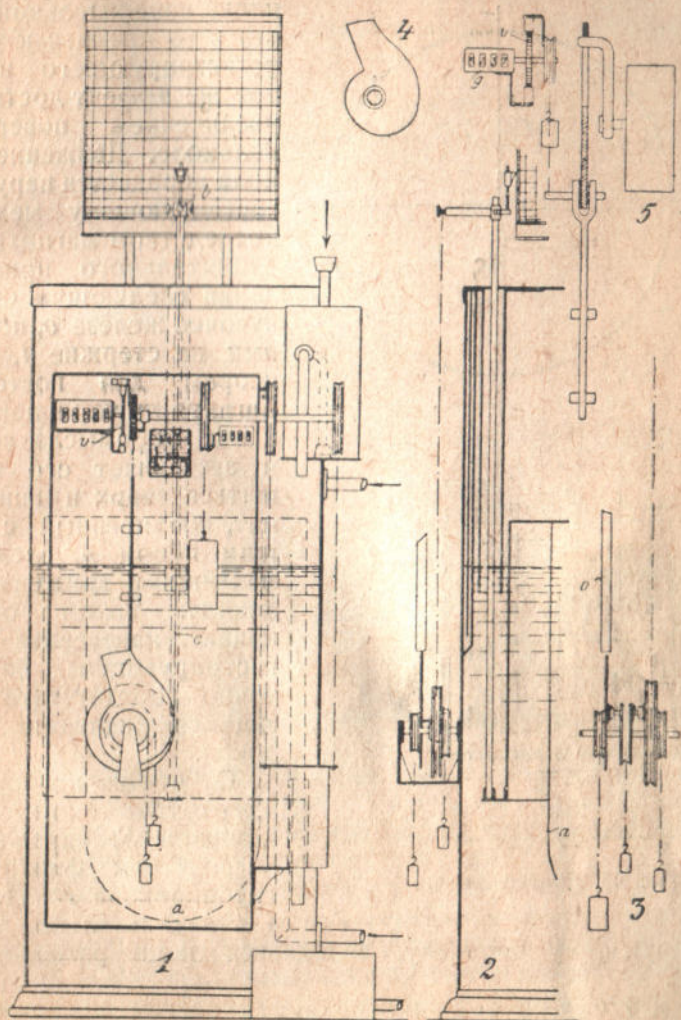


Рис. 54. Регистрирующий прибор Контцена.

колокол *g*. Пространство под колоколом и пространство над колоколом соединены посредством кранов *s* и *d* с трубками измерителя давлений. И в этом приборе достигается высокая

чувствительность уже при небольших скоростных напорах благодаря большой поверхности колокола. Противодействующей силой является изменяющаяся подъемная сила поплавка *A*. Эта часть прибора по своему принципу действия соответствует описанному микроманометру Рекнагеля, только у микроманометра повышение чувствительности обуславливается изменением угла наклона измерительной трубки, в то время как у этого регистрирующего прибора тот же эффект достигается увеличением поверхности колокола. Движение колокола передается наружу регистрирующему механизму посредством магнитного соединительного приспособления следующим образом: кусочек железа *o*, помещенный на стержне *i*, служит якорем для постоянного магнита *m*, укрепленного на конце коромысла весов *w* и заставляет его перемещаться вверх и вниз. Магнит, соединенный с пишущим пером *p*, следует за малейшими движениями колокола. Таким образом, кривая, нанесенная на регистрирующем барабане, точно соответствует меняющимся давлениям на колокол.

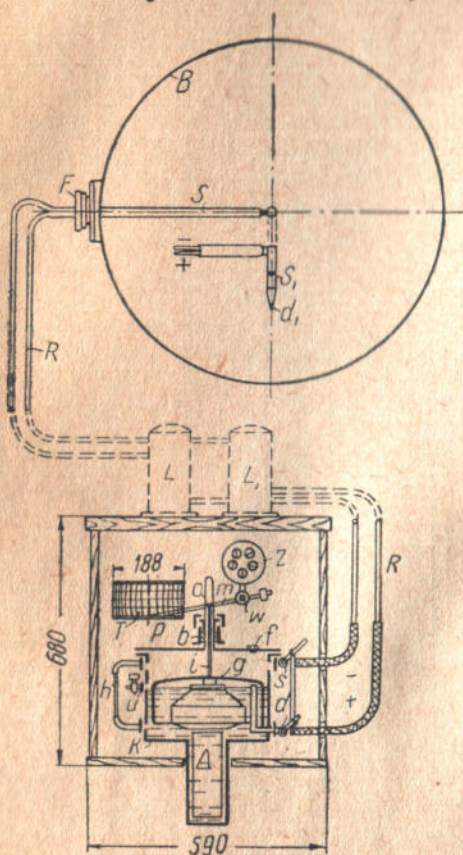


Рис. 55. Прибор Фюса.

региструющему барабану, передается лишь разница обоих давлений.

Если к этому прибору присоединить счетный механизм, представленный на рис. 56, то показания счетного механизма дадут непосредственно количество прошедшего по трубопроводу газа.

Схема этого счетного механизма такова. Небольшой часовой механизм ежеминутно приводит в движение другой часовой механизм, который в свою очередь посредством кулачного диска *G* сдвигает рычаг *H*; рычаг *H* при своем падении приводит посредством зубца *K* в движение счетный механизм *NZ*. Верхний

региструющему механизму посредством магнитного соединительного приспособления следующим образом: кусочек железа *o*, помещенный на стержне *i*, служит якорем для постоянного магнита *m*, укрепленного на конце коромысла весов *w* и заставляет его перемещаться вверх и вниз. Магнит, соединенный с пишущим пером *p*, следует за малейшими движениями колокола. Таким образом, кривая, нанесенная на регистрирующем барабане, точно соответствует меняющимся давлениям на колокол.

От обоих кранов *s* и *d* идут трубки *R* к измерителю давлений *S*, укрепленному посредством фланца *F* в трубопроводе *B*. Прибору, а следовательно, и его

упор рычага H ограничен, а нижний зависит от положения металлического некруглого диска C ; положение диска C связано с положением колокола D . При больших скоростях подъема и опускания рычага E значительны и вызывают соответственно большие смещения счетного механизма; при незначительных скоростях происходит соответственно меньшее продвижение счетных колес. Следовательно, имеется возможность отсчитывать по показаниям этого счетного механизма не только измеряемые

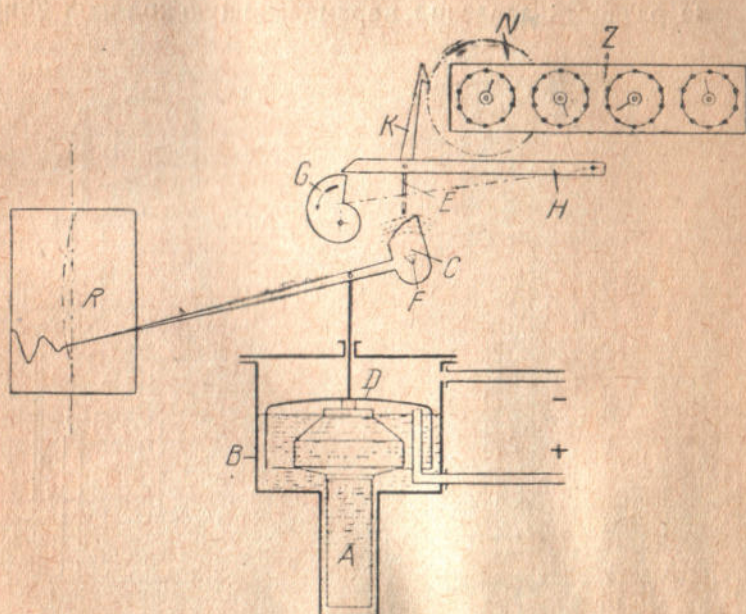


Рис. 56. Регистрирующий прибор Фюса.

разности давлений, но и непосредственно объемные количества измеряемого газового потока в объемных единицах, как это имеет место, например, в газовых часах или газовых счетчиках, описание которых будет приведено в главе IV.

Прибор „Феникс“. Отличительная черта этого прибора состоит в том, что оба давления, передаваемые от газового или воздушного потока, передаются на один распределитель жидкости C (рис. 57). Распределитель C погружается в запорную жидкость (для данного прибора — в глицерин) на глубину, пропорциональную разности давлений.

Для увеличения подъемной силы распределителя C создано сообщение между пространствами B и D при помощи узкого ящика E , снабженного тремя трубочками.

Движение распределителя передается посредством вертикального стержня S системе рычагов, а от нее посредством пишущего стержня L — диаграмме M . Так как стержень S находится

в пространстве с изменяющимся давлением (выше или ниже атмосферного), создается трудная задача создать герметичное уплотнение в крышке прибора. Эта задача решена следующим образом: на стержне S укреплен колокол T , погруженный в цилиндрический сосуд G , наполненный ртутью, чем и достигается герметичность затвора.

Давление, господствующее в пространстве A , а следовательно, и под колоколом T , сильно изменяясь, может вместе с тем изменять также разность давлений, перемещающую колокол T вверх

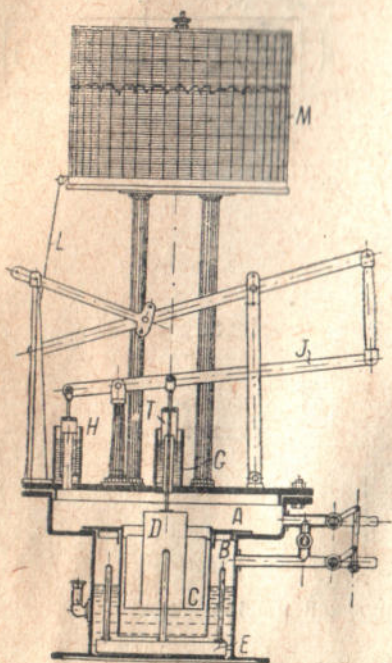


Рис. 57. Прибор „Феникс“.

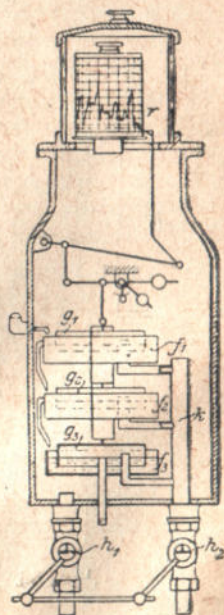


Рис. 58. Прибор Шульце-Доша.

или вниз, вследствие чего путь распределителя C может испытывать ошибочные изменения. Для устранения этой ошибки на конце рычага J устроен такой же колокол H , находящийся в тех же условиях; благодаря этому показания прибора соответствуют действительным скоростям.

Этот прибор обычно соединяют с измерителями давлений типа трубки Пито.

Измерители минимальных давлений Шульце-Доша. Конструкция этого прибора схематически изображена на рис. 58. В кожухе, герметически закрытом со всех сторон, находится несколько сосудов f_1, f_2, f_3, \dots , наполненных неиспаряющейся жидкостью. Тонкостенные измерительные колокола g_1, g_2, g_3, \dots погружены

в сосуды с этой жидкостью. Колокола между собой жестко соединены и сбалансированы противовесами; их движение системой рычагов передается стрелке и диаграмме r . Внутренние пространства всех колоколов соединены с помощью коллектора k и крана h_2 с трубкой измерителя давления. Краном h_1 внутреннее пространство кожуха, окружающего колокола, может соединяться с наружным воздухом или же с измерителем давления.

Установка нескольких колоколов увеличивает поверхность, на которую действует давление или же разность давлений; отсюда ясно, что в этом приборе небольшие давления могут создавать вполне достаточные усилия для того, чтобы привести в движение указательный и регистрирующий механизм.

Дифференциальный микроманометр-тягомер.

Прибор в двух разрезах представлен на рис. 59.

Он состоит из двух микроманометров с колоколами a и b , из которых первый соединен открытой трубкой b с атмосферой, а второй — с областью наименьшего из измеряемых давлений; пространство внутри кожуха сообщается с областью наибольшего из измеряемых давлений. Каждый колокол соединен посредством тяги z , уравновешенной противовесом рычага d , и зубчатого сектора e с шестерней $ж$, сидящей на оси отдельной для каждого колокола стрелки $и$; таким образом, одна из стрелок показывает измеряемую разность давлений, а другая — разность между одним из давлений и атмосферой.

Этот прибор применяется для измерения разрежений, например, в дымовых трубах, топках котлов и т. д., откуда и его название — тягомер.

Этот прибор применяется для измерения разрежений, например, в дымовых трубах, топках котлов и т. д., откуда и его название — тягомер.

Дифференциальный манометр Весткотта. Дифференциальный поплавковый манометр Весткотта, как и аналогичный в принципе конструкции манометр Фоксборо (описываемый ниже), получил широкое распространение в американской практике для измерения статического и дифференциального давлений при учете природных газов. Метод и правила установки этих манометров и включения их в работу описываются в главе VII.

Конструкция прибора Весткотта состоит в следующем (рис. 60). Два сосуда 1 и 2, конструктивно выполненные вместе, соединя-

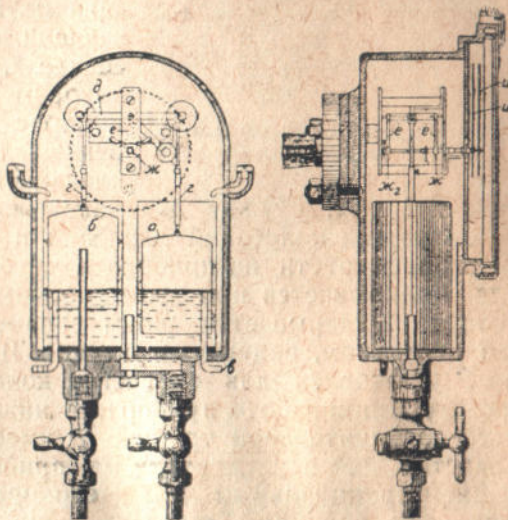


Рис. 59. Дифференциальный тягомер.

ются между собой с помощью изогнутой металлической трубки; в сосуды налита ртуть; при выключенном состоянии ртуть

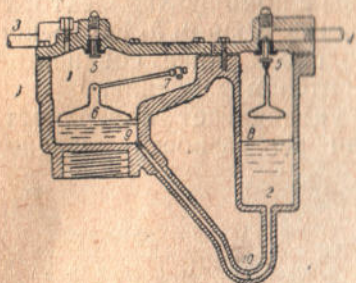


Рис. 60. Дифференциальный манометр Весткотта.

в обоих сосудах находится на одинаковом уровне, поскольку они соединены между собой трубкой. С помощью патрубка 4 прибор соединяется с трубопроводом до диафрагмы; с помощью патрубка 3—с трубопроводом после диафрагмы. Рабочий поплавок 6, плавающий на поверхности ртути в сосуде 1, соединен с валиком 7, на котором укреплено перо прибора, вычерчивающее на диаграмме кривую давления. Предохранительные клапаны 5, установленные в обоих сосудах 1 и 2, служат для закрывания вводимых отверстий в случае резких колебаний давлений и тем самым предохраняют от выброса ртути из прибора в трубопровод; клапан 5 в сосуде 1 закрывается при этом рабочим поплавком 6, а клапан 5 в сосуде 2 закрывается своим специальным поплавком, видимым на рисунке. Штуцер 9 установлен для смягчения колебаний ртути при работе прибора. В нижней части соединительной трубки 10 имеется отверстие для спуска ртути из прибора.

Дифференциальный манометр Фоксборо. По принципу действия манометр Фоксборо аналогичен вышеописанному прибору Весткотта. Рабочий поплавок 4, помещенный в цилиндре 1, соединен двумя рычагами с валиком 9, на оси которого укреплено перо для записи давления на диаграмме (рис. 61). Патрубок 7 служит для соединения прибора с трубопроводом до диафрагмы; патрубок 6—с трубопроводом после диафрагмы. Через отверстие 5 в прибор наливается ртуть; отверстие 3 служит для выпуска ртути. В обоих коленах нижней части соединительной U-образной трубки установлено два поплавка с направляющими штоками; эти поплавки играют роль запорных клапанов; в случае резкого толчка давления эти поплавки закрывают проход по соединительной трубке и тем самым предохраняют от переброса ртути.

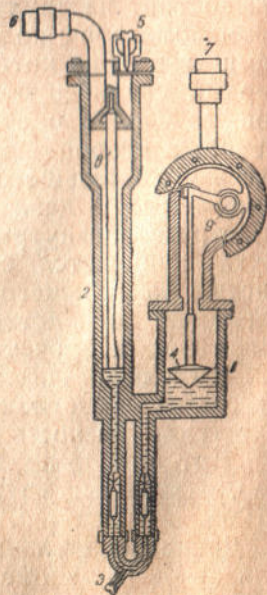


Рис. 61. Дифференциальный манометр Фоксборо.

Дифференциальный манометр Сименс-Гальске. На рис. 62 изображен разрез дифференциального манометра Сименс-Гальске, непосредственно соединенного с указывающим прибором.

Поплавок прибора имеет зубчатую рейку и шестерню, при помощи которых через специальную муфту происходит передача движения стрелке прибора.

Назначение специальной муфты, помимо передачи движения поплавка стрелке прибора, состоит в герметическом отделении части прибора, соединяющейся с измеряемой средой, от корпуса прибора, который сообщается с атмосферным воздухом.

При высоких давлениях, которые могут иметь место в камере прибора, абсолютно герметический пропуск оси стрелки через какой-либо сальник будет конструктивно неосуществим, затруднителен и во всяком случае малонадежен.

Фирма Сименс-Гальске решила этот вопрос введением магнитной муфты, конструкция которой показана в разрезе на рис. 63.

Шестерня муфты, сцепляемая с рейкой поплавка, находится в той части корпуса, которая подвержена давлению измеряемого вещества.

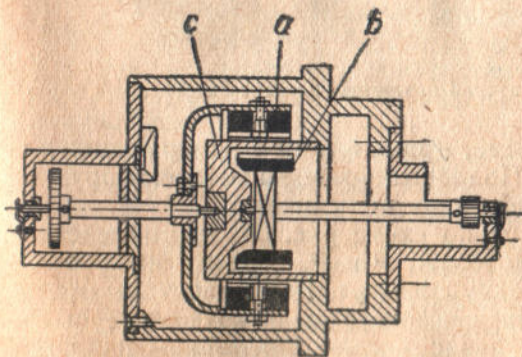


Рис. 63. Магнитное сцепление Сименс-Гальске.

При изменении положения поплавка магнитные силовые линии магнита *а*, проникающие через перегородку *с*, взаимодействуя

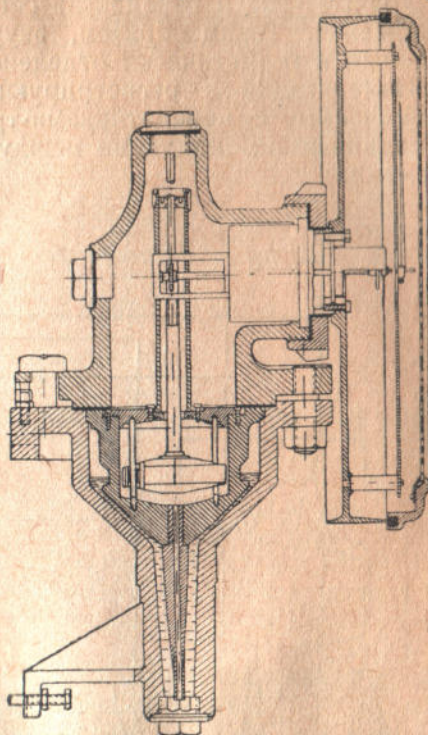


Рис. 62. Дифференциальный манометр Сименс-Гальске.

с другим концом оси помещена скоба с сильным стальным магнитом *а*. Бронзовая цилиндрическая перегородка *с* наглухо отделяет внутреннюю камеру прибора от внешнего пространства. Внутри цилиндра помещен якорь *б* тоже в виде сильного магнита, насаженный на ось, оканчивающуюся шестерней, передающей движение стрелке прибора.

с магнитом b , изменят положение последнего, поворачивая его на тот же угол и передвигая связанную с ним стрелку в новое положение. Таким образом, внутреннее пространство прибора надежно и герметически отделено от внешнего.

Измеряющие и регистрирующие приборы Сименс-Гальске, применяемые с передатчиками-трансформаторами, основаны на принципе взаимной индукции между тремя электромагнитными системами.

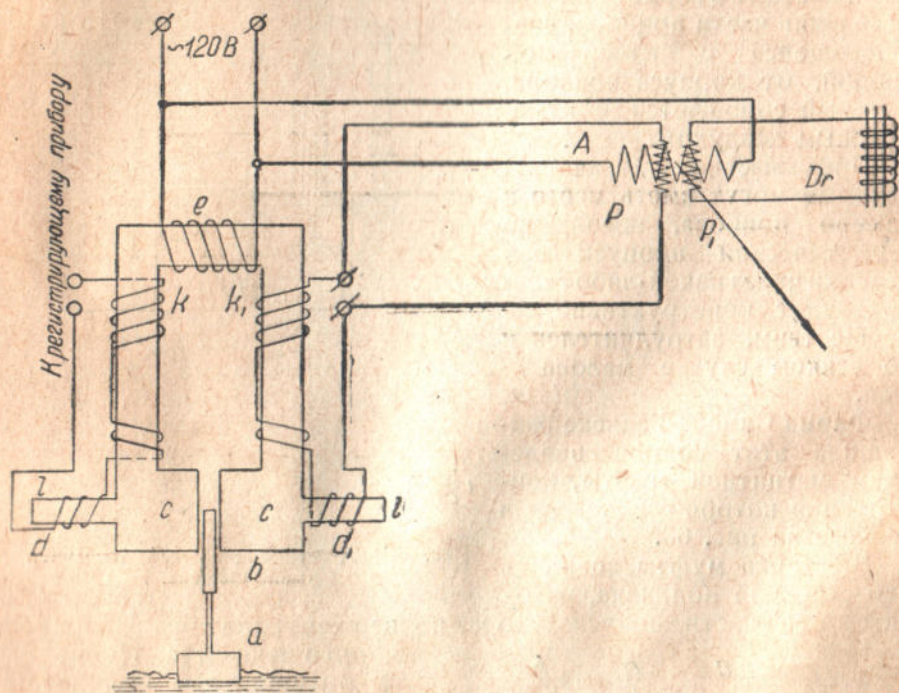


Рис. 64. Схема передатчика показаний Сименс-Гальске.

На рис. 64 приведена схема, применяемая в измеряющих или регистрирующих приборах. Подобные приборы не имеют пружин, возвращающих стрелку прибора на ноль шкалы.

При соединении приборов по схеме рис. 64 взаимодействие между тремя системами обмоток A , P и P_1 создает вращающее усилие, передвигающее стрелку прибора. Величина угла отклонения стрелки, механически связанной с обмотками P и P_1 , будет находиться в прямой зависимости от величины напряжения, приложенного к обмотке P . Величина же напряжения находится в прямой зависимости от положения якоря b передатчика.

В самом деле, если магнит (трансформатор) c питать переменным током через катушку e , то в сердечнике магнита будет возникать магнитный поток, который будет в свою очередь ин-

дуктировать переменные токи в обмотках k и k_1 . Величина индуктированных токов зависит от величины магнитного потока, который подчиняется „магнитному закону Ома“:

$$Z = \frac{F}{\frac{l_1}{\mu_1 \cdot q} + \frac{l_2}{\mu_2 \cdot q}},$$

т. е. магнитный поток = $\frac{\text{магнитодвижущая сила}}{\text{магнитное сопротивление}}$,

где F — магнитодвижущая сила, пропорциональная ампервиткам обмотки e ;

l_1 и l_2 — соответственно, длины магнитопровода в его металлической части и в воздушной прослойке;

μ_1 и μ_2 — магнитная индукция сердечника трансформатора и воздуха;

q — сечение магнитопровода.

Так как с изменением положения якоря меняется магнитное сопротивление трансформатора, а с изменением магнитного сопротивления трансформатора изменяется и напряжение во вторичной обмотке, то каждому положению поплавка a дифференциального манометра будет отвечать вполне определенное положение стрелки.

При отключении обмоток A и P от источника тока стрелка прибора установится в неопределенном положении.

При отключении обмотки P от передатчика стрелка прибора установится в середине шкалы прибора.

При самом низком положении якоря передатчика и включенных обмотках A и P стрелка прибора должна установиться на ноль шкалы.

Дифференциальные манометры Брауна. Дифференциальный манометр Брауна (рис. 65) имеет две сообщающиеся камеры A и B . Камера B при помощи трубки и вентиля присоединяется к трубе, по которой протекает газ, со стороны низкого давления за диафрагмой.

Камера A при помощи такой же трубки присоединяется к трубе со стороны высокого давления, т. е. до диафрагмы. Таким образом, на ртуть, находящуюся в камерах A и B , передается разность давлений в трубе до и после диафрагмы. В правой камере на поверхности ртути плавает поплавок. Поплавок имеет стержень, на котором укреплен якорь передающего прибора. Якорь передвигается вместе с поплавком внутри трубки высокого механического сопротивления, изготовленной из немагнитного материала. На трубку надеты передающие индуктивные катушки.

Передающие катушки имеют специальный винт для установки на ноль. Изображенный на рис. 65 и 66 дифференциальный манометр сконструирован для двух пределов измерений, с возмож-

ностью изменения пределов измерения во время работы, для чего служит специальный клапан, открывающий дополнительный канал *C*, ведущий из камеры *A* в камеру, смежную с камерой

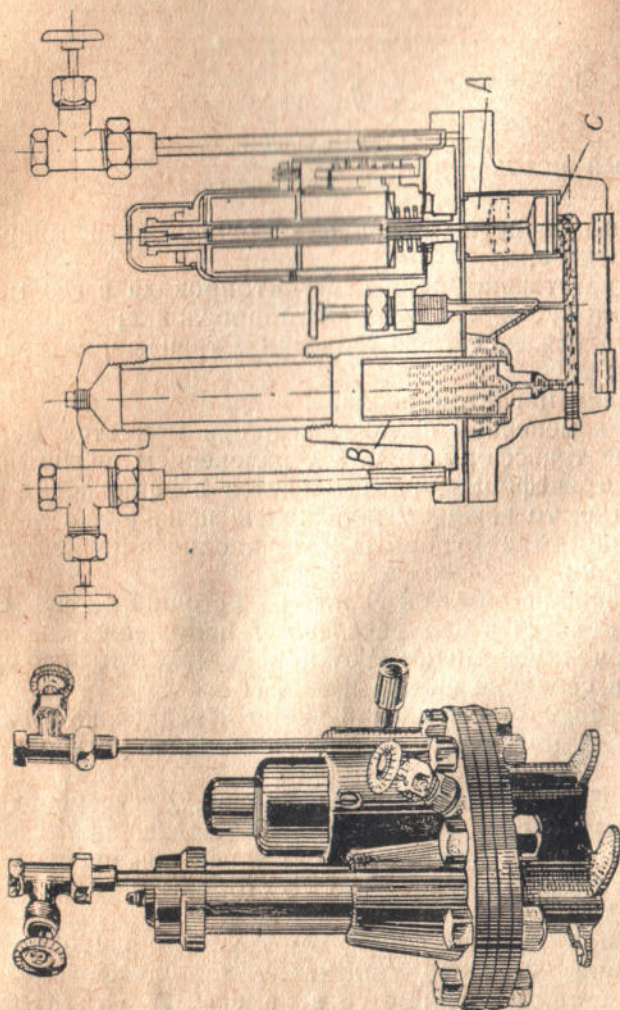


Рис. 65. Дифференциальный манометр высокого давления Брауна (внешний вид и разрез).

B, чем увеличивается давление в левой камере дифференциального манометра.

Дифференциальные манометры этого типа изготавливаются фирмой Браун для следующих серий дифференциальных давлений:

	в мм рт. ст.
	40,64 и 64,414
	40,64 и 101,65
	40,64 и 161,8
	40,64 и 256,54
	40,64 и 644,14

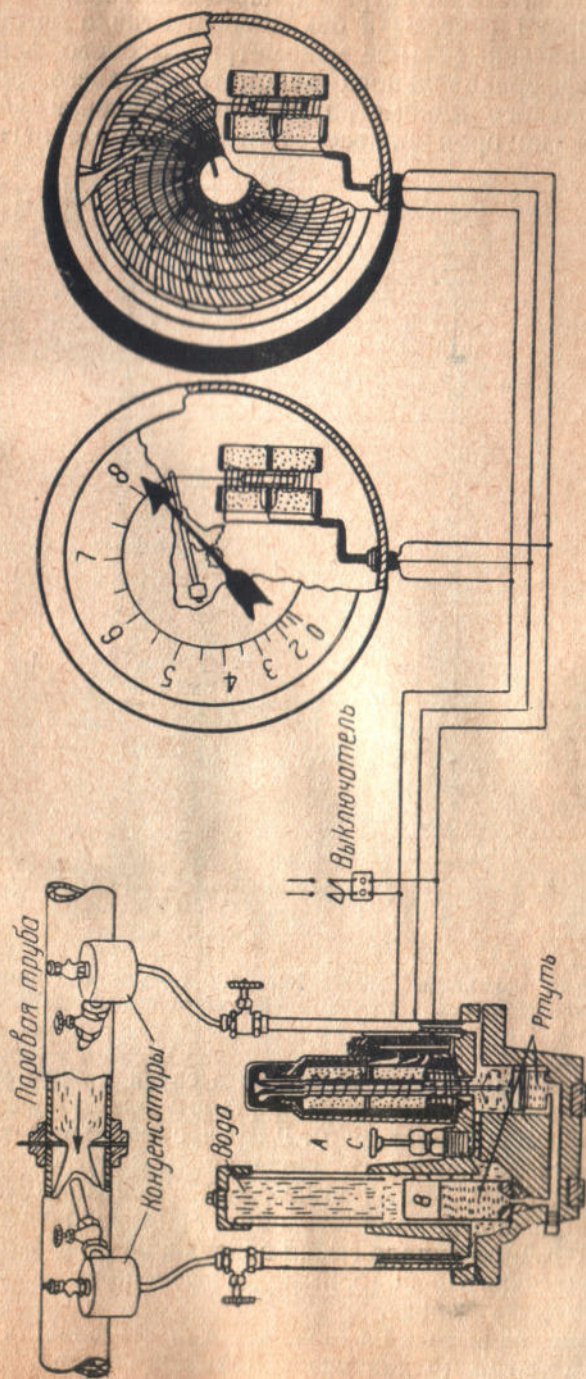


Рис. 66. Схема установки манометра Брауна.

Дифференциальные манометры среднего давления, изготовляемые фирмой Браун (рис. 67 и 68), конструктивно выполнены так же, как и описанные выше манометры высокого давления.

Отличием дифференциального манометра среднего давления от дифференциального манометра высокого давления является замена ртути, на которой плавает поплавков, более легким по

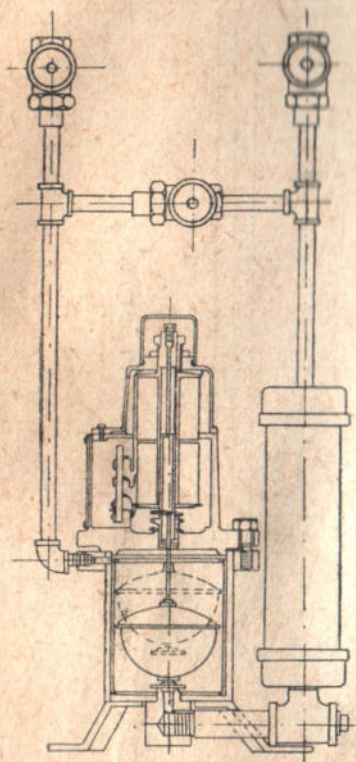


Рис. 67. Разрез манометра Брауна среднего давления.

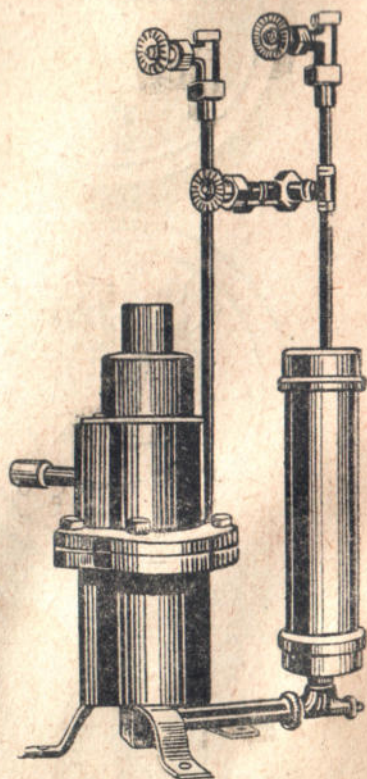


Рис. 68. Общий вид манометра Брауна среднего давления.

удельному весу минеральным маслом и в связи с этим увеличением размера поплавка и поплавковой камеры для получения той же передвигающей поплавков силы. Дифференциальные манометры изготовляются для рабочего давления до 3 кг/см^2 и разницы давлений в 54,25, 86,00, 136,50, 216,25, 342,75 мм вод. ст.

Эти дифференциальные манометры могут употребляться только для измерения объемов сухого газа и воздуха; измерение объемов конденсирующихся паров подобными дифференциальными манометрами производить нельзя.

В случае измерения газов и воздуха при небольших давлениях, когда нежелательно допускать большой потери давления

в диафрагме или трубе Вентури, применяются дифференциальные манометры для небольших разниц давлений. Конструкция подобного манометра, показанная на рис. 69 и 70, существенно отличается от описанных выше манометров высокого и среднего давления.

Камера поплавка *R* этого типа дифференциальных манометров имеет диаметр 500 мм для получения нормальной подъемной силы.

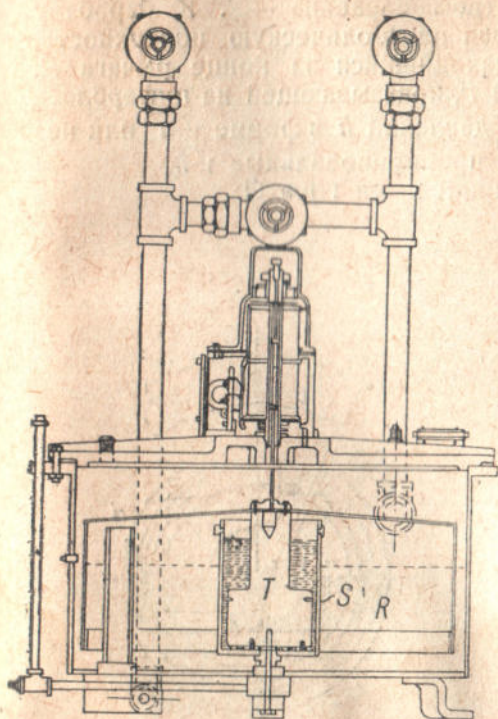


Рис. 69. Разрез манометра Брауна низкого давления.

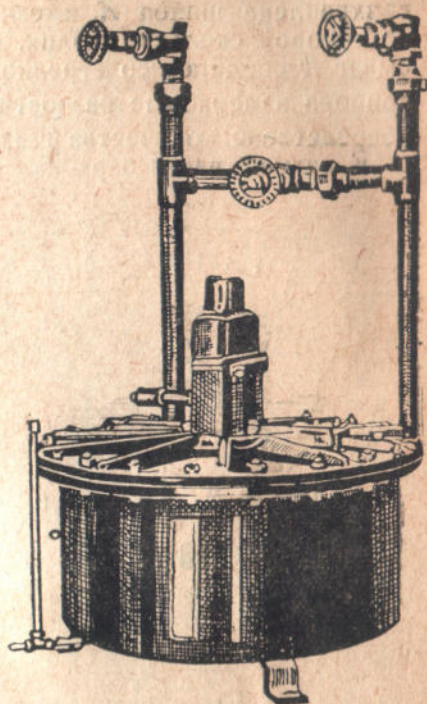


Рис. 70. Общий вид манометра Брауна низкого давления.

Внутри этой камеры установлен цилиндр *S*, наполненный ртутью. Другая, бóльшая часть камеры наполнена минеральным маслом. В цилиндр *S*, наполненный ртутью, опущен поплавок *T*, соединенный с колоколом. Колокол, открытый снизу, опущен в масло. Правая трубка соединяет камеру над колоколом с зоной высокого давления до диафрагмы. Левая трубка соединяет камеру под колоколом с зоной низкого давления. Благодаря поплавку *T*, плавающему в ртути, вся система, состоящая из колокола, поплавка и якоря передатчика настолько уравновешена, что достаточно изменения в 1/25 000 мм вод. столба для перемещения всей системы. Подобные дифференциальные манометры строятся для разницы давлений в 5,512, 8,737, 13,868, 21,971, 34,798, 55,118, мм вод. столба.

В. КОЛЬЦЕВЫЕ ВЕСЫ

Устройство этих манометров основано на принципе гидростатических кольцевых весов. Прибор состоит ^[2] из кольцевого барабана W (рис. 71), разделенного перегородкой T на две части: $+J$ и $-J$. Приключение прибора производится трубками $+Z$ и $-Z$; трубка $+Z$ соединяется с пространством барабана $+J$, трубка $-Z$ с пространством барабана $-J$. К барабану прикреплена шайба K , имеющая параболическую поверхность, по которой скользит ролик, находящийся на конце рычага R ; рычаг R соединен со стрелкой F , показывающей на циферблате прибора измеряемые разности давлений h в форме \sqrt{h} или непосредственно количества газа, пропорциональные \sqrt{h} .

К нижней части барабана прикреплен груз G .

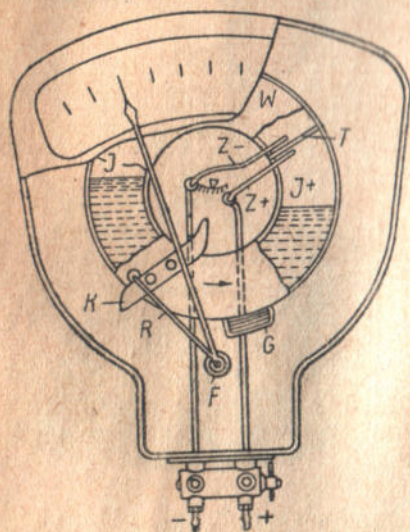


Рис. 71. Схема устройства кольцевых весов.

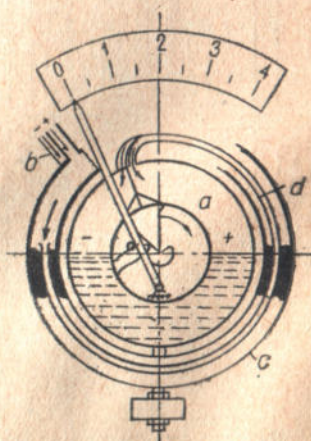


Рис. 72. Схема устройства кольцевых весов.

При включении прибора давление в пространстве $+J$ становится больше, чем в пространстве $-J$ на величину, соответствующую измеряемой разности давлений, жидкость перемещается из $+J$ в $-J$, и барабан приходит в движение по направлению, указанному на рисунке стрелкой; передвижение барабана продолжается до тех пор, пока груз G его не уравновесит. С барабаном перемещается и шайба K , а за ней и вся рычажная передача к стрелке.

Несколько иной конструкции „кольцевые весы“ изображены на рис. 72. Кольцевой барабан a разделен, как и в предшествующем случае, перегородкой на две части, обозначенные на

рисунке знаками + и —. Вводные трубки *b* проходят через кольцевой сосуд *c*, наполненный, так же как и барабан, жидкостью до определенного уровня. Давления передаются по этим двум трубкам *b* и дальше по *d* в части барабана + и —. Барабан с помощью рычажной передачи соединен со стрелкой, отмечающей на циферблате величины \sqrt{h} .

Г. МЕМБРАННЫЕ МИКРОМАНОМЕТРЫ

Принцип устройства мембранных микроманометров крайне прост и аналогичен устройству обыкновенных мембранных манометров.

Оба измеряемые давления передаются по соединительным трубкам в пространства перед и за тонкой эластичной мембраной прибора (рис.73). Мембранная пластинка соединена рычагами с указывающей стрелкой. Во избежание повреждения чувствительной мембраны при резких толчках давлений или при слишком сильных колебаниях давлений, при которых мембрана могла бы претерпеть слишком глубокие отклонения от своего нормального положения, — мембрану помещают в сравнительно узкой щели, заполнив все остальное пространство, как это видно на рисунке; величина этой щели вполне достаточна для свободных перемещений мембраны в установленных для прибора пределах.

Такие приборы могут работать при высоких давлениях, но при небольшом перепаде давлений.

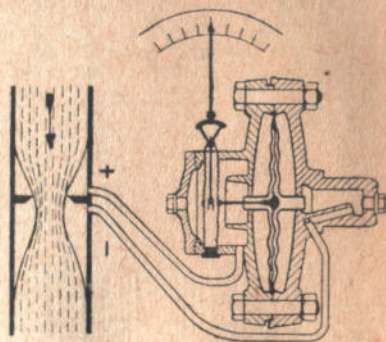


Рис. 73. Мембранный микроманометр.

Д. ПРИБОРЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Примером этого рода приборов для измерения перепада давлений служит так называемый счетчик „Electroflo“, общий вид и схема установки которого даны на рис. 74 и 75. При включении прибора уровень ртути во внутренней цилиндрической части повышается соответственно измеряемой разности давлений, при этом изменяется электрическое сопротивление прибора. По расходу электрической энергии, по специальному счетному аппарату, калиброванному для данного качества газа, отсчитывается непосредственно количество протекающего по газопроводу газа в весовых единицах.

* Основанный на таком же принципе прибор предложен инж. И. П. Осиповым.

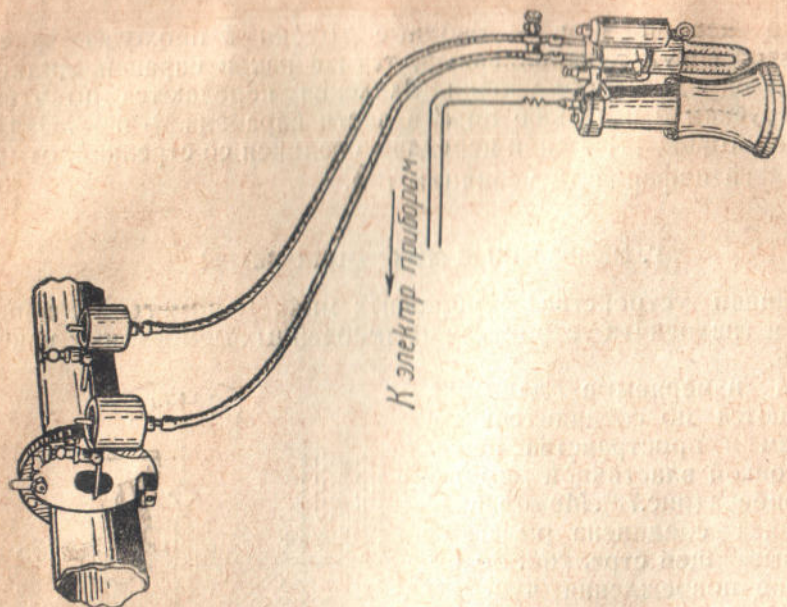


Рис. 75. Общий вид прибора Electroflo.

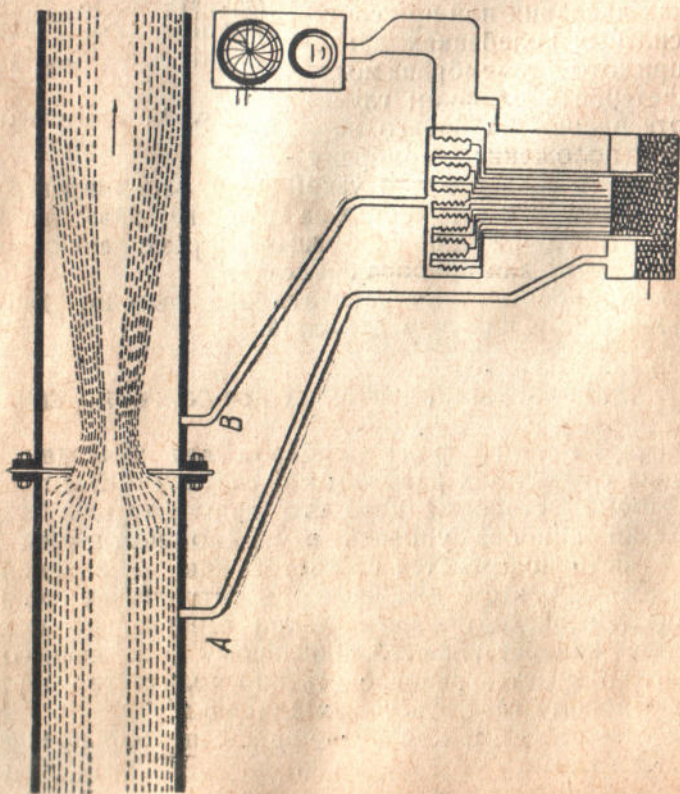


Рис. 74. Схема установки прибора Electroflo.

Поскольку показания такого рода приборов выражаются в виде показаний счетчиков расхода электрической энергии, то эти показания можно непосредственно передавать на любые расстояния. В этом заключается особое достоинство этих приборов.

Передача показаний приборов на расстояния. Качественный и количественный рост за последние десять-пятнадцать лет промышленного газового хозяйства во всех передовых индустриальных странах потребовал не только организации серьезного учета этого хозяйства как в его приходной, так и расходной части, но и автоматизации и механизации его управления. Естественно, возникла необходимость широко развить в связи с этим производство контрольно-измерительной и сигнализационной аппаратуры и реализовать возможность передачи ее показаний в цеховые диспетчерские пункты, в центральные диспетчерские пункты и вообще на значительные расстояния, исчисляемые в отдельных случаях многими километрами.

Все многообразные и сложные вопросы организационной постановки учета промышленных газов на заводах и промыслах, расстановки аппаратуры, ее взаимной связи, использования показаний аппаратуры и всей энергетической части — соединительная проводка, питание током и т. п. — выходят за пределы предмета изложения данной книги; по всем этим весьма серьезным и важным вопросам необходимо обратиться к специальным руководствам и справочникам, имеющимся уже частично и на русском языке. В объеме данной книги надо дополнить приведенный в этой главе материал по приборам, служащим для измерения общего напора, динамического давления, статического давления или разности между общим и статическим давлением, т. е. так называемой разности давлений или перепада давлений, — указаниями, как показания этих приборов передать на расстояния.

При описании отдельных приборов, как, например, прибора Гидро — Контцена, прибора Фюса, прибора с электрическим сопротивлением, прибора Сименс-Гальске, Брауна и друг. было уже указано, что показания этих приборов можно легко передавать по проводам на большие расстояния. В этом отношении в особенно выгодных условиях находятся приборы с электрическим сопротивлением (типа „Electroflo“), так как их показания в виде расхода электрической энергии можно непосредственно передавать по проводам на любые расстояния, не устанавливая для этой цели никаких передаточных механизмов или приспособлений.

Величины, измеряемые механическим путем (различные виды давлений, числа оборотов и т. п.), перед их передачей на дальние расстояния должны быть предварительно преобразованы с помощью соответствующих электрических передатчиков. Совершенно понятно, что первичный прибор — манометр или микроманометр — должен при этом преодолевать повышенное, вследствие присоединения к нему передатчика, механическое сопротивление без заметного изменения характеристики его шкалы.

В настоящее время известно большое количество методов или способов преобразования и передачи на расстояние показаний, даваемых механическим путем манометрами и другими аналогичными приборами. Из этих способов преобразования и передачи наибольшее распространение имеют два способа, именно: 1) с помощью индуктивного мостика и 2) с помощью мостика Уитстона.

Передача показаний с помощью индуктивного мостика. Этот способ передачи, примененный фирмой Браун, схематически изображен на рис. 76 и 77.

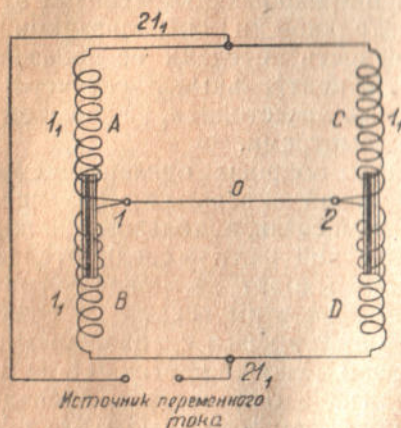


Рис. 76. Схема индуктивного мостика.

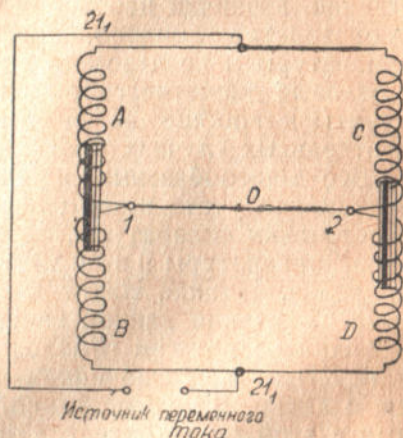


Рис. 77. Схема индуктивного мостика.

Буквами A и B обозначены соленоиды передающего прибора, буквами C и D — соленоиды приемного прибора, цифрой 1 — якорь (сердечник) передающего прибора, приводимый в движение от механизма передающего прибора, и цифрой 2 — якорь приемного прибора, приводящий в движение через посредство рычажной передачи стрелку прибора. Вся система питается, как указано это на схемах, от источника переменного тока.

Из электротехники известно, что закон Ома для соленоидов, включенных в сеть переменного тока, выражается следующим соотношением:

$$I = \frac{E}{\sqrt{r^2 + X_L^2}} = \frac{E}{Z},$$

где I — сила тока в соленоиде;

E — линейное напряжение сети;

r — омическое сопротивление соленоида;

Z — импеданс;

X_L — индуктивное сопротивление соленоида (реактанс);

$$X_L = 2\pi fL,$$

где f — частота тока в пер/сек,
 L — самоиндукция соленоида.

Пренебрегая омическим сопротивлением, формулу можно написать:

$$I = \frac{E}{X_L}.$$

Электрическая характеристика и свойства соленоидов A и C совершенно одинаковы, точно так же, как и соленоидов B и D . Магнитные свойства якорей 1 и 2 в обоих приборах тоже одинаковы.

Допустим, что оба якоря приборов находятся в одинаковом положении внутри соленоидов. Как известно из курса электротехники переменных токов, введение железного сердечника внутрь соленоида увеличивает его реактанц. При положении якорей разбираемой системы, которая изображена на рис. 76, будем иметь следующие соотношения: реактанц соленоида A равен реактанцу соленоида C , т. е.

$$X_A = X_C, \quad (15)$$

точно также реактанцы B и D будут равны между собой, т. е.

$$X_B = X_D; \quad (16)$$

тогда согласно законам Кирхгофа сила тока I в обоих приборах будет равна, и по проводу O , на основании тех же законов, ток проходить не будет.

Предположим теперь, что под влиянием механизма передающего (левого) прибора якорь 1 передвигается в новое положение, показанное на рис. 77; тогда немедленно после передвижения якоря нарушаются соотношения (15) и (16), и силы токов уже не будут равны. Передвинутому положению якоря передающего прибора будут соответствовать уже следующие соотношения: реактанц соленоида A увеличится на некоторую величину и будет больше реактанца соленоида C . Реактанц же соленоида B , наоборот, уменьшится на такую же величину и будет меньше реактанца соленоида D .

Так как суммарный реактанц соленоидов A и B и соленоидов C и D остался прежним, то сила токов в обоих приборах попрежнему будет одинакова. При этих условиях потенциал точки 1 будет ниже потенциала точки 2 ; поэтому по проводу $2-1$ потечет уравнивательный ток. В самом деле, вследствие изменения в соотношениях реактанцев всех четырех соленоидов, в соленоидах C и B потечет больший ток; поэтому из соленоидов C через уравнивательный провод O в соленоид B потечет дополнительный ток. При несимметричном положении сердечников в соленоидах A , B , C и D произойдет перераспределение токов.

Так как ток в соленоиде C увеличится и делается большим, чем в соленоиде D , то соленоид C втянет катушку 2 , которая

займет совершенно такое же положение, как арматура *I*; в системе установится равновесие, по уравнительному проводу ток больше течь не будет до новых изменений в положении арматуры *I*.

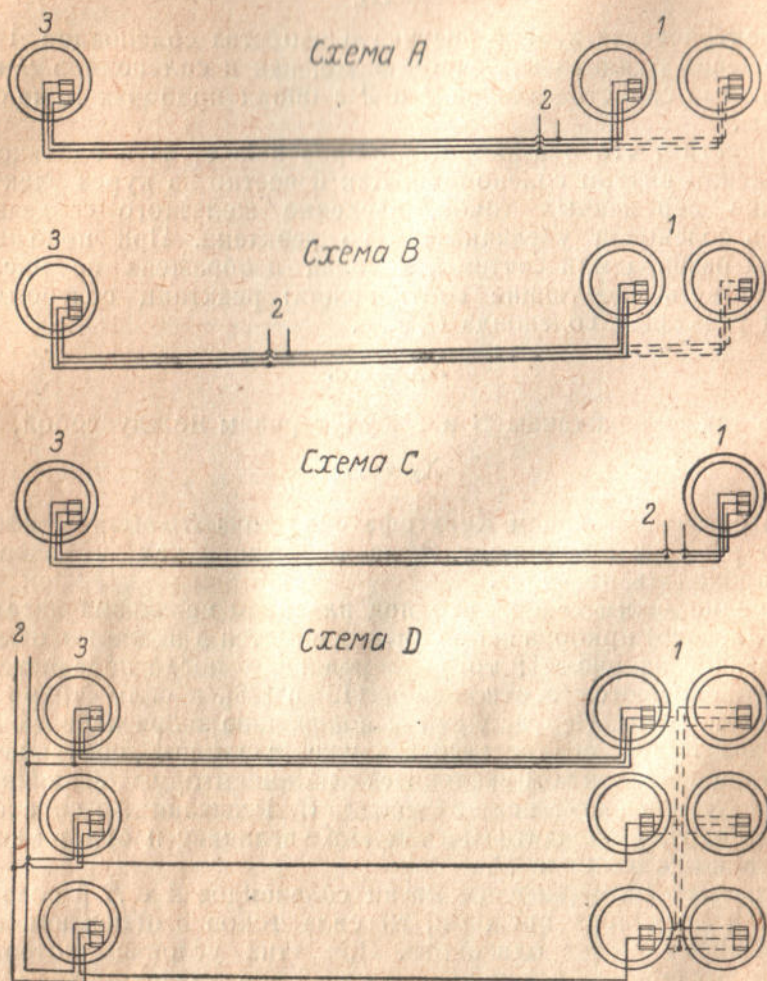


Рис. 78. Различные схемы соединения передающих и приемных приборов. 1—приемные приборы; 2—силовая линия; 3—перелатчики.

Таким образом, в этой системе четырех катушек сердечник 2 приемного аппарата в точности воспроизводит („фотографирует“) все движения сердечника *I* передающего аппарата.

На этом принципе в аппаратах Брауна построена передача показаний на расстоянии.

Так как в этой схеме уравнительные токи создаются не за счет увеличения или уменьшения напряжения, а исключительно за счет изменения индуктивного сопротивления приемных и передающих соленоидов, колебания напряжения и частоты тока в практически допустимых пределах не оказывают никакого влияния на работу приборов.

Фирмой Браун гарантируется правильная работа приборов при колебании указанных факторов до $\pm 30\%$. Такая нечувствительность к изменениям напряжения достигнута без всякого усложнения механизма приборов и без необходимости применения трансформаторов — компенсаторов; она является характерной особенностью принципа „индуктивного мостика“, на котором основана конструкция этих приборов.

Вторым огромным преимуществом этой конструкции является отсутствие контактов и сопротивлений в цепях прибора, которые могут загрязняться и изменять свою величину под влиянием внешних факторов, что, конечно будет влиять на правильные показания приборов.

Третьим преимуществом этой конструкции является отсутствие тонких чувствительных деталей в виде механизма гальванометра, которые являются неотъемлемой частью других конструкций.

На рис. 78 изображены схемы соединений приемных и передающих приборов и включение линий от трехфазной сети.

Схема *A* применяется при расстояниях до 16 км. Линия переменного тока может быть включена к любому концу магистрали, соединяющей передающий и два приемных аппарата.

Схема *B* применяется для больших расстояний, когда питание магистрали может производиться в середине расстояния между передающими и приемными аппаратами.

Схема *C* применяется для расстояния до 48—50 км при включении только одного приемного прибора.

На схеме *D* изображено присоединение от группы передающих приборов, расположенных близко друг от друга, к группе также близко расположенных приемных приборов. При этой схеме можно сократить число соединительных проводов.

В таблице 5 приведены данные, относящиеся к сечению проводов в зависимости от расстояний и от схемы соединений; сечения даны в номерах американского калибра.

В соответствии с описанной схемой передачи показаний вносятся необходимые конструктивные изменения и в первичные приборы как передающие, так и принимающие показания.

Эти конструктивные изменения очень просты. В качестве индуктивных сопротивлений в приемных и передающих приборах имеются по два одинаковых соленоида, включенных по системе „тандем“. Внутри соленоидов передвигается сердечник из мягкого железа. Обмотки обоих соленоидов соединены последовательно с выведенной средней точкой их соединения. Сер-

Таблица 5

Сечение провода в номерах американского калибра

Расстояние		Схемы			
В милях	В км	A	B	C	D
1	1,61	16	16	16	16
2	3,22	16	16	16	16
3	4,83	14	16	16	14
4	6,44	14	16	16	14
5	8,05	12	14	16	12
6	9,66	12	14	14	12
7	11,27	10	14	14	10
8	12,88	10	12	14	10
9	14,49	10	12	14	10
10	16,1	10	12	14	10
12	19,3	—	10	14	—
14	22,5	—	10	12	—
16	25,7	—	10	12	—
18	29,0	—	10	10	—
20	32,2	—	—	10	—
30	48,3	—	—	10	—

Примечание. Провода № 10 сечение 5,261 мм²
 " № 12 " 3,309 "
 " № 14 " 2,081 "
 " № 16 " 1,309 "

дечник соленоидов в передающих приборах передвигается под влиянием изменения положения механизма передающего прибора. Сердечник соленоидов приемного прибора при помощи соответствующего механизма передвигает стрелку или перо приемного прибора. На рис. 79 изображен эскиз расположения манометров фирмы Браун с соответствующей схемой соединения приборов.

Все приборы фирмы Браун заключаются в водонепроницаемые кожухи. Соленоиды имеют обмотки из медной проволоки с эмалевой изоляцией.

Передающие приборы, изготавливаемые фирмой Браун, имеются в двух вариантах: 1) приборы только передающие и 2) приборы передающие и измеряющие. Отличие последних в том, что они имеют шкалу для отсчетов, в то время как первые этого не имеют. Приемные приборы выполняются в виде измеряющих или же записывающих аппаратов. Запись производится на круглых картах или на лентах, совершенно так же, как это имеет место в механических манометрах.

Передача показаний с помощью мостика Уитстона. Схема передачи показаний по этому методу изображена на рис. 80. Буквами SN указан магнит гальванометра; буквами D₁ и D₂ — две обмотки якоря гальванометра, помещенные крестообразно под

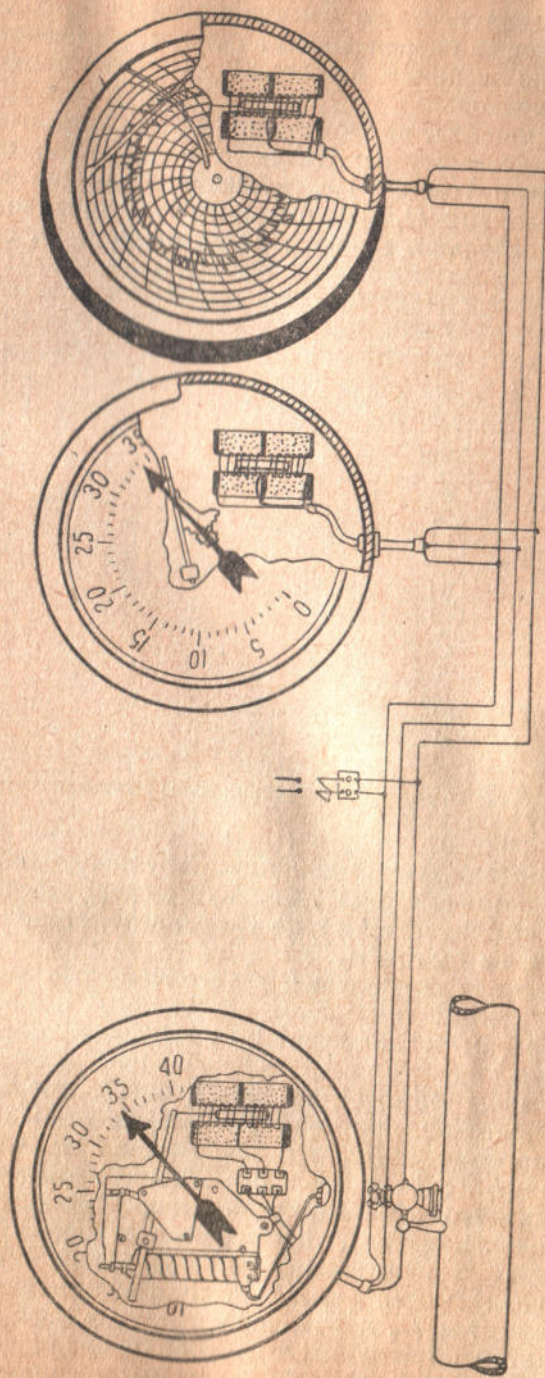


Рис. 79. Эскиз передающего и приемного манометра Брауна.

некоторым углом друг к другу и связанные вместе; X — изменяемое сопротивление в передающем аппарате; R — дополнительное сопротивление в приемном приборе; B — батарея аккумуляторов или элементов.

Рассмотрим процессы, происходящие при работе этой схемы.

Допустим, что система находится в равновесии; очевидно, это имеет место в том случае, когда вращающие моменты, развиваемые обмотками D_1 и D_2 , будут равны и противоположны по знаку. Действительно, если бы обмотки D_1 и D_2 создавали

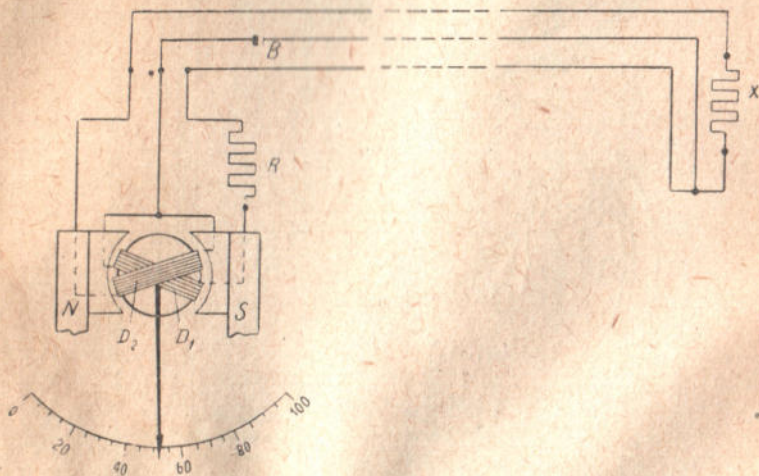


Рис. 80. Схема мостика с дифференциальным гальванометром.

бы магнитные потоки, направленные в одну какую-либо сторону, то вращающий момент обеих обмоток суммировался бы; якорь повернулся бы в одну сторону до упора, вследствие чего равновесия в системе не было бы.

Следовательно, для получения устойчивого равновесия необходимо, чтобы магнитные поля, создаваемые обмотками D_1 и D_2 были бы равны и направлены в противоположные стороны.

Магнитные поля обмоток якоря D_1 и D_2 в свою очередь зависят от силы токов, протекающих по обмоткам. В то время как сила тока в обмотке D_1 постоянна (при постоянном напряжении батареи B), сила тока в обмотке D_2 будет зависеть от величины введенного в передающий аппарат сопротивления X .

Следовательно, при каждом изменении величины введенного сопротивления X в передающем аппарате изменяется и сила тока в цепи плеча мостика BXD_2B . Соответственно изменению силы тока в обмотке D_2 изменится и величина магнитного поля, создаваемого этой обмоткой. Это в свою очередь изменит величину вращающего момента всей системы и передвинет якорь

приемного прибора в новое положение; при этом новом положении в силу изменившегося положения магнитных полей, созданных обмотками, вращающие моменты обмоток D_1 и D_2 уравновесятся и система придет в новое устойчивое положение, впрямь до нового изменения в сопротивлении передающего прибора.

Как видно, принцип измерения при помощи схемы остается тот же, что и в нормальном мостике Уитстона, применяемом, например, при термометрах сопротивления: отклонение стрелки приемного прибора зависит от величины введенного сопротивления в одном из плеч мостика. Отличие этой схемы от нормального мостика Уитстона заключается в конструкции гальванометра и способа включения его, а также отсутствия уравнительного провода, в который при обычной схеме включается гальванометр. Взамен уравнительного провода в этой схеме введено взаимодействие магнитных полей обмоток якоря гальванометра.

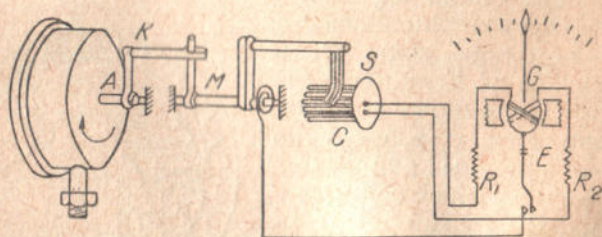


Рис. 81. Электрический передатчик Гартмана и Брауна.

К числу недостатков этого метода надо отнести следующие:

- 1) наличие изменяемого сопротивления, вынесенного к передающему прибору, влияет на точность показаний в зависимости от температурных изменений переменного сопротивления;
- 2) наличие контактов для включения сопротивления;
- 3) присутствие нежных деталей в виде механизма гальванометра.

В этой схеме допустимы колебания напряжения тока в $\pm 20\%$; в этих пределах они не вызывают неправильных показаний прибора. Правда, это преимущество достигнуто за счет усложнения конструкции гальванометра — введения второй обмотки.

В качестве сопротивления для плеч мостика употребляются в большинстве случаев сплавы с минимальными температурными коэффициентами сопротивления; подобными сплавами являются: константан, манганин, нейзильбер.

Постоянные сопротивления изготавливаются в виде катушек с бифилярной обмоткой из изолированной проволоки из указанных материалов.

Переменные сопротивления выполняются в виде маленьких реостатов, включаемых с помощью передвижных контактов.

На рис. 81 представлена схема передачи на расстояние показаний манометра; эта схема, построенная по принципу мостика Уитстона, осуществляется в приборах Гартмана и Брауна.

Этот электрический передатчик Гартмана и Брауна состоит из неподвижно установленного вала C , вокруг которого намотана равномерным слоем очень тонкая проволока сопротивления. По обмотке вала C скользит щетка из платиновой проволоки S , которая управляется первичным прибором — манометром A ; соединение манометра A со щеткой S осуществляется с помощью рычагов K и M . Щетка S делит проволоку сопротивления на две меняющиеся части. Соотношение обоих шунтовых токов определяется положением щетки. E — источник тока; R_1 и R_2 — сопротивления. Если передача на расстояние от одного передатчика производится одновременно на несколько приемных аппаратов, то два или четыре вала с сопротивлением и с их щетками соединяются в один многократный передатчик — отправитель.

Фирмой Сименс-Гальске разработана новая оригинальная конструкция изменяемого сопротивления. В этом приборе сопротивление из специального сплава заключено в стеклянную трубочку, согнутую в кольцо. Сопротивление, свернутое в спираль, занимает примерно половину кольца. Стекло на половину заполнено ртутью. Свободная от ртути часть кольца заполнена газом, например, водородом.

Кольцо укреплено на оси передающего прибора и при повороте последнего ртуть замыкает большую или меньшую часть витков спирали сопротивления накоротко. Подобный прибор изображен на рис. 82.

Гальванометр имеет, как было сказано, две обмотки на якоре прибора, расположенные крестообразно под некоторым углом. Пружин, возвращающих стрелку на ноль, у подобного типа гальванометра не имеется. При отсутствии тока в цепи стрелка



Рис. 82. Изменяемое сопротивление Сименс-Гальске и схема передачи показаний на расстояние.

останавливается в неопределенном положении. В остальном эти гальванометры не отличаются ничем от обыкновенных.

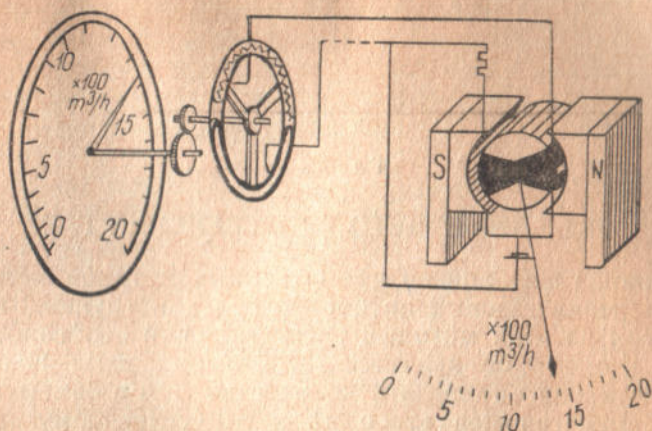


Рис. 83. Схема передатчика Сименс-Гальске.

Схема соединения гальванометра с крестообразными обмотками якоря и изменяемого сопротивления системы Сименс-Гальске указана на рис. 83.

Литература

1. А. Грамберг, Технические измерения при испытании машин и контроле их в производстве, т. I, вып. I и II, 1926.
2. Э. Оуэр, Измерения воздушных потоков, 1935.
3. E. Lunge и E. Berl, Chem.-Techn. Untersuchungsmethoden, 7 Aufl., I Bd. 1921.
4. В. Бертельман и Ф. Шустер, Введение в техническую обработку газовых веществ, 1935.
5. Mitteilungen der Wärmestelle.
6. Siemens — Gasmessgeräte, Siemens - Halske, A. G.
7. Б. Зотен, Измерения на расстоянии в металлургическом производстве, 1933.
8. А. К. Курицын и Л. Н. Слоним, Контрольно-измерительные установки на нефтеперегонных заводах, 1932.
9. А. С. Смирнов, Добыча газа, 1933.
10. Chal. et Industrie, № 176, 1934.
11. VDI, № 22, 1932.
12. L. Litinsky, Messung grosser Gasmengen, 1922.

Ссылки в тексте

1. GWF, № 16, стр. 294 — 295 1932.
2. „Кокс и Химия“, № 11, стр. 26 — 37, 1933.
3. VDI, № 22, 1932.
4. „Кокс и Химия“, № 7, стр. 85 — 86, 1935.



ОБЪЕМНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГАЗА

В данной главе описан ряд объемных методов количественного измерения газовых потоков и ряд конструкций приборов, основанных на этих методах. Отличительной особенностью этих методов и приборов является то, что они дают возможность непосредственно определять количество газа в объемных единицах, не прибегая для этого ни к искусственному изменению физического состояния газа, ни к определению каких-либо вспомогательных величин, как, например, скорости потока, перепада давлений и т. п.

К этой категории методов объемного измерения относятся следующие:

- А. Измерения в газгольдерах низкого давления.
- Б. Измерения в газгольдерах высокого давления.
- В. Измерения в газовых часах.
- Г. Измерения в ротационных приборах.

А. ИЗМЕРЕНИЯ В ГАЗГОЛЬДЕРАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Если добываемый или вырабатываемый газ направить по газопроводу в газгольдер, то газгольдер станет постепенно наполняться, и по степени его наполнения можно в любой момент судить об объемном количестве поступившего газа.

Этот метод определения количества газа был известен еще на заре развития газового дела, когда делались первые попытки сначала лабораторного, а затем промышленного производства и использования газов.

Этот метод сохранил свою практическую приложимость и до наших дней. При наличии газгольдера соответствующей емкости можно как в лабораториях, так и в крупно-промышленных масштабах в любое время произвести замер газа с необходимой в данных условиях точностью. Этот метод — самый простой и самый точный. Современный прогресс техники газгольдеростроения, позволяющий строить газгольдеры огромных емкостей (самый большой газгольдер в Чикаго имеет емкость 566 000 м³), многообразие их систем и конструкций и весьма богатое их техническое оснащение, дающее возможность механизировать и автоматизировать их работу, — в значительной

степени совершенствует и облегчает возможность использования газгольдеров для количественного учета промышленных газов.

Наиболее просто производить измерение объема газа в газгольдерах низкого давления мокрого и сухого типа (рис. 84 и 85). Все наблюдения при этом сводятся к точному фиксированию: степени наполнения (по высоте положения колокола мокрого газгольдера или поршня сухого газгольдера), давления газа и его температуры в газгольдере в момент начала измерения и тех же величин в момент окончания измерения.

Степень наполнения газгольдера отмечается по регистрирующему прибору, который обычно имеется на каждом газгольдере, или по рейке; давление газа замеряется по вод. манометру, установленному на вводимом газопроводе. Температура отмечается по термометру, установленному на том же вводимом газопроводе; при всех измерениях, требующих большой точности, а также при измерениях в открытых

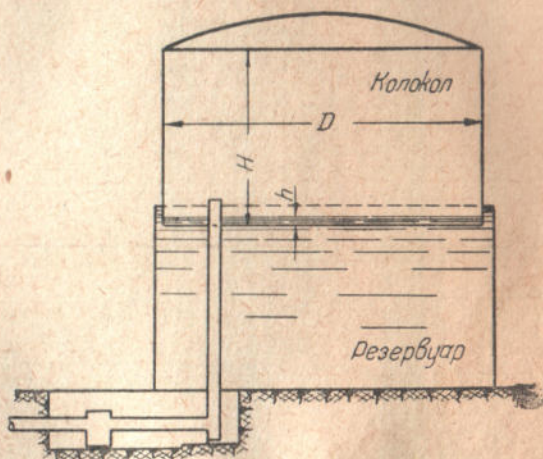


Рис. 84. Вертикальный разрез мокрого газгольдера.

газгольдерах, когда солнечные лучи или температура окружающего воздуха заметно отличаются от температуры газа внутри газгольдера, измерение температуры газа надо делать минимум в трех местах поверхности газгольдера, опуская термометры вглубь не меньше 300 мм от поверхности верхнего дна или цилиндра газгольдера; термометры должны иметь шкалу, разделенную на десятые доли градуса.

При таких измерениях должно, конечно, отмечаться барометрическое давление; надо знать также удельный вес газа, которым наполняется газгольдер.

Все измерения с крупными промышленными газгольдерами желательно производить в такое время дня, когда влияние температуры окружающего воздуха может быть наименьшим. Начинать наблюдения лучше тогда, когда газгольдер уже частично наполнен газом.

Зная поперечное сечение цилиндра газгольдера, высоту подъема колокола или поршня, температуру газа, его давление и барометрическое давление, — не трудно подсчитать объемы газа в газгольдере в момент начала и конца наблюдения, приведя эти объемы к нормальным условиям (0° , 760 мм); вычитание

полученных двух величин дает объем газа (при нормальных условиях), поступившего из газопровода за время наблюдения. Промышленные газгольдеры не могут быть, конечно, абсо-

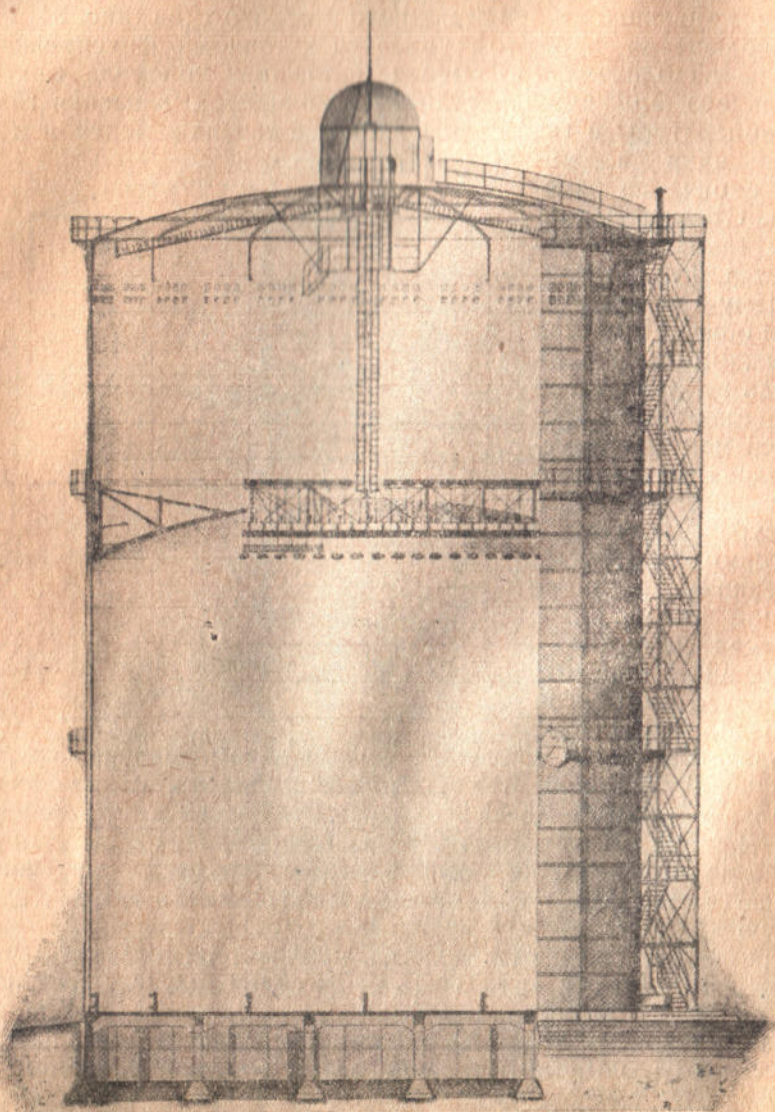


Рис. 85. Вертикальный разрез сухого газгольдера.

лютно герметичными; процент нормальной утечки определяется обычно при сдаче газгольдера в эксплуатацию и кроме того периодически через определенные промежутки времени; эту

утечку необходимо учитывать при подсчетах результатов измерений.

Элементарная простота такого рода измерений и подсчетов позволяет не останавливаться более подробно на измерении газов с помощью газгольдеров. Надо только указать, что, несмотря на перечисленные преимущества, этот метод количественного учета газа все же далеко не всегда применим на практике. Он совершенно не применим для измерения газов у малых потребителей (лаборатории, мелкие заводы, квартиры и т. п.). Он крайне затруднителен, а иногда и невозможен на крупных промышленных предприятиях, имеющих для данного вида газа только один газгольдер и работающих непрерывно; для измерения количества газа в этих условиях потребовалось бы приостанавливать работу или газопроизводящих, или газопотребляющих цехов. Кроме того, газгольдерный метод с одним газгольдером может позволить производить только одновременный замер газа, а не непрерывный; между тем именно непрерывность контроля количества газа обычно требуется на практике.

Непрерывность учета газа можно было бы осуществить, устанавливая не один, а минимум два газгольдера, из коих один служил бы для наполнения, а второй — для расходования газа; но дороговизна, громоздкость и прочие факторы лимитируют возможность установки нескольких газгольдеров с исключительной целью учета газа; современные достижения в области конструирования и изготовления различных систем и типов измерительных приборов дают полную возможность осуществлять учет газа иными путями.

Газгольдерный метод измерения в настоящее время все еще широко применяется в лабораторной практике для измерения небольших количеств газа и на контрольных станциях при калибровании измерительных приборов. Для этих целей устанавливаются специальные газгольдеры небольших размеров, позволяющие производить измерения с большой степенью точности.

На рис. 86 приведен разрез такого газометра.

Газ входит по трубке a , при этом колокол подымается; когда же газ выходит по той же трубке a , колокол опускается. Емкость измерительного колокола может быть установлена с достаточной точностью путем измерения размеров колокола или же экспериментальным путем. Колокол делается точно круглым,

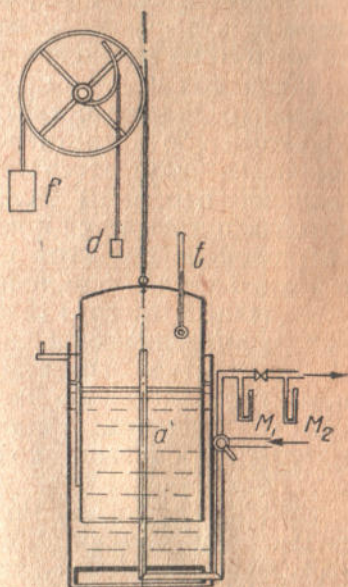


Рис. 86. Разрез газометра.

поэтому объем, соответствующий каждому измеренному ходу, известен. Уровень воды при этом роли не играет. Положение колокола можно отсчитать при помощи визира по одной, а для больших колоколов — по нескольким шкалам, расположенным по окружности колокола.

Необходимо также измерять давление газа в колоколе, а также атмосферное давление. Разница между давлением газа в колоколе и атмосферным давлением соответствует разнице уровней воды внутри и вне колокола. Эта разность давлений обусловливается весом колокола, если он не уравновешен противовесом f ; эта разность отсчитывается по водяному манометру M_1 и путем изменения противовеса f может быть доведена до желаемой величины. Избыточное давление газа (сверх атмосферного) должно оставаться постоянным при всех положениях колокола, ибо в противном случае равным передвижениям колокола не будут отвечать равные количества газа и потребуются излишние пересчеты. Если колокол опускается, то та его часть, которая погружается в воду, испытывает подъемную силу воды, вес колокола при этом падает, а наряду с этим и давление газа в колоколе; для компенсации этих изменений веса и давления устанавливается груз d , соединенный с переменным плечом рычага и выравнивающий изменения веса колокола.

Температура воды в приборе должна соответствовать температуре наружного воздуха, в противном случае нельзя точно установить температуру газа в сборнике (по термометру t). У больших колоколов это условие удается сохранить с трудом.

Емкость колокола можно просто определить следующим образом: при помощи шнура или рулетки измеряется наружная окружность колокола, по ней рассчитывается диаметр и из полученной величины вычитается двойная толщина стенки колокола. Влиянием температуры (расширением железа) можно в данном случае пренебречь; для колокола емкостью 30 м³ изменение поперечного сечения при изменении температур на 15° составило лишь 0,044%.

Движение колокола отсчитывают по одной или нескольким вертикальным шкалам, пользуясь увеличительным стеклом с визиром и крестом из ниток. При этом, однако, следует учитывать, что колокол может иметь слегка наклонное положение, что может повлечь за собой большую ошибку в отсчете высоты, особенно при большом диаметре колокола; целесообразно высоту положения колокола отсчитать в нескольких местах. Для одновременного точного определения положения колокола удобны приспособления с ввинченными стальными острями; в момент измерения они ударяют по рейкам, вертикально укрепленным на ведущих колоннах колокола, и при этом оставляют на них отчетливые царапины.

При очень медленном движении колокола надо следить за тем, чтобы не происходило его зависание от трения.

Перед опытом необходимо проверить, насколько герметична аппаратура колокола, так как нередко шибера или краны бывают недостаточно плотными. Лучше всего это можно проверить следующим образом: колокол заполняют газом или воздухом, шибера закрывают и в течение нескольких часов наблюдают, не меняется ли положение колокола. При этом следует учитывать влияние температуры: желательно, чтобы в течение таких исследований она оставалась постоянной. Нельзя также при этом упускать из виду неравномерность нагрева различных частей колокола солнечными лучами.

Б. ИЗМЕРЕНИЯ В ГАЗГОЛЬДЕРАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Относительно верное измерение количества газа может быть достигнуто нагнетанием газа в сборник известной емкости и наблюдением, на сколько возрастает при этом давление.

Этот метод применим для определения количества подаваемого газа или воздуха компрессорами, а также при эксплуатации газгольдеров высокого давления.

На рис. 87 дана схема установки двух газгольдеров высокого давления. По линии *a* поступает газ из компрессорной станции; по линии *b* газ направляется к потребителям; в работе могут находиться или оба газгольдера, или один из них.

Предположим, что надо определить количество газа, подаваемого компрессорной станцией, причем по ходу производства один из газгольдеров может быть безболезненно выключен для измерений. Отключив второй газгольдер от вводной магистрали, закрывают расходный вентиль на первом газгольдере и начинают наблюдать за повышением в нем давления. Отмечают в начале и конце наблюдения: а) давление, б) температуру газа в этом газгольдере, в) время наполнения.

Пусть V — геометрическая емкость газгольдера в m^3 ;

p_1 — начальное давление $кг/м^2$;

p_2 — конечное давление $кг/м^2$;

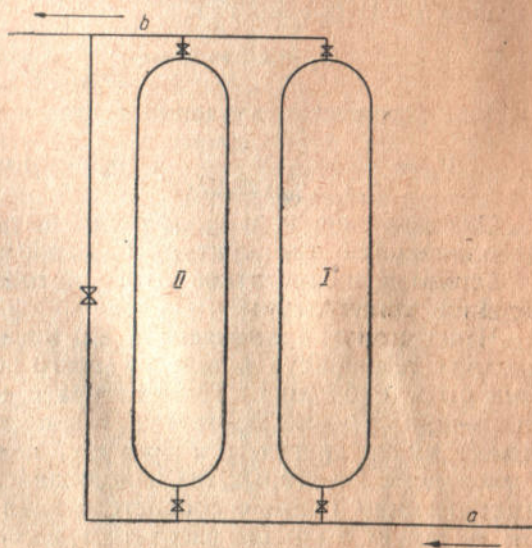


Рис. 87. Схема установки газгольдеров высокого давления.

T — абс. температура газа;
 γ — уд. вес газа (по воздуху = 1);
 $\gamma_{об}$ — вес единицы объема газа в кг/м³;
 R — газовая постоянная для воздуха, равная 29,27.

На основании уравнения:

$$G = \frac{V \cdot p \cdot \gamma}{29,27 \cdot T}$$

находим, что в начале наблюдения в газгольдере было газа:

$$G_1 = \frac{V \cdot p_1 \cdot \gamma}{29,27 \cdot T} \text{ кг,}$$

а в конце наблюдения:

$$G_2 = \frac{V \cdot p_2 \cdot \gamma}{29,27 \cdot T} \text{ кг;}$$

введено в газгольдер газа:

$$G_2 - G_1 = G = \frac{\gamma}{29,27} \cdot \frac{V}{T} \cdot (p_2 - p_1) \text{ кг.}$$

Отсюда количество введенного газа в объемных единицах:

$$V_0 = \frac{G}{\gamma_{об}} = \frac{\gamma \cdot V}{\gamma_{об} \cdot 29,27 \cdot T} \cdot (p_2 - p_1) \text{ м}^3 \text{ (при } 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм.)}$$

Оба давления p_1 и p_2 должны быть пересчитаны при этом на одинаковую температуру (в данном случае 0°).

Одним из недостатков этого метода является трудность измерения температуры.

Чаще всего применяемый на практике метод наблюдения средних температур в течение всего периода накачивания должен быть отброшен. Температура в сборнике не держится на постоянном уровне. Во-первых, газ, поступающий из компрессора, может иметь другую температуру, нежели газ, находящийся в газгольдере. Во-вторых, газ, находящийся в газгольдере, сжимается поступающим газом с соответствующим повышением температуры; ее можно было бы рассчитать, но большая часть этой теплоты передается стенкам сборника еще в течение опыта. Единоновременное отсчетывание температуры при разных давлениях тоже не помогает: один термометр с трудом показывает среднюю температуру, кроме того он слишком медленно следует за изменениями температуры, особенно, если он находится в футляре.

Можно получить более точные результаты, если отсчетывать давление после того, как выравнивание температуры закончилось; при наличии двух или вообще нескольких газосборников это осуществимо: наполняемый сборник можно отключить и ожидать, пока температура газа понизится и станет постоянной и только после этого производить окончательные наблюдения температуры и давления. Если газосборник только один, или по условиям производства отключить на достаточно продолжительное время сборник нельзя, то при таком методе измерения

надо измеряемый газ (подаваемый компрессором) или выпускать на воздух, или подавать в сеть помимо газосборника, что по условиям практики далеко не всегда допустимо.

При увеличении длительности наблюдения надо еще, конечно, учитывать герметичность газгольдеров или газосборников и при окончательном расчете вносить соответствующую поправку на утечку газа.

Измерять количество газа помощью газосборников высокого давления можно, конечно, и тогда, когда газгольдеров высокого давления нет; в таких случаях на нагнетательной линии компрессора устанавливают специальный сборник, на который переключают компрессор на период измерения.

Приводимый ниже пример может иллюстрировать определение производительности компрессора с помощью специально приспособленного для этой цели сборника.

Пример 9. Для нагнетания использовали неупотребляемый паровой котел, емкостью в 16,2 м³; для повышения давления в котле от 400 до 900 мм рт. ст. потребовалось 206 секунд; температура в котле была 22° С = 295° абс.

После окончания опыта давление в котле понизили приблизительно до 650 мм рт. ст. — среднее между 400 и 900 — и затем наблюдали, с какой скоростью падало это давление вследствие неплотности в котле. В течение 10 минут давление упало с 652 до 633 мм рт. ст., т. е. на 19 мм. Следовательно, потеря давления вследствие неплотностей при длительности опыта в 206 секунд составляет $\frac{19 \cdot 206}{10 \cdot 60} = 6,5$ мм. Если бы котел был вполне

герметичен, то компрессор в течение 206 секунд повысил бы в нем давление на $(900 - 400) + 6,5 = 506,5$ мм рт. ст.

Эти 506,5 мм рт. ст. были определены при температуре 22°; при 0° это давление равно 504 мм (таблица 1 „Приложения“); удельный вес ртути при 0° равен 13,56, отсюда 504 мм рт. ст. = 504 · 13,56 ≈ 6850 мм вод. ст. ≈ 6850 кг/м².

Испытание производилось с воздухом. Подставляя найденные величины в выведенную формулу, получаем:

$$V_{0,760}^{\circ} = \frac{\gamma \cdot V}{1,293 \cdot R \cdot T} (p_2 - p_1) = \frac{1 \cdot 16,2 \cdot 6850}{1,293 \cdot 29,27 \cdot 295} = 9,94 \text{ м}^3.$$

Продолжительность нагнетания была 206 сек., откуда производительность компрессора:

$$9,94 : 206 = 0,0483 \text{ м}^3/\text{сек} = 173,7 \text{ м}^3/\text{час}.$$

В. ГАЗОВЫЕ ЧАСЫ

Газовые часы являются одним из старейших типов приборов для измерения объемных количеств газа; основные принципы работы газовых часов мокрого типа были разработаны еще в начале прошлого столетия. Несмотря на это, газовые часы

самых разнообразных конструкций, систем и размеров продолжают весьма широко применяться до сих пор в лабораторной практике, на станциях для проверки и калибрования других измерительных приборов и для измерения газа в квартирах, домах и вообще у мелких потребителей газа.

Газовые часы по своей конструкции делятся на два основных типа: 1) мокрые газовые часы и 2) сухие газовые часы; первые работают с гидравлическим затвором, вторые — без него.

Каждый из этих основных типов газовых часов имеет в свою очередь целый ряд разновидностей; известны в настоящее время часы с одним циферблатом и с двумя циферблатами

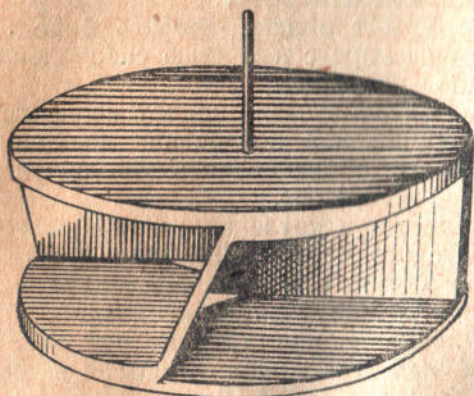


Рис. 88.

для учета, например, дневного и ночного расхода газа; известны часы-автоматы, отпускающие газ в строго определенном количестве после опускания в автомат монет; мокрые часы различаются по методу пополнения убыли воды и т. д.

Работа всех типов и разновидностей газовых часов основана на непрерывном отсчете равных объемов газа; число этих равных объемов прошедшего через часы газа регистрируется счетным механизмом; по показаниям счетного меха-

низма можно судить об общем объемном количестве газа, прошедшем через часы за данный промежуток времени.

Мокрые газовые часы. Принцип, положенный в основу этого вида измерителей газов, был указан еще И. Маламом (I. Malam) в 1819 г; применяемая в настоящее время форма основной части газомера — барабана — дана была Крослеем (J. Crosley).

На рис. 88 дана фотография барабана Крослея. На рис. 89 изображены газовые часы с барабаном Крослея в продольном разрезе и их вид сзади. Собственно измерительный барабан у этих приборов находится внутри цилиндрического, чаще всего чугунного кожуха G , герметически закрытого спереди передней крышкой VD , а сзади — задней крышкой RD . Барабан покоится на двух опорах L_1 и L_2 , укрепленных на крышках кожуха. Движение измерительного барабана при помощи передачи J передается на счетный механизм, установленный в ящике U ; шпindelь счетного механизма для этой цели пропускается через сальник, устроенный в дне корпуса часов.

Основная часть газовых часов — барабан — изготавливается из луженого или оцинкованного листового железа; швы барабана

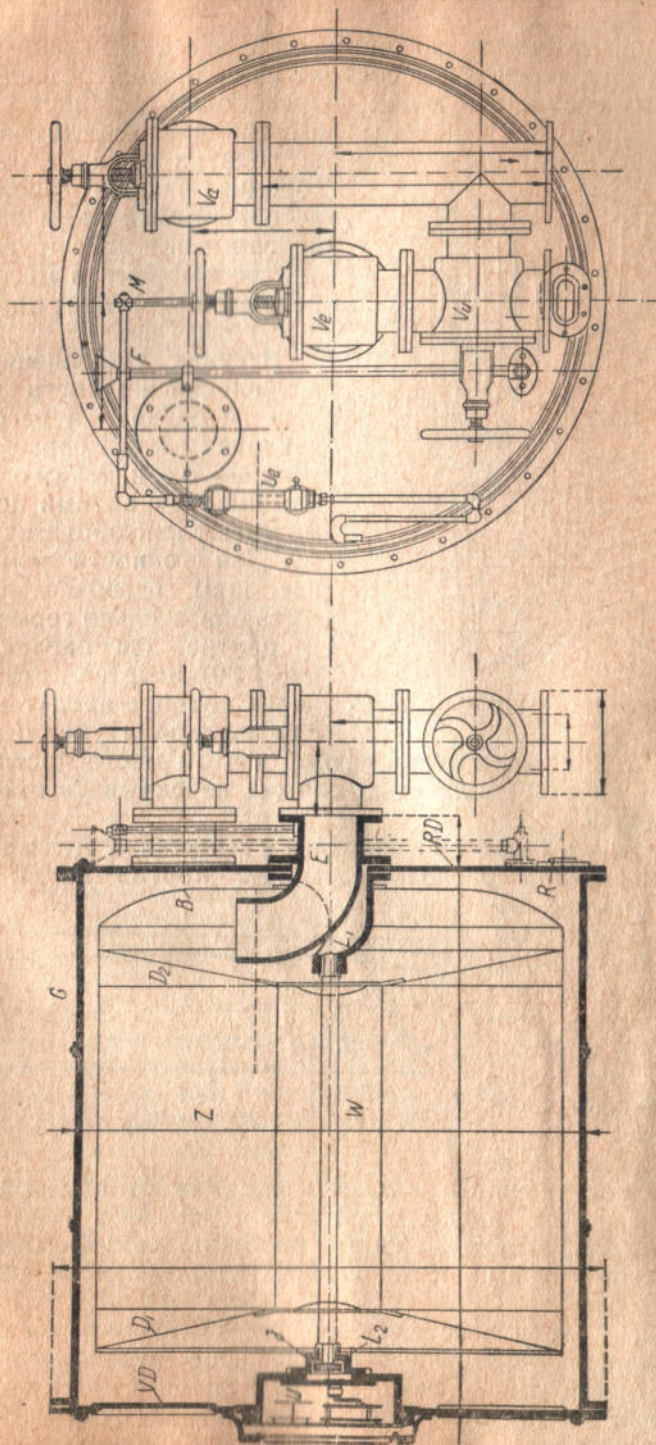


Рис. 89.

крупных газовых часов заклепываются и герметически запаиваются. Барабан в основном состоит из цилиндра, разделенного посредством соответствующих перегородок Z (рис. 90) на четыре камеры. Сбоку камеры разграничиваются двумя перекрывающимися лопатками D_1 и D_2 ; лопатки отходят от перегородок в обе стороны под

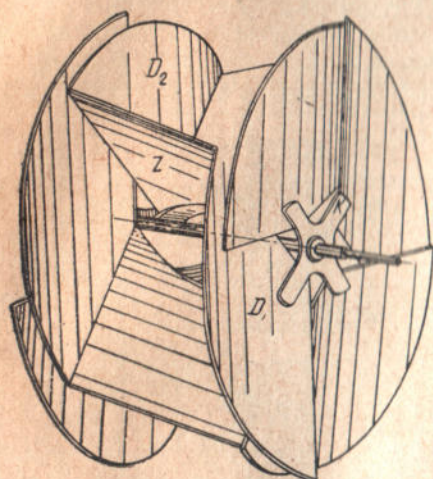


Рис. 90. Боковой вид барабана Крослея.

наибольшим наклоном и слегка перекрывают друг друга. Щели, остающиеся в местах перекрывания, служат для входа и выхода газа.

В целях уменьшения сопротивления жидкости движению барабана перегородки наклонены к оси барабана под углом $\sim 70^\circ$, и, таким образом, они вместе с обеими лопатками имеют винтообразную форму. Для точности измерений все швы барабана должны быть обязательно герметичны. В центре дна барабана (B , рис. 89) имеется отверстие, через которое входят в барабан вводной штуцер E и ниж-

няя опора L_1 . Гидравлический затвор в этом месте достигается жидкостью, которая полностью должна перекрывать отверстие в дне барабана.

Образованные лопатками впускная и выпускная щели должны быть таким образом расположены друг против друга, чтобы всегда одна из них была закрыта жидкостью, пока вторая открыта; в противном случае газ просто будет протекать через барабан, не приводя его в движение. Кроме того, эти щели должны быть устроены таким образом, чтобы при погружении в жидкость входной щели одной камеры, выходная щель предыдущей камеры не сразу закрывалась; таким образом, всегда должны работать одновременно две камеры, чтобы газовый поток не прекратился при любом положении барабана.

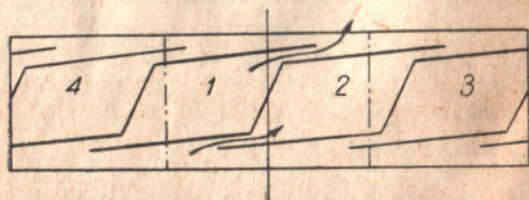


Рис. 91. Схема работы барабана Крослея.

Принцип и схема действия барабана изображены на рис. 91, представляющем развертку барабана. Обе пунктирные линии показывают границы водяного зеркала; средняя часть барабана, ограниченная этими двумя линиями, лежит над жидкостью, вся

остальная часть лежит в жидкости. Для большей ясности на рисунке не показано дно барабана, которое служит лишь для образования предварительной камеры для входящего газа. В представленном на рисунке положении камера 1 находится в стадии опорожнения, камера 2 — в стадии заполнения газом. При дальнейшем вращении барабана в направлении стрелки входная щель камеры 2 закроется, входная щель камеры 3 откроется, а выходная щель камеры 1 еще короткое время останется открытой; в данный момент работают, таким образом, камеры 1 и 3 вместе, причем до тех пор, пока не закроется выходная щель камеры 1 и одновременно откроется щель камеры 2; после этого повторяется вышеописанный процесс, но уже для камер 2 и 3.

Движение барабана происходит вследствие разности давлений газа между входной и выходной стороной газовых часов. Так как давление газа при входе выше, чем при выходе, то газ производит давление на перегородку между камерами 1 и 2 и приводит барабан в движение.

За один оборот барабана измеряется объем газа, соответствующий емкости четырех камер, или, короче говоря, емкости барабана. Отсюда ясно, что для сохранения постоянства и точности показаний газовых часов емкость барабана, положенная в основу показаний счетного механизма, должна быть постоянной.

Насколько велика может быть погрешность в показаниях мокрых часов от изменения уровня жидкости — видно из опытных данных Эльстера, нашедшего, что при понижении уровня жидкости на 10 мм против нормального ошибка в показаниях больших часов станционного типа увеличивается от 3,5% до 5% (в сторону уменьшения показаний), а в небольших часах квартирного типа — от 6 до 8%.

В небольших часах эта убыль воды должна пополняться периодически (ежемесячно) доливанием воды до отметки. В крупных часах доливание воды для поддержания постоянства уровня гидравлического затвора осуществляется автоматически, для чего часы снабжают специальным переливом (U_e на рис. 89). Для непрерывного возмещения убыли жидкости, теряемой на испарение и т. п., она непрерывно по каплям притекает через трубку F . В случае избыточного притока жидкости она автоматически стекает по переливу, установленному на постоянном уровне. При этом следует иметь в виду, что жидкость внутри барабана и вне его устанавливается на разных уровнях соответственно разным давлениям при входе и выходе газа. Но решающим для точности измерения является уровень жидкости внутри измерительных камер, поэтому необходимо следить за тем, чтобы в переливе господствовало то же давление и, следовательно, тот же уровень жидкости, что и внутри барабана. Это достигается тем, что со стороны входа газовые часы соединяются с переливом посредством манометрической трубки M ;

таким образом, перелив находится под тем же давлением, что и газ при входе.

На рис. 92 отдельно изображен так называемый перелив Кинга, конструкции Пинча. Он состоит из цилиндрического сосуда *a*, верхняя часть которого *g* соединена с газовыми часами. Выступающая внизу трубка снабжена кольцом *c*, которое устанавливается на высоте уровня жидкости в часах. Сосуд *a* снабжен спускной трубой *d*; внутри его установлена опущенная в жидкость трубка *e*, доходящая почти до дна и окружающая внутреннюю трубку *b*. Высота перелива может меняться.

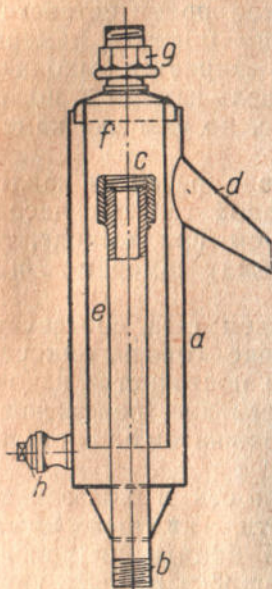


Рис. 92. Перелив Кинга.

Газовые часы обычно еще снабжаются дифференциальным манометром, одно колено которого соединяется с входным, а другое — с выходным газопроводом часов. Таким образом, по манометру можно сразу отсчитать разность давлений, даваемую газовыми часами. В корпусе часов должен быть спускной кран и достаточно большой люк для чистки (у дна кожуха). У входа и выхода устанавливаются манометры.

Часы должны устанавливаться строго горизонтально — по уровню.

Надо выбирать газовые часы из расчета максимального производства или потребления газа в сутки, причем, как правило, барабаны маленьких и средних размеров часов нормально должны делать 100 — 120 оборотов, а у больших — 80 и 70 оборотов в час; при большем числе оборотов происходит слишком большая потеря давления. В исключительных случаях допустима перегрузка до 30% нормальной мощности без существенного нарушения точности измерения.

Емкость барабана *J* для газовых часов средней величины при *Q* = максимальной производительности в 24 часа получается

$$J = \frac{Q}{24 \cdot 100}.$$

Пропускная способность газовых часов может быть определена по формуле:

$$Q = n \cdot b \cdot \pi \cdot \left(\frac{d^2}{4} - h^2 \right),$$

где *Q* — часовое количество газа в *м³*;
n — число оборотов барабана в час;
b — длина барабана в *м*;

d — диаметр барабана в m ;

h — высота уровня жидкости над осью барабана в m .

Для газовых часов с числом оборотов 100—120 в час емкость барабана принимается максимум 15 m^3 . Для больших барабанов, емкостью до 30 m^3 , число оборотов в час должно составлять около 80—90, для еще больших—70—80 оборотов. Барабаны конструкции Крослея можно изготовлять с полезной емкостью в 100 m^3 , что соответствует производительности в 6500 до 7000 m^3 в час.

Приведенные выше предельные числа оборотов барабана в час взяты на основании опытных наблюдений. Издавна работали над тем, чтобы создать такие конструкции барабанов, которые при такой же потере давления разрешали бы делать большее число оборотов. Преимущество такой конструкции состояло бы в том, что для той же производительности требовалась бы меньшая емкость барабана и вместе с тем газовые часы были бы меньше размером и дешевле.

Барабан, так называемый „Дуплекс“, представляет собой подобного рода попытку. Как показывает само название, он состоит из двух соединенных меж собой отдельных барабанов. Оба барабана заключены в общий цилиндр и в отличие от вышеописанного барабана Крослея каждый из них состоит из трех камер.

Кроме того, оба барабана смещены один относительно другого на половину деления, т. е. на 60° . Недостаток этой конструкции барабана состоит в том, что ее можно изготовлять лишь для газовых часов средней производительности, а именно, до 1500 m^3 в час, что соответствует емкости барабана в 10 m^3 . Способ действия обоих комбинированных барабанов такой же, как барабана Крослея.

Чем больше диаметр барабана, тем неблагоприятнее получается отношение между часовой производительностью и емкостью барабана; отсюда очевидно, что для конструкций больших барабанов существует предел, дальше которого увеличение емкости барабана не представляет ни практических, ни экономических выгод.

Эти затруднения преодолены так называемым многократным барабаном. В основе его конструкции лежит следующее соображение: барабаны с маленьким диаметром при одном и том же числе оборотов вызывают меньшую потерю давления, чем барабаны с большим диаметром, ибо у последних быстро возрастает окружающая скорость, с которой вода проходит через перегородки. При измерении больших количеств газа получится меньшая потеря давления в том случае, если газ измерять в нескольких параллельно включенных маленьких счетчиках вместо одного счетчика с барабаном большого диаметра. Если все маленькие барабаны поместить не в отдельный кожух каждый, а все вместе поместить в один кожух на общем валу, то мы придем к принципу многократного барабана.

На рис. 93 изображен продольный разрез газовых часов с многократным барабаном. Ради большей отчетливости на рисунке только частично показано деление барабана на пять камер. Из рисунка ясно, что барабаны расположены так же, как в газовых часах с барабаном Крослея. В остальном конструкция этих счетчиков аналогична вышеописанным. Следует еще упомянуть, что барабаны не обязательно делать пятикамерными. В некоторых случаях, а именно тогда, когда имеющаяся в распоряжении площадь не разрешает ставить длинный счетчик, больше подходит трехкамерный барабан с соответственно большим диаметром.

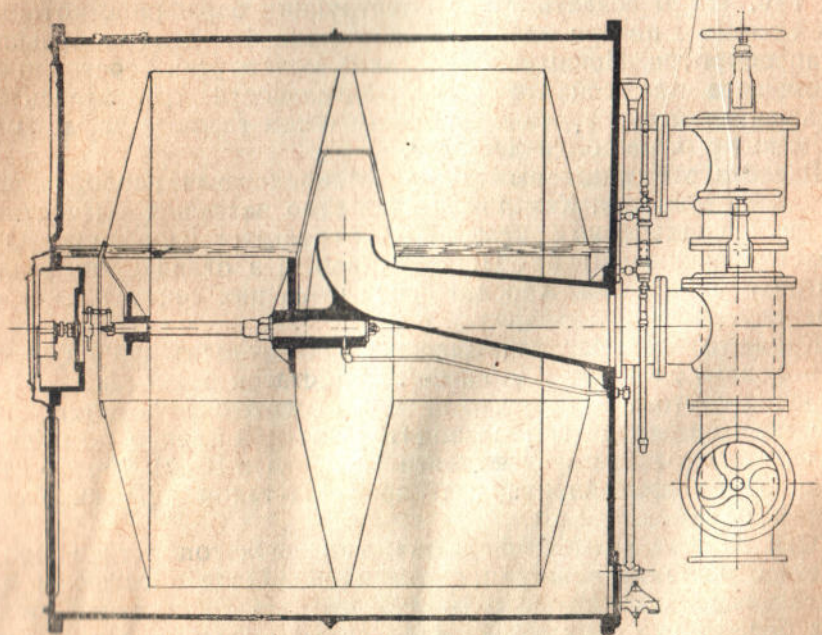


Рис. 93. Мокрые газовые часы с многократным барабаном.

Преимущества многократных барабанов, согласно данным Мозера, целиком подтвердились на практике в течение 6 лет применения на производстве. Кроме большей скорости, с которой работают эти барабаны, потеря давления в них при максимальной производительности значительно меньше, чем для простого барабана Крослея с такой же полезной емкостью. С этим типом барабанов можно изготовлять газовые часы с емкостью барабана в 90 м^3 и часовой производительностью в 10000 м^3 .

Несколько иной тип мокрых газовых часов был предложен в последнее время Толленсом. Измерение газа в измерителе Толленса (рис. 94 и 95) производится таким образом: погруженные в жидкость колокола c_1 , c_2 , c_3 и c_4 поочередно наполняются газом и затем, по достижении определенной высоты, содержи-

мое их выпускается в отводящее пространство. Огмеряемое каждым колоколом количество газа определяется, с одной стороны, положением уровня воды в приборе, а с другой стороны — высотой подъема колокола. Полуциркулярные коромысла w_1 и w_2 служат для направления движения колоколов; вместе с тем они передают движения счетчику. Трубки $k_1 \dots$ до k_4 и $l_1 \dots$ до l_4 служат для распределения поступающего газа.

Следующая табличка дает описание схемы работы прибора по рис. 94 и 95:

к рис. 94:

колокол c_1 в наивысшем положении; окончание наполнения из трубки l_1 и начало передачи в колокол c_4 ;

колокол c_2 в самом низком положении; окончание передачи в колокол c_4 и начало наполнения из трубки l_2 ;

колокол c_3 идет вниз, выпуская газ по трубке k_3 в главный газоотвод; колокол c_4 идет вверх, наполняясь газом по трубкам l_1 и k_4 .

К рис. 95 (отличается на $1/2$ оборота от предыдущего):

колокол c_1 идет вниз, оканчивая передачу в c_4 и начиная передачу в c_3 ;

колокол c_2 идет вверх, наполняясь по трубке l_2 ;

колокол c_3 в самом низком положении; окончание выдачи в газоотвод и начало наполнения из c_1 ;

колокол c_4 в наивысшем положении; окончание наполнения из c_1 и начало выдачи в газоотвод.

Последующие этапы работы прибора ясны, являясь логическим продолжением описанных.

В этом приборе измерительные колокола движутся вертикально, сопротивление воды минимальное, и скорость может меняться в широких пределах без нарушения точности измерения.

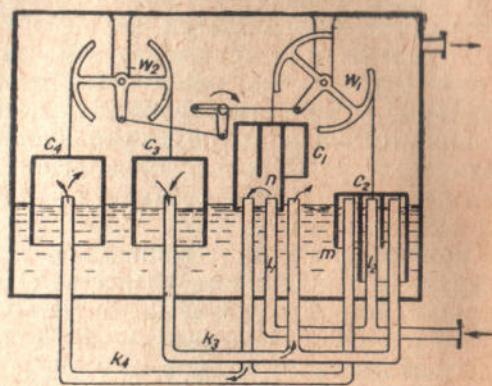


Рис. 94. Колокольный газомер Толленса.

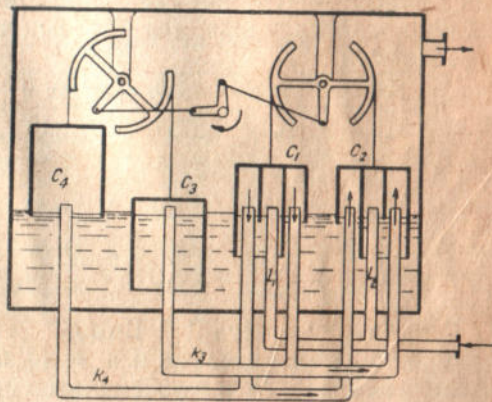


Рис. 95. Колокольный газомер Толленса.

Как правило, в качестве гидравлического затвора для вышеописанных мокрых газовых часов применяется вода. Если счетчики подвергаются опасности замерзания, то к воде прибавляют минеральные соли или глицерин; добавление минеральных солей (хлористого магния) хотя и понижает температуру замерзания воды, но влечет за собой усиление коррозии. Даже чистая вода с течением времени разъедает тонкие стенки барабана и тем самым или искажает точность показаний часов или выводит их из строя на ремонт; как известно, содержащиеся в газе кислород, сернистые соединения, циан и даже углекислота в присутствии воды резко увеличивают свою способность разъедать железо. С целью ослабления коррозирующего действия воды рекомендуется добавлять к ней соду, из расчета 2 г Na_2CO_3 на 1 л воды.

Добавление к воде глицерина, а еще лучше, полная замена всей воды глицерином, трансформаторным маслом или специальным маслом для газовых часов, — полностью устраняет опасность разъедания железа; недостатком применения таких заменителей является то, что они увеличивают сопротивление часов и требуют в связи с этим увеличенного давления газа до часов.

В случае применения глицерина, необходимо проверять его нейтральность, — в нем не должно быть кислот. Насколько велик может быть расход глицерина, показывает следующая таблица, составленная для газовых часов небольшой пропускной способности:

Для 3—рожковых	(450 л/час)	— 9 л	или 10,25 кг	глицерина
„ 5	(750 „)	— 13 „	„	15,00 „
„ 10	(1500 „)	— 22,5 „	„	25,60 „
„ 20	(3000 „)	— 43 „	„	49,00 „
„ 30	(4500 „)	— 66,5 „	„	74,00 „
„ 50	(7500 „)	— 92,5 „	„	105,50 „

Глицерин уд. веса 18° Бомэ.

Если в газовых часах вся вода заменяется свежей (например, после ремонта), то во избежание ошибок в показаниях часов надо предварительно пропустить через них столько газа, чтобы вода смогла полностью им насытиться, и только после этого начинать запись показаний.

Большие газовые часы стационарного типа, устанавливаемые на газовых заводах или у крупных потребителей газа, должны снабжаться обходным трубопроводом, устройство которого ясно видно на рис. 89. Он состоит из двух угловых вентилях V_e и V_a , одного двухходового вентиля V_u и фасонных соединительных труб; его назначение — иметь возможность включать и выключать газомер без нарушения работы завода. Нормально, при включенном газомере, газ проходит через V_u , а затем через входной вентиль V_e и колено E в барабан газомера; выйдя из

барабана, газ проходит штуцер кожуха и через выпускной вентиль поступает в заводскую магистраль. Если требуется выключить газомер,—открывают обходной вентиль V_u , а остальные два вентиля закрывают; тогда газ непосредственно через V_u попадает в заводскую магистраль. Таким образом, можно чистить и ремонтировать газомер, ни в малейшей мере не нарушая производства. Выключение газомера, как и включение его при наличии обходного трубопровода может быть проведено в течение нескольких минут. При выключении газомера следует раньше открыть обходной вентиль V_u и затем закрыть один за другим вентиля V_e и V_a ; при пуске в ход сначала открывают вентиль V_a , затем V_e и, наконец, медленно закрывают вентиль V_u ; таким образом избегается резкое толчкообразное поступление газа в счетчик, что легко могло бы вызвать разрушение барабана.

Как было уже указано, пропускная способность изготавливаемых в настоящее время мокрых газовых часов колеблется в сравнительно широких пределах—до 12 000 м³/час. Соотношения основных размеров этих приборов для одной и той же пропускной способности бывают разные и определяются конструктивным оформлением отдельных элементов. На прилагаемых трех таблицах приведены основные размеры газовых часов, изготавливаемых различными иностранными фирмами.

Таблица 6

Основные размеры газовых часов (по Эльстеру)

Пропускная способность м ³ /час	Емкость барабана м ³	Корпус		Вводной и выводной газопровод (внутренний диаметр) мм
		Наружный диаметр мм	Длина внутренняя мм	
30	0,30	950	960	80
60	0,60	1160	1155	100
90	0,90	1460	1155	125
120	1,20	1460	1375	150
150	1,50	1615	1430	150
200	2,00	1835	1530	175
250	2,50	1835	1780	225
300	3,00	1835	2130	250

В последнее время корпус больших стационарных часов стали изготавливать не чугуном, а из листового железа с тщательной окраской снаружи и внутри. Корпус делается составным из двух половин; при снятии верхней части барабан часов как и счетный механизм обнажаются и становятся доступными для осмотра, очистки и мелкого ремонта без вынимания. Такой корпус значительно легче и дешевле чугунного.

Таблица 7

Основные размеры газовых часов (по Ширмеру—Рихтеру)

Пропускная способность $м^3/час$	Обыкновенные стационарные часы			Стационарные часы с двойным барабаном		
	Корпус		Вводной и выводной газопровод (внут. диаметр) $мм$	Корпус		Внутренний диаметр вводного и выводного газопровода $мм$
	Наружный диаметр $мм$	Длина общая $мм$		Наружный диаметр $мм$	Длина общая $мм$	
90	1380	1320	150	1235	1125	125
120	1480	1490	150	1380	1155	150
150	1580	1620	150	1480	1300	175
180	1730	1670	200	1580	1340	200
210	1820	1800	200	1580	1540	200
250	1820	1960	200	1730	1560	200
300	2030	1960	250	1820	1585	250
450	2300	2350	250	2110	1940	250
500	2300	2500	300	2110	2140	250
750	2710	2680	300	2500	2350	300
1000	2930	2980	400	2720	2900	350

Таблица 8

Основные размеры газовых часов и потеря давления в них¹

Пропускная способность $м^3/час$	Длина прибора $мм$	Диаметр прибора $мм$	Вес в $кг$	Потеря давления в $мм$ вод. ст.
30	605	730	575	10
50	850	800	875	10
100	1070	1070	1470	10
1000	2185	2185	9500	35
3000	3295	3295	24000	55
5000	4095	4095	46000	60
7000	4590	4590	64000	65
10000	9350	5350	85000	80

Срок службы мокрых часов принимается в среднем 15—20 лет; в случае применения вместо воды глицерина или масла этот срок службы может быть удлинён и принят до 30 лет, и даже выше^[2].

Сухие газовые часы. Сухие газовые часы представляют собой маленькую поршневую машину. Они состоят из металлического корпуса, разделенного на три части: I, II и III (рис. 96, 97, 98, 99). В верхней части I собран распределительный механизм, состоящий из двух золотниковых коробок, наподобие таковых у паровых машин, а в боковых частях II и III помещены кожаные камеры определенной емкости, раздувающиеся по мере поступления в них газа наподобие мехов. Распреде-

тельный механизм системой рычагов связан с кожаными камерами. По мере наполнения или опорожнения кожаных камер золотниковые окна открываются и закрываются, направляя газ

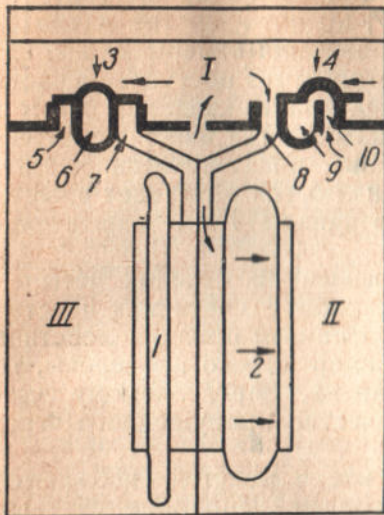


Рис. 96. Схема работы сухого газового счетчика.

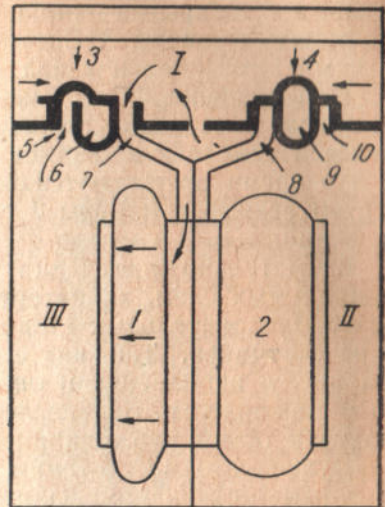


Рис. 97. Схема работы сухого газового счетчика.

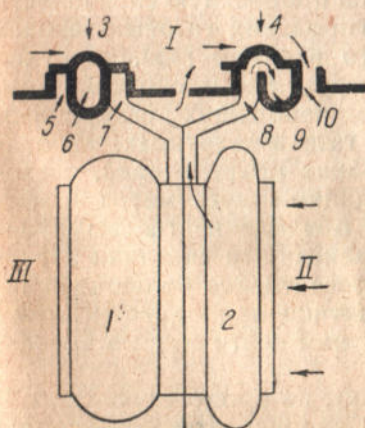


Рис. 98. Схема работы сухого газового счетчика.

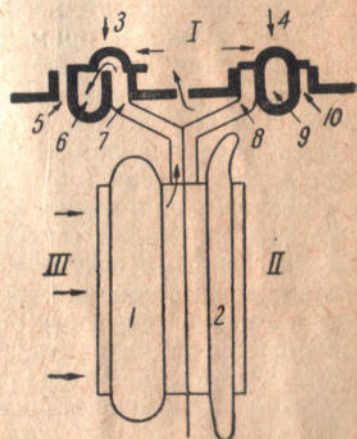


Рис. 99. Схема работы сухого газового счетчика.

то в кожаную камеру, то в коробки II и III, то в питательную линию.

В положении распределительного механизма, изображенном на рис. 96, газ, поступающий из газопровода в часть I, через золотниковое окно и канал 8 поступает в кожаную камеру 2.

По мере наполнения камеры 2 золотниковая крышка 4 передвигается справа налево, постепенно суживая и наконец совершенно закрывая доступ газа в камеру 2 (рис. 97). Одновременно с движением золотниковой крышки 4 влево продвигается и крышка 3, открывая окно и канал 7, по которым газ начинает поступать в камеру 1. В момент опорожнения камеры 2 (рис. 98) открываются окно и канал 10, по которым газ поступает в часть II. Под давлением газа камера 2, соединенная каналами 8 и 9 с выходом, постепенно сжимается, пока весь газ из нее не вытеснится и камера 2 не займет положение, показанное на рис. 99. В это время открываются окно и канал 5, газ поступает в часть III, вытесняя из камеры 1 газ через каналы 7 и 6 в питательную линию.

Внимательно проследив за направлением стрелок четырех приводимых схем, характеризующих работу счетчиков в четырех последовательных стадиях, легко понять принцип действия этих счетчиков. Так как емкости камер строго проверены, то по числу наполнений и опорожнений их, определяемому счетным механизмом, определяется количество пропущенного через счетчик газа в куб. единицах.

Сухие газовые счетчики, так же как и мокрые, снабжаются счетным механизмом, сконструированным наподобие счетных механизмов водяных счетчиков. Чтение показаний производится так же.

Если мокрые газовые часы, как было уже указано в предшествующем разделе, изготавливаются на пропускную способность до $12\,000 \text{ м}^3/\text{час}$ и применяются на городских газовых заводах для измерения всего вырабатываемого заводом газа, то сухие газовые часы, благодаря своим конструктивным особенностям, изготавливаются почти исключительно небольших размеров и применяются для измерения расхода газа в квартирах, лабораториях, мастерских и т. д., т. е. у мелких потребителей, расходующих газ единицами или даже долями куб. метра в час. Отсюда понятно, что их называют в обиходе не газовыми часами, а газовыми счетчиками. Устанавливая эти счетчики параллельно, можно, конечно, измерять соответственно большие количества газа; в некоторых случаях практики приходится к этому прибегать и производить учет газа сухими счетчиками в небольшом заводском масштабе.

Сухие газовые счетчики изготавливают на пропускную способность от $0,5$ до $150 \text{ м}^3/\text{час}$, причем допускается перегрузка до 50% ; отсюда видно, что, устанавливая параллельно, например, два счетчика по $150 \text{ м}^3/\text{час}$ каждый, можно измерять количество газа до $450 \text{ м}^3/\text{час}$.

Небольшие количества газа — 25 литров в час и меньше — сухими счетчиками не измеряются, вследствие недостаточной плотности золотникового переключения.

Корпус счетчиков изготавливается или из кровельного железа с тщательной запайкой швов, или из чугуна. Счетчики с желез-

ным корпусом могут быть устанавливаемы тогда, если давление газа не превышает 300 мм вод. ст.; при давлении газа, превышающем 300 мм вод. ст., надо устанавливать счетчики с чугунным корпусом, если, конечно, счетчик устанавливается в таком месте, где утечка газа через неплотности корпуса имеет значение и допущена быть не может.

Изготовление счетчиков с чугунным разборным корпусом началось в связи с ростом использования природных газов, а также выраженной за последние годы тенденцией к повышению давлений в городских сетях выше старых стандартных норм — 150 — 200 мм вод. ст. максимум. При повышении давления в сети до 600—700 мм вод. ст. и даже выше установка железных счетчиков, для которых давление в 300 мм вод. ст. составляет предел, — является недопустимым.

Весь чугунный корпус отливается из отдельных частей: основного корпуса и трех съемных крышек, прикрепляемых к корпусу на прокладках болтами (рис. 100).

Кроме большой сопротивляемости чугунные счетчики обладают следующими преимуществами: 1) легко разбираются, что значительно упрощает ремонт и регулировку; 2) во многих случаях, особенно при применении для особняков и в небольших городах, представляется возможность счетчики устанавливать вне помещения, на дворе. Чугунные счетчики при этих условиях более устойчивы, чем железные, быстро разрушающиеся от ржавчины. При указанных достоинствах они обладают одним основным недостатком — опасность утечки. Так как крышки прикрепляются к корпусу на прокладке болтами, то едва ли можно в этом случае достигнуть такой же непроницаемости, как в железных, целиком запаянных.

Эти последние в свою очередь обладают следующими недостатками: быстрая порча их при установке снаружи и малая сопротивляемость давлению.

Наибольшее распространение получили счетчики с двумя мехами, но известны также конструкции с тремя мехами и, наконец, с одним мехом, разделенным на две камеры.

Меха или камеры изготавливаются из специальной обработанной кожи, пропитанной маслом; для пропитки применяют обычно касторовое масло. В последнее время стали для этой цели применять специальное масло, имеющее при комнатной температуре консистенцию коровьяго масла, а при 40° С остающееся еще густым. Процесс пропитывания таким маслом ведется в специ-

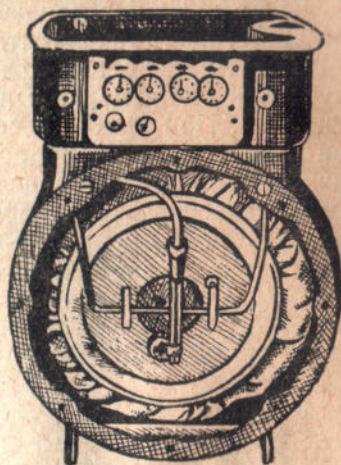


Рис. 100. Газовый счетчик с чугунным корпусом.

альной ванне при 40°C в течение 48 часов; при такой пропитке маслом заполняются все поры кожи, благодаря чему увеличивается ее герметичность, эластичность и долговечность^[3].

На вынутой из масляной ванны и охлажденной коже образуется кроме того с обеих сторон дополнительный защитный слой затвердевшего масла, который еще в большей степени предохраняет кожу от деформаций при эксплуатации. Для проверки качества пропитки кожу затем просвечивают; при этом все сомнительные по качеству места становятся наглядно видными.

Тщательные исследования, произведенные для изучения условий длительной эксплуатации сухих счетчиков, показали, что с течением времени кожа все же портится, особенно в тех случаях, когда измеряемый газ богат углеводородами, в частности бензолом. При высоком содержании бензола в газе (исследования велись с газом, содержащим бензола 16 г/м^3) кожа быстро начинает морщиться, после чего становится твердой, хрупкой, ломкой и в результате газопроницаемой; наблюдения показывают, что при такой деформации кожи ошибки в показаниях счетчиков постепенно возрастают в сторону преувеличения показаний.

По своим размерам и пропускной способности сухие счетчики изготавливаются самые разнообразные. В Англии, например, приняты такие стандартные размеры (в куб. фут/час):

№ 1 — 30	№ 5 — 210	№ 9 — 900
№ 2 — 40	№ 6 — 420	№ 10 — 1200
№ 3 — 60	№ 7 — 540	№ 11 — 1800
№ 4 — 120	№ 8 — 720	№ 12 — 3000

В Германии до последнего времени таких стандартов введено не было и счетчики выпускались различными фирмами всевозможных размеров. Характерные в этом отношении данные дало специальное обследование^[4], произведенное в Германии в 1935 году; был послан запрос на 200 газовых заводов с предложением сообщить, какой величины газовые счетчики установлены у потребителей, снабжаемых газом с этих заводов. Ответы, полученные примерно на 6 млн. счетчиков, установленных в квартирах ($\approx 80\%$ общего числа счетчиков в квартирах Германии), показали, что счетчики сухого типа до 30 л/час имеются 60 различных размеров. Специальное обсуждение вопроса о стандартизации газовых часов сухого типа привело к решению об изготовлении в дальнейшем счетчиков только четырех размеров: 2, 5, 10 и 20 л.

По последним данным этот стандарт уже утвержден.

Газовые счетчики квартирного типа обычно устанавливаются или в подвальных помещениях, или в кухнях. Правила установки их приведены в конце этого раздела.

В некоторых городах Америки (Оклахома, Толса) счетчики устанавливаются перед домами, в специальных колодцах под тротуарами, что облегчает учет газа и уменьшает опасность отравлений в квартирах.

Очень большое распространение в Германии, Америке и других странах получили счетчики-автоматы. Автомат отпускает газ после опускания в щель счетчика соответствующей монеты; по израсходовании оплаченного количества подача газа автоматически прекращается, пока не будет опущена новая монета.

Имеются счетчики с двойным циферблатом, регистрирующие расход газа в дневное и ночное время отдельно; специальным часовым механизмом в определенные часы рычаг включает один из этих циферблатов. На рис. 101 дан общий вид такого счетчика.

Сравнительная оценка мокрых и сухих газовых часов. Как мокрые, так и сухие газовые часы непригодны для измерения газов с высокой температурой, для измерения кислых газов, газов, сильно загрязненных механическими примесями — пылью, смолой и пр.

Мокрые часы более пригодны для измерения больших количеств газа и в качестве стационарных измерителей, хотя и они при современном развитии техники контрольно-измерительной аппаратуры теряют в настоящее время свою ценность

и незаменимость для этих целей. Для измерения больших количеств газов мокрые часы (а сухие и подавно) надо считать измерительными приборами прошлого, не могущими, повидимому, претендовать на свое перспективное развитие.

Мокрые часы более точны, чем сухие, и поэтому являются весьма ценным и широко распространенным прибором для точных измерений, в лабораторной практике, для контроля и градуирования других измерительных приборов и т. д.

Сухие часы, как более дешевые в изготовлении, не требующие ухода за собой, не требующие точности при установке, не боящиеся замерзания, — получили весьма большое распространение

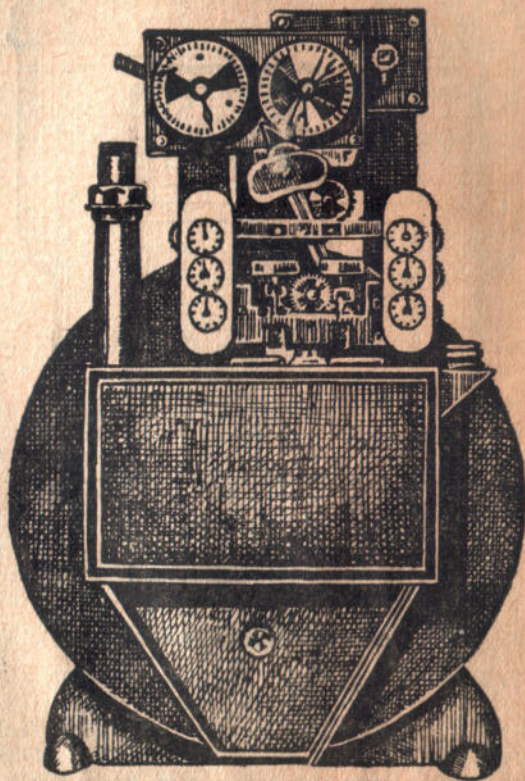


Рис. 101. Счетчик с двойным циферблатом.

в качестве газовых счетчиков для квартир и у самых разнообразных мелких потребителей газа; в этой области сухие счетчики имеют значительные преимущества перед мокрыми.

Оба вида газовых часов не пригодны в тех случаях, когда

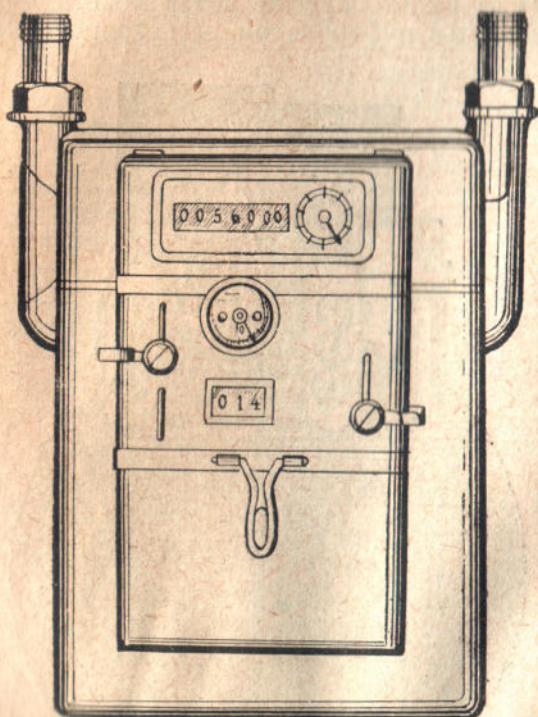


Рис. 102. Общий вид газового счетчика квартирного типа.

измеряемый газ поступает периодически, резкими толчками; толчки в сухих счетчиках могут вызвать повреждение кожаных камер, а в мокрых часах — вызвать выброс воды и обнажение барабана. Если в таких случаях применение газовых часов является единственным средством для измерения объема газа, то перед часами надо устанавливать уравниватели давления и только после них пропускать газ в часы.

При калибровке как мокрых, так и сухих часов допустимый предел погрешности показаний установлен $\pm 2\%$. С течением времени, вследствие износа, засорения и т. д. погрешности показаний рас-

тут, особенно у сухих счетчиков; считается, как правило, что периодические контрольные испытания должны проводиться не реже одного раза в 5 лет.

Срок службы сухих счетчиков примерно вдвое меньший, чем мокрых; срок службы мокрых, как было указано, в среднем 20 лет, а сухих — 12 лет.

При одной и той же пропускной способности сухие счетчики оказывают большее сопротивление прохождению газа, чем счетчики мокрые; для счетчиков квартирного типа и размера соотношение потерь давления примерно такое: сухие вызывают потерю давления 6—7 мм, а мокрые 4—5 мм вод. ст.

Американские правила установки счетчиков

1. Счетчики должны быть устанавливаемы в помещениях, доступных осмотру проверке и снятию показаний их агентами газового предприятия.
2. Недопустима установка счетчиков в закрытых шкафчиках, нишах, а также между полом и выставочной полкой в магазинах и торговых предприятиях.

3. Недопустима установка счетчиков в жилые комнаты, внутри квартир, особенно в спальнях комнатах.

4. Счетчики допускаются к установке в кухнях, при наличии вентиляции, и в лестничных клетках.

5. Установка счетчиков в ванных помещениях не допускается.

6. Помещения, в которых устанавливаются счетчики, должны иметь вентиляционные окна размером на менее $0,09/м^2$.

7. Счетчики могут быть устанавливаемы в подвальных, специально приспособленных помещениях, обеспеченных хорошей вентиляцией.

8. При сборной установке счетчиков в подвальном помещении (когда все счетчики данного дома помещаются в одном помещении) между соседними счетчиками должен быть сохранен интервал в $0,3 м$. В подобных случаях счетчики могут быть установлены ярусами, причем в вертикальном направлении расстояние между ярусами должно быть не менее $0,5 м$.

9. При отсутствии подвального помещения, для сборной установки счетчиков отводится специально приспособленное помещение, оборудованное как указано выше. На всех счетчиках должны быть таблички с указанием фамилии потребителя.

10. При установке счетчиков в подвалах, установкам там плит и печей не допускается. Счетчики устанавливать вплотную к наружной стене, на высоте не менее $1,2 м$ от пола, возможно ближе к окнам.

11. Если в помещении, где установлен счетчик, имеются электрические провода, то счетчик должен быть установлен на расстоянии минимум $1,5 м$ от последних. В противном случае, если обстоятельства позволяют, между счетчиком и проводами делается кирпичная или какая-либо иная огнеупорная (не металлическая) перегородка. Электрические выключатели не допускаются внутри помещений для счетчиков.

12. Счетчики должны быть установлены в сухом помещении.

13. В городах с трамвайным движением установка счетчиков в непосредственной близости с трубопроводами не допускается.

14. Установка счетчиков вне помещений на открытом воздухе допускается лишь в городах с теплым климатом.

15. Перед установкой счетчика таковой должен быть подвергнут испытанию: а) на точность показаний по сравнению со стандартным, проверенным счетчиком; б) на непроницаемость (отсутствие утечки); в) на чувствительность, гарантирующую учет самых незначительных количеств газа при помощи контрольных циферблатов.

16. При неправильности показаний счетчика, превышающих $\pm 2\%$, счетчик не допускается к установке.

17. Максимальный срок действия без контрольной проверки—3 года со дня установки (в некоторых правилах указывается 6 лет).

18. По требованию потребителей счетчики должны быть сняты и подвергнуты проверке. Если при проверке точность счетчика окажется в пределах $\pm 2\%$, то расходы по снятию, проверке и установке несет потребитель, в противном случае—газовое предприятие.

19. Потребитель вправе требовать проверки счетчика в его присутствии.

20. Счетчик по установке пломбируется. Ответственность за сохранность пломбы несет потребитель. Снятие пломбы может быть произведено исключительно представителями газового предприятия.

21. Снятие или разъединение счетчиков может быть произведено исключительно агентами газового предприятия по представлению соответствующего письменного распоряжения директора или управляющего.

22. Минимальный размер труб для присоединения счетчиков— $3/4"$. Соединение тройниками (на стороне приема) не допускается.

23. Краны на вводе и выводе счетчика перед установкой должны быть проверены на непроницаемость.

24. Агенты газового предприятия обязаны брать показания счетчика по возможности в определенные сроки, в заранее установленные часы.

25. Запрещается проверка счетчиков огнем, а равно снятие показаний счетчика при огневом свете.

26. Для проверки непроницаемости счетчиков агенты газового предприятия должны иметь при себе бутылочку с мыльной водой.

27. В отсутствие потребителя газовый счетчик не может быть включен в сеть.

28. Каждый счетчик должен иметь свой паспорт с указанием процента погрешности, срока службы, номера, даты установки, срока проверки, характера ремонта и пр.

29. При наличии в доме генерального счетчика, газовое предприятие ведет учет такому, а с отдельными потребителями по индивидуальным счетчикам—домоуправление (требуется соответствующее соглашение).

30. Счетчики должны быть установлены строго горизонтально на специальных полочках, прикрепленных к стене.

31. Агентам газового предприятия вменяется в обязанность самое вежливое обращение с потребителями. Вход в помещение для снятия показания—с предварительного разрешения потребителя.

Общие правила устройства и проверки объемных газометров (счетчиков)

ОСТ 4157

А. Определение

§ 1. Настоящий стандарт распространяется только на те газометры, которые измеряют пропускаемый газ непосредственно по объему, а именно:

а) мокрые газометры, в которых измерительное для газа пространство образуется путем выделения части внутреннего объема газометра запорной жидкостью;

б) сухие газометры, в которых измерение совершается без запорной жидкости, посредством наполнения газом и опорожнения от него газонепроницаемых камер с подвижными стенками.

Примечание. Настоящие правила не касаются газометров, устроенных не на объемном принципе.

Б. Технические условия

1. Общие

§ 2. Газометры классифицируются по их газопропускной способности, т. е. по количеству газа, которое равномерно проходит через газометр в течение часа при потере напора в нем: для газов в 6 мм вод. столба для мокрых газометров и в 10 мм вод. столба для сухих газометров, а для воздуха в 8 и 12 мм вод. столба соответственно.

Обозначенный часовой расход измеряется в килолитрах, обозначается литерой K и называется характерным расходом газа.

Примечания. 1. Для стационарных газометров на 30 и выше килолитров и мокрых газометров, работающих на незамерзающих плотных жидкостях, допускаются большие потери напора при пропускании обозначенного на них характерного расхода (до 20 мм вод. столба для стационарных газометров и до 10 мм для обычных мокрых газометров).

2. Обозначение характерного расхода газометра в кубических метрах не служит препятствием к выпуску его в обращение. При расчетах в этом случае кубический метр приравнивается килолитру.

§ 3. Объем измерительного пространства или камеры V газометра должен быть не более $1\frac{1}{2}\%$ от характерного расхода K .

§ 4. Газометр должен быть снабжен местом для наложения клейм таким образом, чтобы доступ к внутреннему устройству газометра и счетчика и к циферблату был исключен без повреждения этих клейм или стекла циферблата, равным образом клеймению подлежат приспособления, служащие для сохранения нормального уровня жидкости, если они помещены снаружи кожуха.

§ 5. Кожух газометра должен быть металлическим, достаточной прочности, непроницаемым для газа и совершенно закрытым, чтобы без открытия этого кожуха нельзя было изменить ни измерительных приспособлений, ни других существенных конструктивных частей газометра.

§ 6. Счетный механизм для предохранения от повреждений должен закрываться кожухом газометра или же снабжаться особым предохранительным кожухом, прочно соединенным с кожухом газометра. Циферблат должен быть закрыт стеклом.

Счетный механизм может быть съемным только у прочно установленных и трудно снимаемых газометров с чугунным кожухом и только в том случае, если передаточный механизм защищен самостоятельно от повреждений или может быть заклеен.

§ 7. Если счетный механизм газомера имеет два отдельных счетчика, то работа измерительных камер должна быть невозможна без включения одного из счетчиков, причем снаружи должно быть видно, с которым из счетных механизмов находится в соединении передаточный вал.

§ 8. Для воспрепятствования обратному ходу счетного механизма счетчики должны иметь автоматическое тормозное приспособление.

§ 9. В качестве вспомогательного приспособления допускается второй счетный механизм, прочно соединенный с первым и дающий показания расхода газа в денежных единицах. Этот контрольный счетчик должен быть заключен с первым в один кожух.

§ 10. Газомеры могут соединяться с приспособлением, автоматически запирающим прохождение газа, как только израсходовано предварительно оплаченное количество газа (автоматы с предварительной оплатой). На таких приспособлениях должна быть надпись „автомат“; присоединение автомата к газомеру должно быть устроено так, чтобы он не препятствовал работе газомера и не влиял бы на его показания.

§ 11. Газомеры, удовлетворяющие требованиям настоящего стандарта и дополнительных инструкций, выпускаемых ВИМС'ом на его основании, снабжаются специальным клеймом, удостоверяющим их правильность.

Газомеры, не удовлетворяющие требованиям стандарта и инструкций, выпуску в обращение не подлежат.

2. На мокрые газомеры

§ 12. Каждое отверстие в газомере, назначенное для подвода или отвода жидкости, должно быть снабжено приспособлением, образующим по заполнении газомера жидкостью газонепроницаемый гидравлический запор, надежно сохраняющийся при работе газомера под давлением в 50 мм вод. столба.

§ 13. Каждый газомер должен иметь приспособление для контроля в нем уровня жидкости, если только постоянство этого уровня не обеспечено самой конструкцией газомера; это приспособление может состоять из запорного устройства, тормозящего свободный пропуск газа, как только уровень жидкости понижается по сравнению с нормальным ее уровнем настолько, что газомер начинает давать неверные показания свыше допустимой погрешности (см. § 19 и 20).

Если запорное устройство отсутствует, то снаружи приделывается указатель уровня жидкости, прочно соединенный с измерительным пространством: указатель должен ясно показывать нормальный уровень жидкости при помощи отметки (стрелки, визира и т. п.) и обеспечивать легкость и надежность отсчета фактического его положения.

§ 14. Газомеры без указателя уровня жидкости должны быть, а газомеры с указателем могут быть снабжены приспособлением для автоматического установления нормального уровня жидкости (водосливом). При одновременном наличии указателя уровня и водослива положение отметки указателя, служащей для обозначения нормального уровня жидкости, должно соответствовать уровню жидкости, поддерживаемому водосливом. Водосливные трубочки в общем случае (если нет специальных условий) должны быть срезаны горизонтально.

§ 15. Части, служащие для поддержания нормального уровня жидкости, должны быть устроены и установлены так, чтобы было обеспечено их неизменное положение, или же они должны быть заклеены.

§ 16. Газомеры, у которых точность показаний зависит от правильности их установки, должны быть снабжены в подходящем месте чувствительными приспособлениями, определяющими правильное положение газометров (уровень, отвес и т. п.).

3. На сухие газомеры

§ 17. Перегородки измерительных камер в пределах практического применения должны быть газонепроницаемыми; они должны быть изготовлены из

материала, не изменяющегося от посторонних примесей в газе, особенно влаги, и не испытывающего никаких изменений, в силу которых в показаниях газомера могла бы произойти ошибка свыше допускаемой (см. § 19 и 20).

В. Поверка газомеров

§ 18. Поверка газомеров заключается в определении правильности их показаний путем равномерного пропускания через них воздуха или газа при превышении давления последнего над атмосферным в 40—50 мм вод. столба.

§ 19. Отклонение показаний нового газомера от действительно пропущенного через него количества газа, то-есть допускаемая погрешность нового газомера при пропуске через него обозначенного на нем характерного расхода (K) не должна быть более: 1) для мокрых газомеров с измерительным барабаном и характерным расходом до 150 килолитров $\pm 2\%$; 2) для мокрых газомеров с измерительным барабаном и характерным расходом в 150 и более килолитров $\pm 1\%$; 3) для прочих конструкций мокрых газомеров и для сухих газомеров $\pm 2\%$.

Примечание. Газомеры, указанные в п. 3 настоящего параграфа, должны при пропускании через них 50 и 20%, от характерного расхода (K) давать показания с погрешностью не свыше 2%.

§ 20. Отклонение показаний бывшего в обращении газомера от действительно пропущенного через него количества газа, то-есть допускаемая его погрешность, при пропуске через него обозначенного на нем характерного расхода (K) не должна быть более $\pm 5\%$ для всех систем и типов газомеров.

§ 21. При проверке газомеров аппараты испытательной станции и газомеры (с содержащейся в них жидкостью при мокрых газомерах) должны иметь одинаковую температуру; при несоблюдении этого правила на каждые $2,73^\circ\text{C}$ разницы температур аппаратов испытательной станции и газомера вводится поправка в $\pm 1\%$; знак + (плюс) имеет место, когда аппарат испытательной станции имеет более высокую температуру, нежеливеряемый газомер, и знак — (минус) в обратном случае.

Испытание правильности показаний газомера производится от двух до трех раз подряд, до получения совпадающих в пределах допускаемой погрешности результатов для двух поверок.

Поверка газомеров в эксплуатации должна производиться не реже чем через каждые три года. Результаты поверки заносятся в специальный паспорт, который должен вестись на каждый газомер.

Г. Маркировка

§ 22. На наружной стороне кожуха каждого газомера, на видном месте должны быть следующие обозначения:

а) наименование завода, заводский номер и год изготовления газомера, помещаемые на кожухе или на щитке, наглухо прикрепляемом к его кожуху;

б) емкость измерительного пространства газомера V в литрах;

в) характерный расход (K) в килолитрах;

г) система газомера;

д) у стационарных газомеров со съёмным счетным механизмом последний должен иметь обозначения, указанные в п. а—г сего параграфа;

е) на газомерах с двумя попеременно включаемыми счетными механизмами должно быть обозначено „двойной счетчик“;

ж) на впускной трубе должно быть обозначено „вход газа“ или стрелка, показывающая направление тока газа;

з) отремонтированные газомеры, кроме указанных выше обозначений, должны на отдельном щитке или на пломбе иметь обозначение предприятия, производившего ремонт, и год ремонта.

Измерители газа с качающимся барабаном. Барабаны обыкновенных мокрых газовых часов могут делать только до 100—120 оборотов в час; этим отчасти объясняется их сравнительно небольшая пропускная способность при очень крупных размерах. Стремление к возможному увеличению пропускной способности

привело к созданию ряда конструкций приборов с жидкостным наполнением, в которых число оборотов измерительного барабана или ротора значительно больше, чем в обыкновенных газовых часах. К числу таких быстроходных приборов относятся приборы Вестингауза и Брандля-Маришка.

Счетчик Вестингауза. По своей конструкции счетчики Вестингауза занимают промежуточное место между мокрыми и сухими счетчиками. В них использованы золотниковая система сухих счетчиков и применение жидкости мокрых.

На рис. 103 показан разрез счетчика. Металлический ротор, разделенный внутри на отдельные камеры (числом 6—8), погружен до половины в жидкость (обычно употребляется соляровое масло). Ротор снабжен конусообразной золотниковой коробкой, с числом окон, равным числу отдельных камер.

Газ по каналу поступает поочередно в отдельные камеры, приводя ротор в колебательное движение; при этом поочередно открываются отверстия для впуска в ротор и отверстия для выпуска из ротора. По выходе из ротора газ поступает во внутреннюю часть (над жидкостью) счетчика и выходит через верхний патрубок в линию. Конусообразный золотник приходит во вращательное движение, соединяя впуск и выпуск с камерами. Колебательное движение ротора, соединенного с корпусом при помощи шарнира, вызывается разницей давлений в барабане и общей камере счетчика. Золотник также при помощи шарнира соединен со счетным механизмом, отмечая объем пропущенного газа в зависимости от числа оборотов золотника. В отличие от сухих счетчиков с кожаными мехами, счетчики Вестингауза сконструированы целиком из металла.

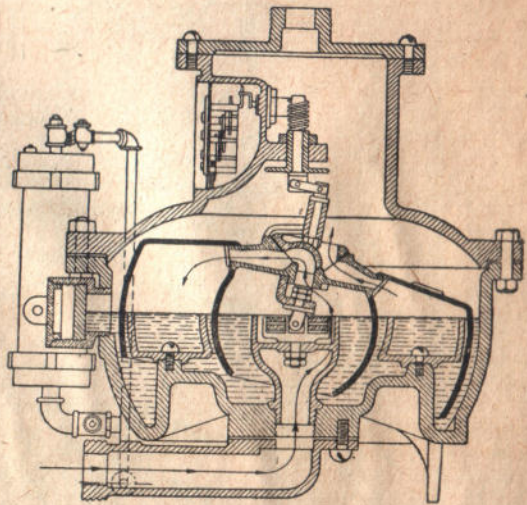


Рис. 103. Счетчик Вестингауза.

Жидкость должна держаться на определенном уровне. От этого зависит степень точности работы счетчика. Для наблюдения за уровнем имеется сбоку счетчика стекло, вставленное в корпус счетчика и показывающее уровень. Для пополнения жидкости счетчики снабжаются особыми цилиндрическими сосудами с маслом, позволяющими корректировать уровень.

Основной недостаток счетчиков этого типа — необходимость постоянного надзора за уровнем; недостаток, присущий всем

мокрым счетчикам. Другой недостаток — сравнительно быстрый износ конусообразного золотника.

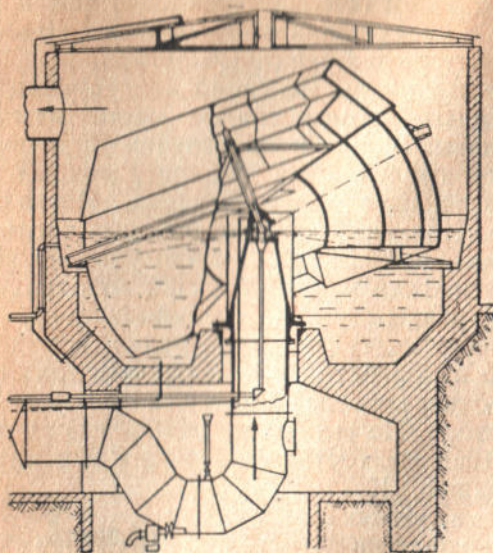


Рис. 104. Вертикальный разрез счетчика Брандля - Маришка.

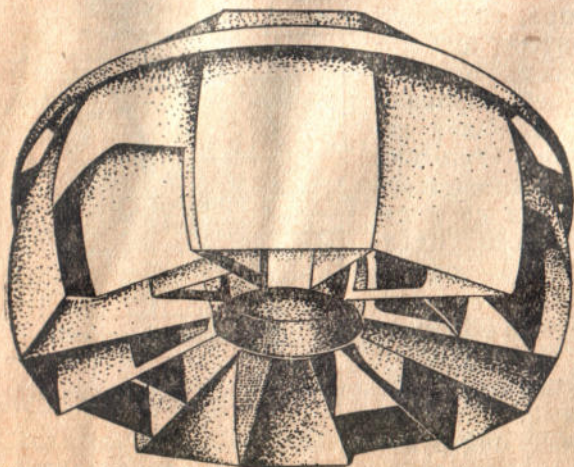


Рис. 105. Общий вид ротора счетчика Брандля-Маришка.

Счетчик Брандля-Маришка. В металлическом корпусе, до определенного уровня наполненном водой, глицерином или маслом, установлен ротор, опирающийся нижним острием своей оси на гнездо вертикально укрепленной стойки. На рис. 104

Таблица 9

Пропускная способность <i>м³/час</i>	Потеря давления <i>м.м вод. ст.</i>	Число оборотов ротора в час	Диаметр ротора <i>м.м</i>	Емкость ротора <i>м³</i>	Корпус		Толщина стенки в <i>м.м</i>		Диаметр в свету выдно- го и выдно- го штуцера <i>м.м</i>
					Диаметр <i>м.м</i>	Высота <i>м.м</i>	ротора	кор- пуса	
126—210	9—25	1 050—1 650	1 000	0,120	1 100	915	1	3	150
292—400	17—28	1 050—1 450	1 300	0,278	1 420	1 150	1	3	200
500—655	22—30	1 050—1 400	1 550	0,473	1 750	1 450	1 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	250
915—1 090	26—35	1 050—1 250	1 900	0,870	2 150	1 760	1 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	300
1 620—1 770	30—36	1 050—1 150	2 300	1,54	2 600	2 100	1 ³ / ₄	3 ¹ / ₂	350
2 630—2 910	35—40	950—1 050	2 800	2,77	3 200	2 550	2	3 ¹ / ₂	450
4 460—4 960	35—50	900—1 000	3 400	4,96	3 850	3 100	2	3 ¹ / ₂	500
5 500—6 150	35—50	850—950	3 700	6,475	4 200	3 350	2	3 ¹ / ₂	600
6 960—7 830	35—50	800—900	4 100	8,7	4 600	3 700	2	4	700
8 620—9 780	35—50	750—850	4 500	11,5	5 100	4 100	2 ¹ / ₄	4	800
11 000—12 500	35—50	700—800	5 000	15,7	5 650	4 500	2 ¹ / ₄	4	900
13 700—16 300	35—50	650—775	5 500	21,1	6 250	5 000	2 ¹ / ₄	4	900
16 500—20 000	35—50	600—730	6 000	27,3	6 800	5 400	2 ¹ / ₂	4	1 000

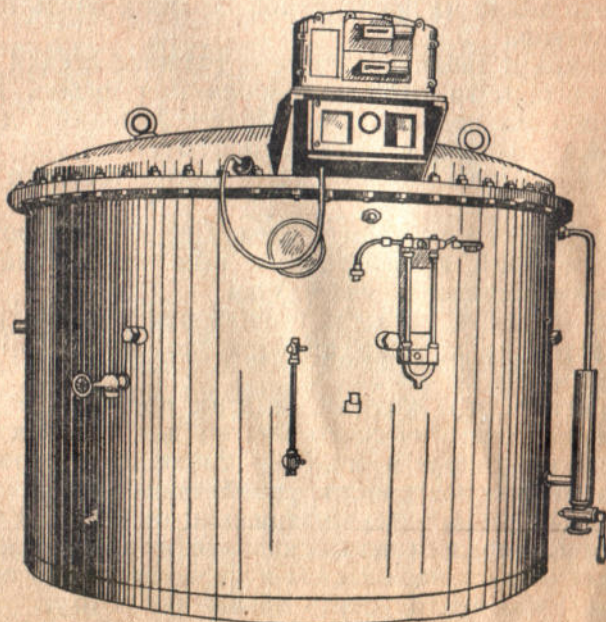


Рис. 106. Общий вид счетчика Брандля-Маришка. На крышке счетчика виден прибор для автоматического корректирования показаний на температуру и давление.

показан вертикальный разрез этого прибора. Газ подводится снизу по газовводу, конец которого несколько выступает над зеркалом жидкости. Поступая в камеры ротора, газ приводит

ротор во вращательное движение; при вращении ротор совершает одновременно колебательные движения. Верхний конец оси ротора соединен со счетным механизмом, регистрирующим число оборотов ротора, а отсюда и количество прошедшего через прибор газа. На рис. 105 дан внешний вид ротора, вынутого из прибора, а на рис. 106 — внешний вид всего прибора.

Основные размеры приборов этой системы и основные показатели их работы приведены в таблице 9.

Отличительная особенность барабана-ротора этого прибора заключается в том, что куполообразные концентрически размещенные крылья ротора при вращении только прорезают слой воды, благодаря чему сопротивление вращению ротора при прохождении его через жидкость значительно меньше, чем в мокрых часах. Отсутствие подшипников и вращение ротора вместе с осью, опирающейся на гнездо стойки только своим острием, также способствуют уменьшению трения и уменьшению сопротивления всего прибора. Все эти факторы приводят к тому, что приборы этого типа, работая при сравнительно очень большом числе оборотов и с большой пропускной способностью, дают, как это видно из приведенной таблицы, очень небольшую потерю давления.

Приведенные в таблице данные о толщине стенки корпуса и ротора рассчитаны на работу прибора при низких давлениях, обычно до 300 мм вод ст.; при работе с высокими давлениями выше 0,5 атм толщина стенки ротора остается той же, а толщина стенки корпуса должна быть соответственно давлению увеличена.

Корпус прибора может быть сделан не из листового железа сваренного по швам, а из бетона, и весь прибор может быть в связи с этим установлен вне здания.

Счетный механизм, регистрирующий число оборотов ротора, устанавливается на крышке прибора, но может быть также отнесен в сторону.

Надо отметить, что жидкость в этих приборах играет роль исключительно гидравлического затвора для преграждения протекания газа мимо ротора и поэтому соблюдение строгого правила о поддержании постоянства уровня жидкости, как это имеет место в мокрых часах, здесь совершенно отпадает. Водомерное стекло и все приспособления для наполнения здесь нужны исключительно для общего наблюдения и периодического пополнения убыли воды, дабы не допустить обнажения ротора.

Прибор, однажды проградуированный, показывает количество прошедшего через него газа в объемных единицах. У счетчика устанавливается специальная конструкции прибор, автоматически корректирующий показания счетчика при всех изменениях температуры измеряемого газа, давления газа, а также при изменениях барометрического давления; этот прибор показывает, таким образом, количество прошедшего газа, приведенное к нормальному состоянию.

Недостатком этого прибора является наличие вращающегося остря и гнезда, подверженных изнашиванию. Быстрое вращение ротора способствует не только сильному увлажнению, но и механическому уносу воды или другой жидкости, наполняющей корпус прибора.

Г. РОТАЦИОННЫЙ ГАЗОМЕР (DRENKOLBENGASMESSER)

Ротационный газомер устроен по принципу ротационных насосов для подачи вязких жидкостей. В чугунном корпусе (рис. 107, 108, 109, 110) установлены горизонтально два вращающихся двухзубчатых колеса; с помощью одного из этих зубчатых колес обороты ротора передаются счетному механизму. Газ поступает сверху; благодаря разности давлений газа на входе и выходе из прибора ротор приводится в движение; выход газа из прибора — внизу (при небольших газомерах) или сбоку. С целью уменьшения сопротивлений трению, оси ротора поставлены на шариковых или роликовых подшипниках. Зубчатые колеса счетного механизма погружены в масло. Сам ротор ни в какой смазке не нуждается, находясь целиком в потоке газа.

Для определения величины перепада давления установлен дифференциальный манометр; при полной нагрузке потеря давления составляет 20—30 мм вод. ст., т. е. примерно такая же, как при мокрых часах.

Точность показаний прибора лежит в пределах $\pm 2\%$ при нагрузке от 10 до 100% от нормальной; при меньшей нагрузке погрешность показаний возрастает, т. к. при малом числе оборотов происходит проскок газа через просветы между ротором и стенками корпуса, и счетчик начинает давать преуменьшенные показания.

Соотношения между основными размерами этих газомеров и их пропускной способностью приведены в таблице 10; данные по пропускной способности и потере давления относятся к газомерам, работающим при давлении газа до 7000 мм вод. ст.

Счетчик допускает перегрузку на 20—30%.

Таблица 10

Пропускная способность м ³ /час	Потеря давления, мм вод. ст.	A ₁	A ₂	B	C	D	D ₁	D ₂	E	F	G	H	J	K	L	M
		500	~ 15	550	500	340	650	200	350	300	390	450	465	1305	355	160
1000	~ 16	820	770	420	1170	250	400	350	425	490	210	1125	120	203	1590	900
2000	20 до 25	920	910	510	1365	300	450	400	480	565	275	1320	145	254	1830	1150
3000	20 до 25	1010	965	610	1550	400	575	520	550	690	290	1530	170	304	1975	1300
4000	20 до 25	1120	1070	740	1750	500	680	625	605	800	350	1755	195	355	2190	1500
7000	25 до 35	1220	1180	800	1920	500	680	625	730	835	350	1920	225	406	2400	1600
9000	25 до 35	1300	1260	865	2150	600	790	725	750	945	400	2095	250	457	2560	1800

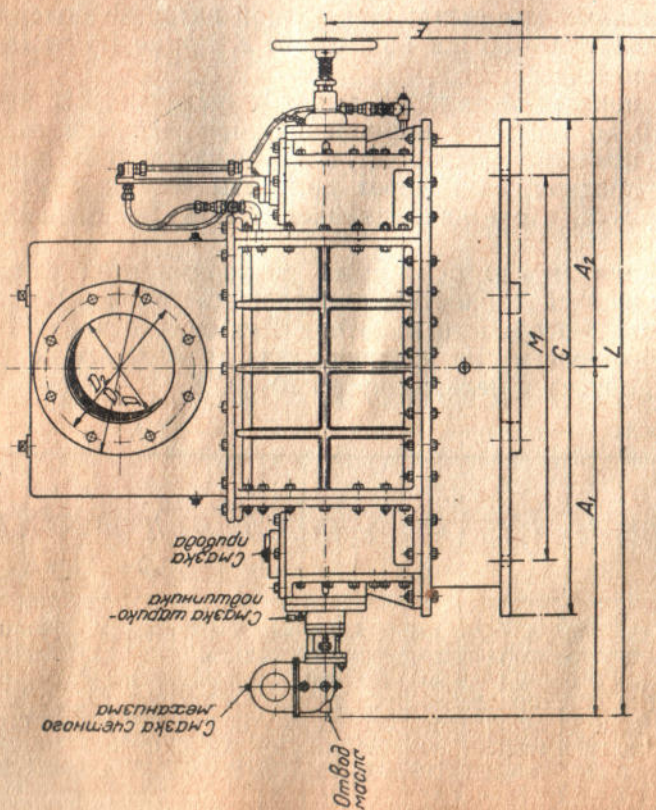
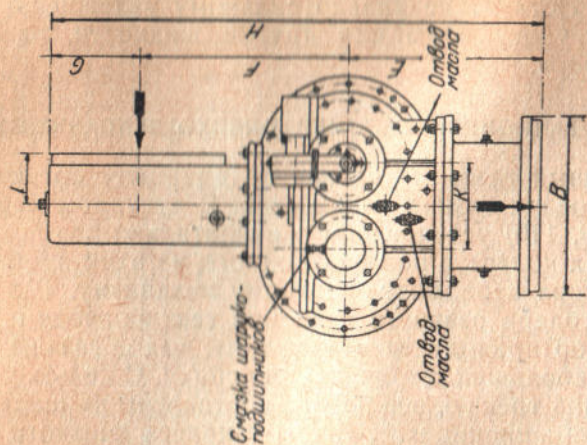


Рис. 107. Продольный вид ротационного газомера.

Рис. 108. Ротационный газомер.
Вид сбоку.

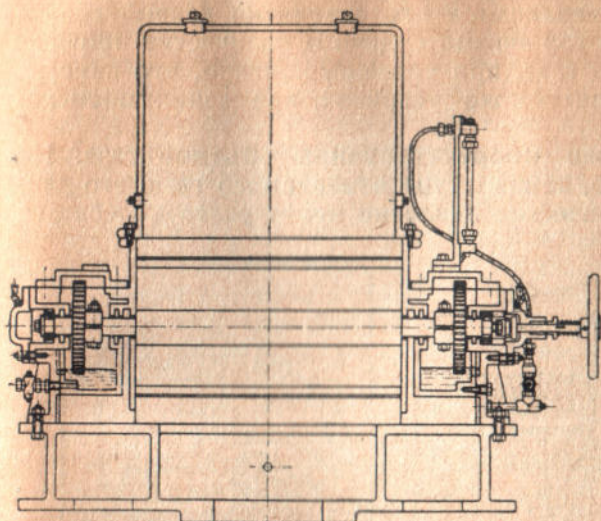


Рис. 109. Продольный разрез ротационного газомера.

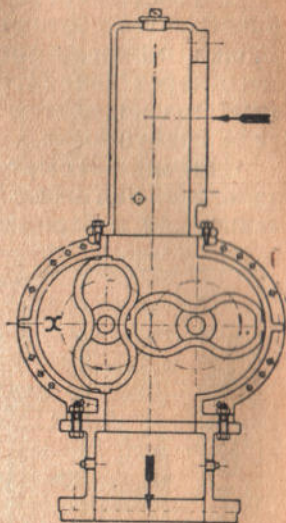


Рис. 110. Поперечный разрез ротационного газомера.

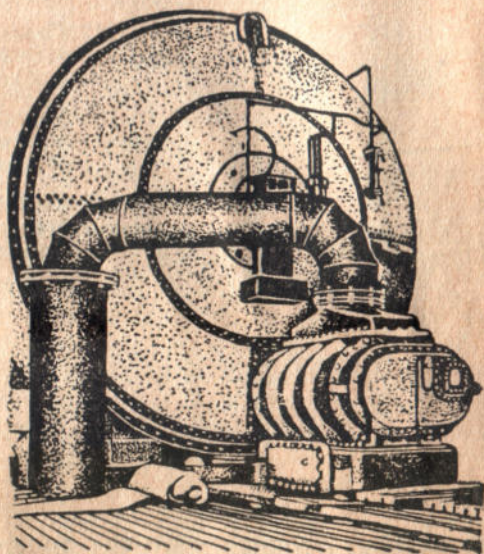


Рис. 111. Общий вид ротационного газомера в сопоставлении с мокрыми газовыми часами.

Пропускная способность ротационного газомера — $7\,200 \text{ м}^3/\text{час}$, газовых часов — $5\,500 \text{ м}^3/\text{час}$.

С помощью передаточных механизмов число оборотов ротора фиксируется счетным механизмом; на основании данных градуировки, по числу оборотов можно судить о количестве прошедшего через измеритель газа, при условии, конечно, что измеряемый газ находится при тех же условиях, при каких происходила градуировка.

Счетчик-автомат для корректирования объемов газа. На практике, как известно, температура измеряемого газа, его давление, как и барометрическое давление могут резко колебаться

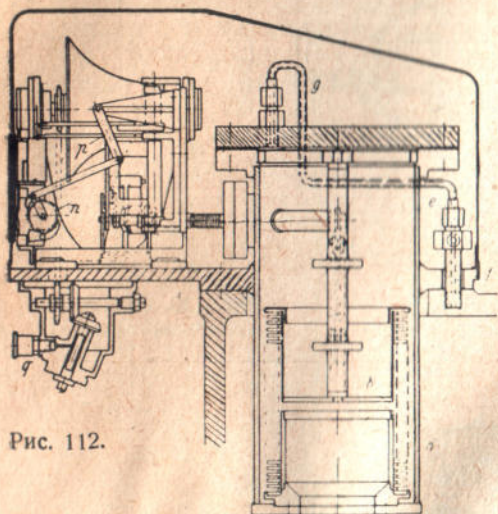


Рис. 112.

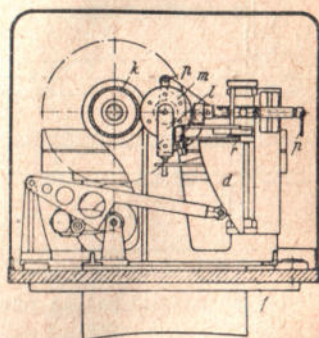


Рис. 114.

Рис. 112. Горизонтальный разрез автоматического корректора объема газа.

Рис. 113. Вертикальный разрез автоматического корректора объема газа.

Рис. 114. Вертикальный разрез автоматического корректора объема газа.

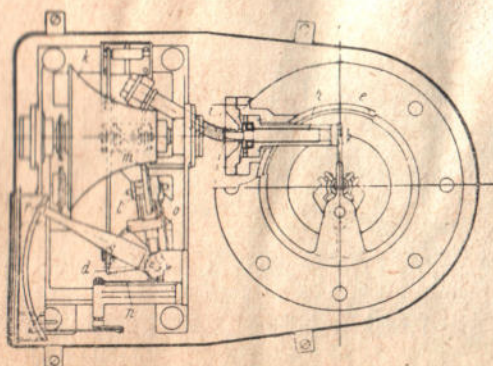


Рис. 113.

и соответственно изменять точность замера прошедшего через газомер объема газа. С целью автоматического и непрерывного корректирования отмеряемого и отмечаемого счетчиком объема газа и приведения этого объема к нормальным условиям разработан и предложен к установке при газомерах специальной конструкции счетчик-автомат, устройство которого сводится к следующему^[5].

Мембранная коробка a (фиг. 112, 113, 114), имеющая цилиндрическую форму поршня,—тонкостенная; размеры ее: диаметр ~ 125 мм, высота 200 мм. Крышка коробки b и дно c затянуты между собой с целью уменьшения емкости коробки и хода ее движения; коробка непосредственно не соприкасается с измеряемым с помощью счетчика газовым потоком. Эта мембранная коробка сама по себе мало упруга, но весьма эластична. В высоту она может перемещаться примерно на $\frac{1}{5}$ своей общей высоты. Несмотря на то, что стенки ее делаются очень тонкими, она может выдерживать большие радиально направленные усилия.

В рабочем состоянии коробка наполнена индифферентным газом и закрыта. Благодаря эластичности стенок мембранной коробки этот индифферентный газ воспринимает все физические изменения (температуру и давление) измеряемого газа, окружающего коробку. Изменения высоты подъема коробки отражают при этом все изменения плотности как измеряемого, так и индифферентного газов. Перемещения мембранной коробки передаются затем на кривошип d и дальше к интегрирующему механизму.

При работе в мембранной коробке развиваются большие усилия. Примером их величины может служить такой расчет.

При атмосферном давлении 1% изменения положения мембраны соответствует изменению давления в 100 мм вод. ст., при этом создается усилие в 1,25 кг; перемещение же, соответствующее такому изменению состояния, выражается только в 1 мм. Направляющие усилия возрастают с ростом давления газа, но, с другой стороны, с подъемом давление падает и, таким образом, общая затрата энергии, равная произведению силы на путь, при работе прибора остается постоянной.

В отличие от обычных пружинных приборов, измеряющих давления газов, в данном случае показания зависят не от упругости, но непосредственно от объемного состояния сравниваемых газов. Осевые упругие деформации мембраны составляют только сотые доли направляющих усилий; поскольку эти осевые усилия учитываются при градуировании прибора, они не влияют на конечные его показания.

Теоретически эти усилия могут быть определены и быть действительными для какой-нибудь определенной, например, нормальной температуры; корректив для иной температуры $t^{\circ}\text{C}$ определяется по уравнению:

$$\delta = \frac{100 \cdot P_{max} \cdot t}{P_0 \cdot F \cdot (T_0 \pm t)} \cdot K_{max}^0 /_0.$$

где P_{max} — упругость мембраны при наивысшем ее положении в нерабочем состоянии в кг;
 F — поверхность мембраны в см²;
 P_0 — нормальное давление в атм;
 T_0 — абсолютная температура при градуировании;

K_{max} — коэффициент, определяемый при состоянии газа, соответствующем высшему положению мембраны.

Пример 10. При $P_{max} = 3$ кг, $F = 120$ см², $t = \pm 20^\circ\text{C}$, $K_{max} = 2$ δ получается равным только 0,1%.

Мембранная коробка *a* установлена в прочном корпусе *e*, который с помощью фланцев *f* прикрепляется к крышке газомера. Для защиты от коррозии корпус частично наполнен маслом. Корпус соединяется с газомером при помощи трубки *g*, которая может быть в любой момент перекрыта краном; по этой трубке давление газа из газомера передается в корпус мембранного прибора.

Колебания температуры измеряемого газомером газа, происходящие в промышленных условиях обычно медленно и постепенно, передаются наполняющему мембранную коробку инертному газу через дно прибора *c* и через масло; поскольку прибор хорошо изолирован, — потери во внешнюю среду ничтожно малы и все температурные изменения газа воспринимаются прибором практически целиком.

Движения мембраны передаются с помощью кривошипа *d* на ось *h*, которая в месте прохода через стенку корпуса *e* уплотнена так, чтобы не допускать утечки газа из корпуса и вместе с тем не создавать ощутительных сил трения, которые могли бы исказить движения этой оси. К оси *h* с помощью фланца присоединена изогнутая волнистая трубка *i*, на конце которой надета вращающаяся втулка.

Сочлененный с осью *h* кривошип *d* приводит в движение последующий механизм, от точности выполнения которого зависит точность работы всего прибора.

Специальной, изогнутой формы тело *k* приводится во вращательное движение с помощью конической зубчатой передачи от ротора газомера; у центра тела *k* установлена вилка фрикционной передачи *l*, повороты которой приводят в движение колесо *m*.

Этот прибор работает при давлениях до 2 *ати*, но может быть изготовлен и для более высоких давлений.

По произведенным наблюдениям показания этого прибора дают погрешность только до $\frac{1}{4}\%$.

Показания прибора настолько точны, он настолько точно и автоматически учитывает все колебания давления и температуры, и автоматически приводит объемы измеряемого газомером газа к нормальным условиям, что остается только вносить поправки на влажность измеряемого газа.

В обычных условиях объем, занимаемый содержащимся в газе водяным паром, сравнительно невелик. При давлении 0,5 *ати*, температуре + 15°C и степени насыщения 70% в газе содержится 0,8% по объему водяных паров.

Если желательно все же учесть эту поправку на содержание водяных паров и знать объем измеряемого газа не только приведенным к нормальным условиям по температуре и давлению, но и в сухом состоянии, то этого можно, в данном случае,

достичь двумя путями: 1) пересчетом показаний прибора на сухой газ или 2) введением в состав инертного газа, наполняющего мембранную коробку, такого количества водяного пара, которое соответствует степени насыщения измеряемого газа.

Описанный прибор достаточно сложен по своей конструкции и требует весьма точного выполнения; все это, однако, ни в какой степени не умаляет его ценности, поскольку он дает возможность определять измеряемые количества в *нормальных* объемных единицах.

Литература

1. К. С. Зарембо, Газгольдеры, 1932.
2. А. Б. Аронов, Газгольдеры, 1933.
3. А. П. Лидов, Краткий курс газового производства, 1911.
4. Г. А. Саркисьянц, Курс добычи и утилизации газа, 1930.
5. М. Х. Шахназаров, Естественный газ, его добыча и утилизация, ч. I, 1932.
6. М. Х. Шахназаров, Газификация городов, 1934.
7. В. Бертельсман и Ф. Шустер, Введение в техническую обработку газовых веществ, 1935.
8. Kalender für das Gas.- u. Wasserfach., 1932.
9. GWF., № 23, 1931.
10. GWF., № 36, 1933.
11. VDI., № 22, 1932.
12. GWF., № 27, 1935.
13. Gas Journal № 3744, 1935.
14. GWF., № 43, 1931.
15. L. Litinsky, Messung grosser Gasmengen, 1922.

Ссылки в тексте

1. „Кокс и Химия“, № 11, 1933.
 2. Gas Age Record, № 63, 1929.
 3. GWF., № 26, 1932.
 4. GWF., № 29, 1935 и № 14, 1936.
 5. VDI., № 29, 1934.
-