

СПЕЦИАЛИСТА

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ ОПЕРАТОРА
КОТЕЛЬНОЙ**

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ
КОТЛОВ**

КНИЖНАЯ ПОЛКА

КНИЖНАЯ ПОЛКА СПЕЦИАЛИСТА

В. М. Тарасюк

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОТЛОВ

**Практическое пособие
для оператора котельной**

Под редакцией Б. А. Соколова

Москва
ЭНАС
2016

УДК 621.1.004.3

ББК 31.361

Т19

Рецензент

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Энергетика высокотемпературной
технологии» МЭИ (ТУ) *Б. А. Соколов*

Тарасюк В. М.

Т19 Эксплуатация котлов : практ. пособие для оператора котельной / В. М. Тарасюк ; под ред. Б. А. Соколова. — М. : ЭНАС, 2016. — 272 с. : ил. — (Книжная полка специалиста).

ISBN 978-5-4248-0076-4

В книге приведены основные сведения о котельных установках, работающих на газовом и жидком топливе, и вспомогательном оборудовании. Обобщен производственный опыт по эксплуатации и наладке котлов разных модификаций. Приведены извлечения из правил по устройству и безопасной эксплуатации котельных установок, оборудования и трубопроводов.

Для подготовки и повышения квалификации операторов и обслуживающего персонала котельных, а также для инженерно-технических работников и специалистов, отвечающих за безопасную эксплуатацию котлов.

УДК 621.1.004.3

ББК 31.361

ISBN 978-5-4248-0076-4

© ООО НЦ «ЭНАС», 2015

Раздел первый

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕПЛОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Глава первая

ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Понятие о физическом теле и веществе

Все тела в природе находятся в трех агрегатных состояниях: *твердом, жидком и газообразном* и состоят из мельчайших частиц – *молекул*, связанных между собой силами взаимного притяжения и находящихся в состоянии непрерывного хаотического движения.

Общей мерой различных форм движения материи является *энергия*. Энергия движения молекул называется *внутренней кинетической энергией*, а энергия взаимного притяжения молекул – *внутренней потенциальной энергией*. Сумма внутренних кинетической и потенциальной энергий составляет внутреннюю энергию тела, которая может передаваться от одного тела к другому в виде *тепла и работы*.

Передача энергии в *виде тепла* вызвана энергетическим взаимодействием молекул при отсутствии видимого движения тел. В отличие от тепла передача энергии в *виде работы* связана с видимым перемещением тела, в частности с изменением его объема.

Молекулы могут быть самостоятельными, сохраняя при этом химические свойства данного вещества. Молекулы состоят из *атомов*. В переводе с греческого языка слово «атом» означает «неделимый». Атом состоит из положительно заряженного *ядра* и отрицательно заряженных частиц – *электронов*, которые двигаются вокруг него. Ядро включает в себя положительно заряженные частицы – *протоны* и частицы, которые не имеют заряда, – *нейтроны*.

Различают *простые* и *сложные* вещества. Вещества, молекулы которых состоят из атомов одного вида, называют *простыми*. Например: кислород O_2 , водород H_2 , азот N_2 , медь Cu , углерод C , алюминий Al , серебро Ag и др.

Вещества, молекулы которых состоят из атомов разного вида, называют *сложными*. Например: углекислый газ CO_2 , вода H_2O , оксид углерода (или угарный газ) CO , метан CH_4 и т. д.

В данное время известно 106 химических элементов, из которых состоят вещества.

Физические и химические явления. Физические тела могут претерпевать различные изменения, которые называются *явлениями*, разделяющимися на *физические* и *химические*.

Явления, при которых изменяется форма или физическое состояние, но не происходит образования новых веществ, называются *физическими*.

Например, при кипении вода превращается в пар, а при охлаждении из пара снова образуется вода. При этом изменяется только физическое состояние воды, но новые вещества не образуются. То же наблюдается при таянии льда.

Изменения веществ, при которых из одних веществ образуются другие, называются *химическими явлениями* или *химическими реакциями*.

Например, при сжигании угля образуются газообразные продукты сгорания. Химические явления происходят при горении, коррозии металлов, при получении металлов из руд и т. д.

Физическое состояние вещества. Состояние физических тел зависит от сил молекулярного притяжения, расстояния между молекулами вещества (межмолекулярного пространства) и от движения молекул.

Твердые тела имеют большую силу молекулярного притяжения, малое межмолекулярное пространство и малую подвижность молекул. Эти тела имеют определенную форму и сохраняют свой объем. Для того, чтобы сжать твердое тело или разделить его на части, необходимо приложить определенную силу.

В жидких телах сила молекулярного притяжения значительно меньше, чем в твердых, а межмолекулярное пространство и подвижность молекул значительно больше. Благодаря этому жидкости не имеют определенной формы и принимают форму того сосуда, в котором находятся. Жидкости практически не сжимаются. Объем жидкости измеряется размером сосуда, в который жидкость налита.

В газообразных телах, например воздухе, паре, горючих и дымовых газах, сила межмолекулярного притяжения мала, межмолекулярное пространство и подвижность молекул велики. Благодаря этому, газообразные тела имеют большую текучесть и не имеют определенного объема. Как и жидкости, газообразные тела занимают форму сосуда, в котором находятся. По сравнению с твердыми телами и жидкостями газообразные тела легко сжимаются.

Понятие о рабочем теле. В отопительных и производственных котельных *рабочим телом* (теплоносителем) является *водяной пар* или *горячая вода*.

Теплоноситель характеризуется параметрами, к которым относятся: *давление, температура и удельный объем*.

Давление и единицы его измерения

Давление – это действие газа (жидкости) на стенки сосуда или сила, которая приходится на единицу поверхности, воспринимающей удары молекул данного газа (жидкости).

Экспериментами и практикой доказано, что жидкости и газы действуют на поверхность твердых тел, с которыми они граничат. Силы действия жидкостей и газов на соприкасаемые с ними поверхности называют *силами давления*.

Давлением называется отношение нормально направленной силы к площади поверхности, на которую сила действует.

Давление обозначается буквой P . Для определения давления P необходимо силу F разделить на площадь S , на которую действует эта сила:

$$P = F / S.$$

За единицу *силы* и *веса* принят 1 кгс (килограмм-сила), за единицу *массы* – 1 кг, а за единицу *площади* – 1 см², таким образом, давление измеряется в кгс/см² и его принято называть *технической атмосферой (ат)*.

Различают давление – *атмосферное, избыточное и абсолютное*.

Атмосферным называют давление воздуха (атмосферы) на Землю и на предметы, которые находятся на ней. Это давление называется *барометрическим давлением*, поскольку измеряется *барометром*, и обозначается $P_{\text{бар}}$. Давление воздуха на уровне моря при температуре 0 °С равно 760 мм рт. ст. Его принято называть *физической атмосферой (атм)*. С увеличением высоты над уровнем моря атмосферное давление уменьшается.

Избыточное давление – это излишек над атмосферным давлением. Это давление измеряется *манометром* и поэтому давление называют *манометрическим или рабочим* (кгс/см²; мм рт.ст.; мм вод. ст.). Соотношение между этими единицами следующее:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 735,6 \text{ мм рт. ст.} = 10\,000 \text{ мм вод. ст.} = 10 \text{ м вод. ст.}$$

Абсолютное давление – это давление жидкостей или газов в закрытом сосуде, обозначается $P_{\text{абс}}$ и равно сумме избыточного и атмосферного давлений:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{изб}} + P_{\text{бар}}.$$

Абсолютное давление может быть больше или меньше атмосферного.

Давление ниже атмосферного называется *вакуумом* ($P_{\text{вак}}$). В котельной практике это *разрежение* (тяги) в топке котла и газоходах.

Если давление P меньше атмосферного, то $P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} - P_{\text{вак}}$.

Соотношение между физической и технической атмосферами следующее:

$$760 / 735,6 = 1,033.$$

В международной системе единиц СИ основная единица измерения давления – ньютон на квадратный метр (Н/м^2).

По решению Международного комитета мер и веса, принятому в октябре 1969 г., эта единица названа *паскалем* (Па), $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. Эта единица давления очень мала и использовать ее на практике неудобно, поэтому используют кратные несистемные единицы:

$$1 \text{ кПа} = 1\,000 \text{ Па} = 10^3 \text{ Па}$$

$$1 \text{ МПа} = 1\,000\,000 \text{ Па} = 10^6 \text{ Па}$$

$$1 \text{ ГПа} = 1\,000\,000\,000 \text{ Па} = 10^9 \text{ Па}.$$

Между единицами (кгс/см^2 ; мм рт. ст.; мм вод. ст.) и паскалем (или кратными от него) используются следующие соотношения:

Физическая атмосфера

$$1 \text{ атм} = 1,033 \text{ кгс/см}^2 = 760 \text{ мм рт. ст.} \approx 101\,325 \text{ Па} \approx 101,3 \text{ кПа} \approx 0,1 \text{ МПа}$$

Техническая атмосфера

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 735,6 \text{ мм рт. ст.} \approx 98\,666,5 \text{ Па} \approx 98,7 \text{ кПа} \approx 0,1 \text{ МПа}$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па} \approx 133 \text{ Па}$$

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 9,8066 \text{ Па} \approx 10 \text{ Па}.$$

Температура и теплота, единицы их измерения

Температура является мерой теплового состояния или степени нагрева тел. Тепловое состояние тела характеризуется скоростью движения его молекул или средней внутренней энергией тела. Чем выше температура, тем больше скорость движения молекул.

Температура тела увеличивается или уменьшается в зависимости от того, получает или отдает это тело тепло. Тела, которые имеют одинаковую температуру, находятся в тепловом равновесии, т. е. не передают тепло одно другому.

При нагревании тела расширяются, т. е. увеличиваются в объеме. Это обстоятельство учитывают при конструировании котлов и обмуровки, а также при проектировании трубопроводов различного назначения.

Единицей измерения температуры является *градус*. Для измерения температуры чаще всего используются две шкалы: *практичес-*

кая стоградусная Цельсия и термодинамическая или абсолютная Кельвина.

Практическая стоградусная шкала имеет две постоянные точки: плавление льда, которая принимается за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, и кипение воды при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.), принятая за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температуру выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ обозначают знаком «+» (плюс), ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – знаком «-» (минус).

В системе СИ используют шкалу с началом отсчета от абсолютного нуля.

Абсолютный нуль характеризуется отсутствием движения молекул и отвечает температуре, которая ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (примерно $273\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Единица термодинамической или абсолютной температуры – кельвин (К).

Температуру в стоградусной шкале обозначают t , а в абсолютной – T . Эти температуры связаны между собой соотношением:

$$T = t + 273\text{ К.}$$

Теплота. Энергия, которая может передаваться от более нагретого тела к менее нагретому при непосредственном контакте или излучением, называется *теплотой*.

Теплота – вызывается хаотическим движением частиц (молекул, атомов и т. д.). За единицу измерения теплоты принята *калория* (кал), которая равна количеству тепла, необходимого для нагревания 1 г воды на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при t от $19,5$ до $20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) при нормальном атмосферном давлении 760 мм рт. ст.

Если при измерениях основные или производные единицы оказываются чрезмерно малы или велики, то пользуются кратными и дольными единицами (табл. 1)

Таблица 1

Кратные и дольные единицы измерения

Кратные единицы		Дольные единицы	
дека (да)	10^1	деци (д)	10^{-1}
гекто (г)	10^2	санти (с)	10^{-2}
кило (к)	10^3	милли (м)	10^{-3}
мега (М)	10^6	микро (мк)	10^{-6}
гига (Г)	10^9	нано (н)	10^{-9}
тера (Т)	10^{12}	пико (п)	10^{-12}

В системе единиц СИ единицей измерения теплоты является *джоуль* (Дж) – универсальная единица работы, энергии и количества тепла. Соотношения между единицами измерения тепла следующие:

1 кал = 4,187 Дж $\approx$ 4,2 Дж; 1 Дж = 0,239 кал $\approx$ 0,24 кал.

Способы передачи тепла. В котельных установках тепло от продуктов сгорания топлива к поверхностям нагрева передается тремя способами: *излучением (радиацией), теплопроводностью и конвекцией.*

Излучение (радиация) – это передача тепла от одного тела к другому на расстояние с помощью электромагнитных волн, например, от горящего факела к поверхностям нагрева котла.

Теплопроводность – вид теплопередачи, при которой перенесение тепла имеет атомно-молекулярный характер и происходит без макроскопического движения в теле (в стенке трубы котла от внешней поверхности к внутренней).

Вещества имеют различную теплопроводность. Так, теплопроводность накипи более чем в 40 раз, а сажи – более чем в 200 раз ниже теплопроводности чугуна. Отложения накипи и осадка затрудняют передачу тепла и приводят к перерасходу топлива.

Конвекция – передача энергии в виде тепла перемещением и перемешиванием нагретых масс жидкостей или газов. Пример конвекции – распространение тепла по всей комнате от горячей батареи отопления.

В котле конвективный теплообмен происходит на хвостовых поверхностях нагрева, где горячие дымовые газы обтекают трубы экономайзера и нагревают проходящую по трубам воду, а проходя по трубам воздухоподогревателя нагревают воздух.

Удельный объем. Удельный объем газа или пара v – это объем единицы его массы. Удельный объем – величина, обратная плотности вещества, м³/кг:

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m},$$

где v – объем вещества, м³;

ρ – плотность, кг/м³;

m – масса вещества, кг.

Приборы для измерения давления и температуры, их устройство и работа

Измерение давления. Для измерения давления газа и воздуха до 500 мм вод. ст. (500 кгс/м²) используют стеклянный *U-образный жидкостный манометр* (рис. 1). Манометр представляет собой стеклянную U-образную трубку, прикрепленную к деревянной (метал-

лической) панели, которая имеет шкалу с делениями в миллиметрах. Наиболее распространенные манометры со шкалами 0–100, 0–250 и 0–640 мм. Трубка заполняется водой до отметки нуля. Величина давления равна сумме высот уровней жидкости, опущенной ниже и поднятой выше нуля.

Для удобства отсчета и упрощения измерения на практике иногда используют манометры с двойной шкалой, в которых изменена цена деления в два раза и цифры от нуля вверх и вниз идут с интервалом 20: 0–20–40–60 и т. д. При этом отпадает необходимость в указании высот уровней жидкости, достаточно измерить показания манометра по уровню одного колена стеклянной трубки. Измерение небольших давлений или разрежений до 25 мм вод. ст. (250 Па) однотрубными или U-образными жидкостными манометрами приводит к большим погрешностям при выполнении отсчета результатов измерения. Для увеличения масштаба показаний однотрубного манометра трубку наклоняют.

На таком принципе работают *жидкостные тягонапоромеры* ТНЖ (рис. 2), которые заправляются спиртом плотностью $\gamma = 0,85 \text{ г/см}^3$. В них жидкость из стеклянного сосуда вытесняется в наклонную трубку, вдоль которой расположена шкала, градуированная в мм вод. ст. (Па).

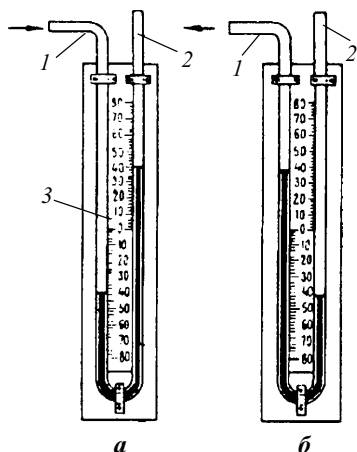


Рис. 1. U-образный манометр: *а* – для определения давления; *б* – для определения разрежения; 1 – конец трубки для подключения к измеряемой среде; 2 – открытый конец трубки, сообщаемый с атмосферой; 3 – шкала

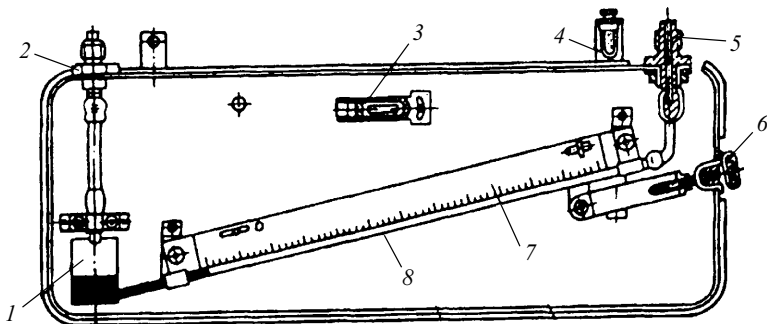


Рис. 2. Тягонапоромер жидкостный типа ТНЖ: 1 – стеклянный сосуд; 2, 5 – штуцеры; 3 – уровень; 4 – винт установки прибора по уровню; 6 – винт перемещения шкалы для установки нуля; 7 – шкала; 8 – наклонная трубка

При измерении разрежения импульс подсоединяется к штуцеру, который связан с наклонной трубкой, а при измерении давления – со штуцером, который связан со стеклянным сосудом.

На рис. 3 приведен однотрубный *чашечный тягонапоромер* типа ТДЖ, упрощающий процесс измерения, – отсчет измерения производится так же, как и в тягонапоромере типа ТНЖ, по показаниям столба жидкости в одной трубке.

Мембранные тягонапоромеры. В котельных с паровыми котлами ДКВР, ДЕ, водогрейными котлами ТВГ, КВ-Г используются, помимо перечисленных выше, *мембранные тягонапоромеры* (рис. 4).

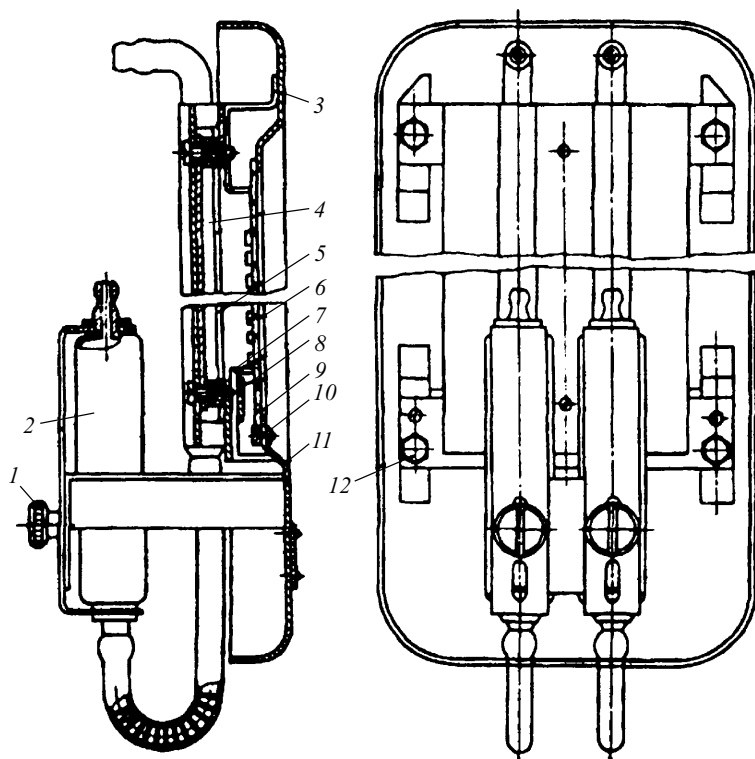


Рис. 3. Жидкостный дифференциальный тягонапоромер типа ТДЖ:

1 – винт-фиксатор; 2 – сосуд с жидкостью; 3, 7 – кронштейны; 4 – стеклянная трубка; 5 – шкала; 6 – зажим; 8 – шкала; 9 – стекло; 10 – упор; 11 – рамка; 12 – болт

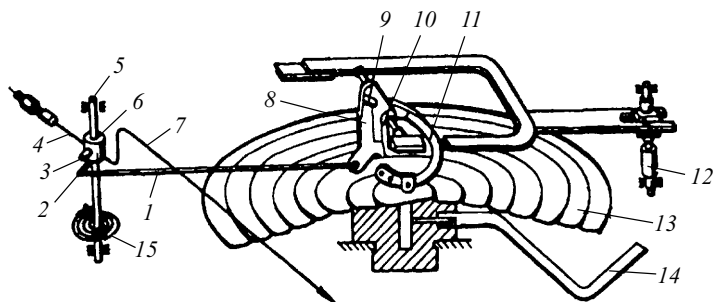


Рис. 4. Схема показывающего мембранного тягонапоромера ТМ-П1:
1 — тяга; 2, 8 — рычаги; 3, 9 — винты; 4 — ось балансирующих грузов;
5 — ось стрелки; 6 — втулка; 7 — стрелка; 10 — пружина; 11 — поводок;
12 — корректор; 13 — мембранная коробка; 14 — импульсная трубка;
15 — спиральная пружина

Рабочим элементом этого прибора служит спаянная из двух гофрированных мембран коробка 13, внутреннее пространство которой импульсной трубкой и соединено с топкой котла. При измерении разрежения мембранная коробка сжимается или распрямляется. Ее движение через рычажную систему передается на стрелку 7, которая перемещается вдоль шкалы, показывая величину разрежения. На нуль стрелку устанавливают с помощью винта-корректора 12. Спиральная пружина 15 служит для устранения влияния зазоров (люфтов) в сочленениях рычажного механизма.

Пружинные манометры. Для измерения давления от 0,6 до 1 600 кгс/см² используются пружинные манометры.

Рабочим элементом манометра (рис. 5) служит выгнутая трубка эллипсовидного или овального сечения, которая деформируется под

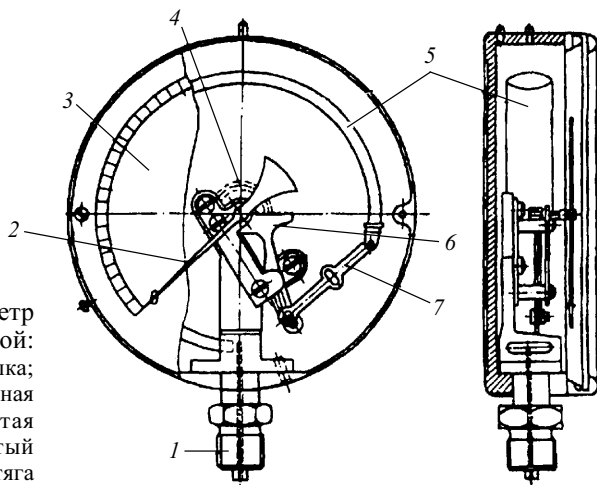
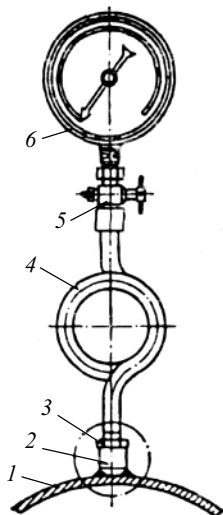


Рис. 5. Манометр с трубчатой пружиной:
1 — штуцер; 2 — стрелка;
3 — шкала; 4 — спиральная пружина; 5 — трубчатая пружинка; 6 — зубчатый сектор; 7 — тяга

действием давления. Один конец трубки запаян, а другой соединен со штуцером, которым подсоединяется к измеряемой среде. Закрытый конец трубки через тягу соединен с зубчатым сектором и центральным зубчатым колесиком, на ось которого насажена стрелка.



Под давлением измеряемой среды трубчатая пружина 5 выпрямляется, вращая при этом зубчатый сектор 6 и зубчатое колесико, а вместе с ними и стрелку 2. По шкале 3 отсчитывают величину измеренного давления. Плавное движение стрелки обеспечивает спиральная пружинка (волосок) 4.

Манометр 6 (рис. 6) присоединяется к котлу через сифонную трубку 4, в которой конденсируется пар или охлаждается вода и давление передается через охлажденную воду, чем предотвращается повреждение механизма от теплового действия пара или горячей воды, а также манометр защищается от гидравлических ударов.

Рис. 6. Установка манометра с сифонной трубкой:
1 – трубопровод (барабан); 2 – бобышка; 3 – гайка;
4 – сифонная трубка; 5 – трехходовой кран; 6 – манометр

Измерение температуры. В котельных для измерения температуры используются приборы, принцип работы которых основан на свойствах, проявляемых веществами при нагревании:

изменение объема – термометры расширения;

изменение давления – манометрические термометры;

появление термоЭДС – термоэлектрические пирометры;

изменение электрического сопротивления – термометры сопротивления.

1. *Жидкостные стеклянные термометры* (рис. 7, 8 и 9) состоят из стеклянной капиллярной трубки, закрепленной на шкале, градуированной в градусах Цельсия. Трубка соединяется с резервуарчиком, заполненным рабочей жидкостью – ртутью или спиртом, подкрашенным в темно-красный или фиолетовый цвет. Температура кипения ртути 357°C , а спирта – $78,3^{\circ}\text{C}$. Для повышения точки их кипения пространство над ртутью или спиртом заполнено инертным газом под давлением.

При нагревании резервуарчика жидкость, заполняющая его, увеличивается в объеме и поднимается, а при охлаждении опускается по капиллярной трубке.

Ртутным термометром можно измерить температуру от -38 до $+600^{\circ}\text{C}$, спиртовым от -70 до $+150^{\circ}\text{C}$.

На котлах и трубопроводах термометры устанавливают в металлические гильзы и для защиты их от повреждения надевают опрау.

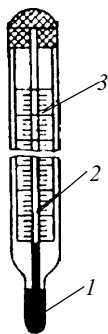


Рис. 7. Термометр ртутный технический типа ТТ:
1 – термобаллон; 2 – капиллярная трубка; 3 – шкала

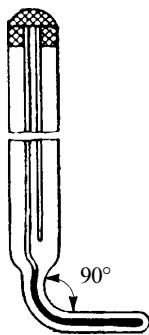


Рис. 8. Термометр ртутный типа ТТ с изогнутой нижней частью

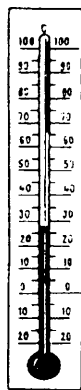


Рис. 9. Спиртовой термометр

На горизонтальных трубопроводах термометры устанавливают вертикально либо наклонно, а на вертикальных – под углом 30–35°.

Для лучшего восприятия тепла гильзы заполняют машинным маслом при измерении температуры до 150 °С, при измерении более высоких температур – мелкими опилками оплавленной красной меди.

2. *Манометрические термометры* (рис. 10, 11) служат для дистанционного измерения температуры. Принцип их действия основан на изменении давления жидкостей, газа или пара в замкнутом объеме в зависимости от температуры.

Род рабочего вещества определяет вид манометрического термометра:

жидкостные заполняются ртутью, ксилолом, толуолом при начальном давлении 15–20 кгс/см²;

газовые – инертным газом (азотом и др.);
парожидкостные – низкокипящей жидкостью (спиртом, эфиром, ацетоном и др.).

Граница измерения температуры от –150 до +660 °С зависит от вида рабочего вещества.

Манометрический термометр (см. рис. 10) состоит из термобаллона 1, манометрической пружины 5 и соединяющей их капиллярной трубки 2.

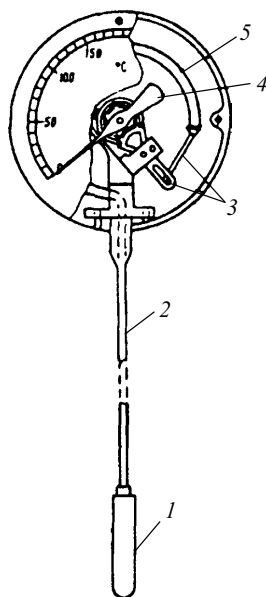


Рис. 10. Манометрический термометр:
1 – латунный термобаллон; 2 – капиллярная трубка;
3 – передаточный механизм; 4 – стрелка прибора;
5 – манометр с трубчатой пружиной и шкалой

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел первый. Общие сведения из теплотехники, электротехники и материаловедения	3
Глава первая. Основы теплотехники	3
Глава вторая. Краткие сведения из электротехники	18
Глава третья. Материаловедение	27
Глава четвертая. Чтение чертежей и схем	34
Раздел второй. Эксплуатация котлов	39
Глава пятая. Газообразное и жидкое топливо и его сжигание в топках котлов	39
Глава шестая. Котельные установки и вспомогательное оборудование	49
Глава седьмая. Водогрейные и паровые котлы	91
Глава восьмая. Водоподготовка	117
Глава девятая. Системы водяного отопления и горячего водоснабжения	126
Глава десятая. Газовые горелки и мазутные форсунки ...	135
Глава одиннадцатая. Газопроводы и газовое оборудование котельных	146
Глава двенадцатая. Автоматизация котельных	159
Глава тринадцатая. Эксплуатация основного и вспомогательного оборудования	210
Глава четырнадцатая. Аварийные ситуации и неисправности основного и вспомогательного оборудования	228
Глава пятнадцатая. Охрана труда, санитарные и противопожарные мероприятия	235
Глава шестнадцатая. Правила Котлонадзора по устройству и безопасной эксплуатации котлов, оборудования и трубопроводов	248
Приложения	255
Список литературы.....	270