

ТЕМА 10

ДИНАМИКА ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

10.1. Динамика давления в системе отопления с расширительным баком

Примем свободную поверхность воды в открытом расширительном баке за плоскость отсчета для определения избыточного гидростатического давления и будем считать уровень, на котором находится вода в баке, неизменным при определенных объеме и температуре воды в системе отопления. Тогда в толще воды в каждой точке системы отопления можно определить избыточное гидростатическое давление в зависимости от высоты столба воды, расположенного над рассматриваемой точкой (в связи с изменением положения точки).

В системе отопления (ее замкнутый контур изображен двойными линиями на рис. 10.1) с ненагреваемой водой при бездействии насоса, т. е. с водой равномерной плотности, находящейся в покое, избыточное гидростатическое давление в теплопроводах одинаково на любом рассматриваемом уровне (например, на уровне $I-I$ оно равно pgh_i , где h_i - высота столба воды или глубина погружения под уровень воды в расширительном баке 1). Наименьшее гидростатическое давление pgh_1 действует в верхней магистрали, наибольшее pgh_2 - в нижней, причем бездействующий насос 1 испытывает, как уже отмечалось, равное давление со стороны и всасывающего и нагнетательного патрубков.

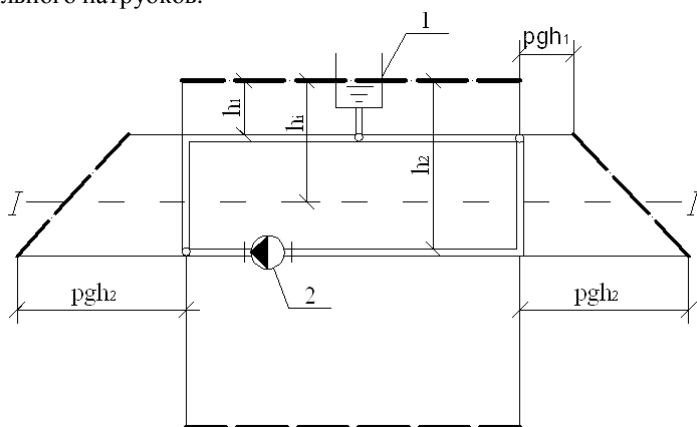


Рис. 10.1. Эюра гидростатического давления в системе отопления с ненагреваемой водой, находящейся в покое: 1 – открытый расширительный бак; 2 – циркуляционный насос (бездействует).

Значения избыточного гидростатического давления в трубах системы отопления нанесем на рис. 10.1 штрихпунктирными линиями в прямой зависимости от высоты столба воды h . Для ясности изображения проведем линии над верхней магистралью, под нижней магистралью, слева и справа от вертикальных труб. Показанные на рисунке штрихпунктирные линии называются пьезометрическими, а их совокупность – эпюрой гидростатического давления в статическом режиме.

В системе отопления при циркуляции с постоянной скоростью движения воды - вязкой жидкости энергия давления изменяется по длине теплотрасс. Вязкость и деформации потока обуславливают сопротивление движению воды. Они вызывают потери давления в потоке движущейся воды, переходящие в результате трения (линейные потери) и вихреобразования (местные потери) в теплоту.

Рассмотрим динамику гидростатического давления в системе отопления с нагреваемой водой при бездействии насоса - фактически в **гравитационной системе отопления** (рис. 10.2). Представим, что вода в системе отопления, нагреваемая в одной точке (ц. н. - центр нагревания), охлаждается в другой, выше расположенной (ц. о.- центр охлаждения). При этом плотность воды в левом стояке составит ρ_n , в правом - ρ_o . В такой вертикальной системе отопления при неравномерном распределении плотности воды возникает неуравновешенность гидростатических давлений в стояках и в результате естественная циркуляция воды.

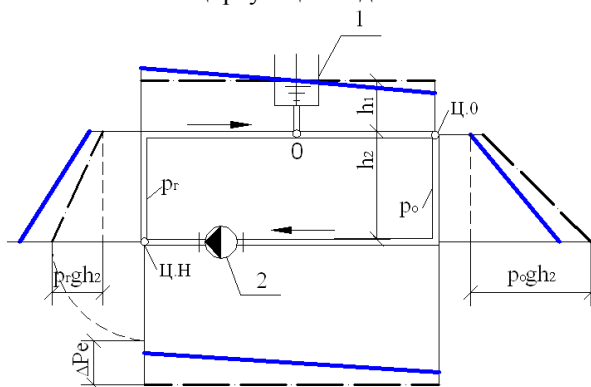


Рис. 10.2. Эпюра гидростатического давления в системе отопления с нагреваемой водой при бездействии насоса: 1– открытый расширительный бак; 2 – циркуляционный насос (бездействует); ц. н.– центр нагревания; ц. о.– центр охлаждения; 0 – точка постоянного давления.

Для определения значений гидростатического давления предположим,

что вода в системе на какое-то мгновение неподвижна. Тогда максимальное гидростатическое давление в нижней точке правого стояка с охлажденной водой будет (10.2)

$$g(r_2 h_i + r_o h_2), \quad (10.1)$$

а максимальное гидростатическое давление в левом стояке с нагретой водой

$$g(r_2 h_i + r_2 h_2), \quad (10.2)$$

Так как $r_o > r_2$, то гидростатическое давление в правом стояке при отсутствии циркуляции воды будет больше, чем в левом. Штрихпунктирные линии на рис. 10.2 изображают эпюру давления в статическом режиме. Различие в полученных значениях гидростатического давления, вызывающее циркуляцию воды по направлению часовой стрелки, выражает естественное циркуляционное (гравитационное) давление

$$\Delta P_e = r_o g h_2 - r_2 g h_2, \quad (10.3)$$

где h_2 – вертикальное расстояние между центрами охлаждения и нагревания воды или высота двух столбов воды – охлажденной и нагретой.

Из уравнения (10.3) можно сделать **выводы**:

а) естественное циркуляционное давление возникает вследствие различия в значениях гидростатического давления двух столбов охлажденной и нагретой воды равной высоты (ΔP_e на рис. 10.2);

б) величина естественного циркуляционного давления не зависит от высоты расположения расширительного бака (h_1 на рис. 10.2).

В общем виде **естественное циркуляционное (гравитационное) давление** в системе водяного отопления равняется

$$\Delta P_e = gh(r_o - r_2) \quad (10.4)$$

и его значение зависит от разности плотности воды и вертикального расстояния между центрами охлаждения и нагревания воды.

Под влиянием естественного циркуляционного давления в замкнутом кольце системы отопления устанавливается циркуляция воды, при которой давление ΔP_e , вызывающее циркуляцию, равно потерям давления при движении воды (ΔP_c – потери давления в системе).

$$\Delta P_e = \Delta P_c. \quad (10.5)$$

Гидростатическое давление в точке присоединения трубы расширительного бака к магистрали, равно $r_2 g h_1$ (см. рис. 10.2), при постоянном объеме воды в системе измениться не может. Эта точка называется **точкой постоянного давления** или «нейтральной» **точкой** системы отопления.

Во всех остальных точках теплопроводов системы гидростатическое давление при циркуляции воды изменяется вследствие попутной потери давления. Нанесем на рис. 10.2 вторую эпюру гидростатического давления в динамическом режиме – при естественной циркуляции воды в системе отопления (сплошные линии), начав построение с точки постоянного давления О.

Как видно, гидростатическое давление во всех остальных точках системы при циркуляции воды изменяется следующим образом: перед точкой О (считая по направлению движения воды) оно увеличивается, а после точки О – уменьшается по сравнению с гидростатическим давлением, предполагавшимся при отсутствии циркуляции. В частности, гидростатическое давление в любой точке левого подъемного стояка (с восходящим потоком воды) возрастает, а правого опускного стояка (с нисходящим потоком) убывает.

Можно констатировать, что при циркуляции воды в замкнутом контуре гравитационной системы отопления гидростатическое давление изменяется во всех точках, за исключением одной точки присоединения к системе трубы расширительного бака.

Перейдем к рассмотрению динамики давления в системе отопления с нагреваемой водой при действии циркуляционного насоса – **в насосной системе отопления**.

Насос, действующий в замкнутом кольце системы отопления, усиливает циркуляцию, нагнетая воду в трубы с одной стороны и засасывая с другой. Уровень воды в расширительном баке при пуске циркуляционного насоса не изменится, так как равномерно работающий лопастной насос обеспечивает лишь циркуляцию в системе неизменного количества практически несжимаемой воды. Поскольку при указанных условиях – равномерности действия насоса и постоянства объема воды в системе – уровень воды в расширительном баке сохраняется неизменным (безразлично, работает насос или нет), то гидростатическое давление в точке присоединения бака к трубам системы будет постоянным. Точка эта по-прежнему остается «нейтральной», т. е. на гидростатическое давление в ней давление, создаваемое насосом, не влияет (давление насоса в этой точке равно нулю).

Следовательно, точка постоянного давления будет местом, в котором

давление, развиваемое насосом, меняет свой знак: до этой точки насос, создавая компрессию, воду нагнетает, после нее он, вызывая разрежение, воду всасывает. Все трубы системы от насоса до точки постоянного давления (считая по направлению движения воды) будут относиться к **зоне нагнетания насоса**, все трубы после этой точки – к **зоне всасывания**.

Эюра гидростатического давления в динамическом режиме – при насосной циркуляции воды в системе отопления – показана на рис. 10.3 (сплошные линии). Видно, что в зоне нагнетания насоса – от нагнетательного патрубка насоса до точки постоянного давления O – гидростатическое давление за счет компрессии насоса увеличивается во всех точках, в зоне всасывания — от точки O до всасывающего патрубка насоса — уменьшается в результате разрежения, вызываемого насосом.

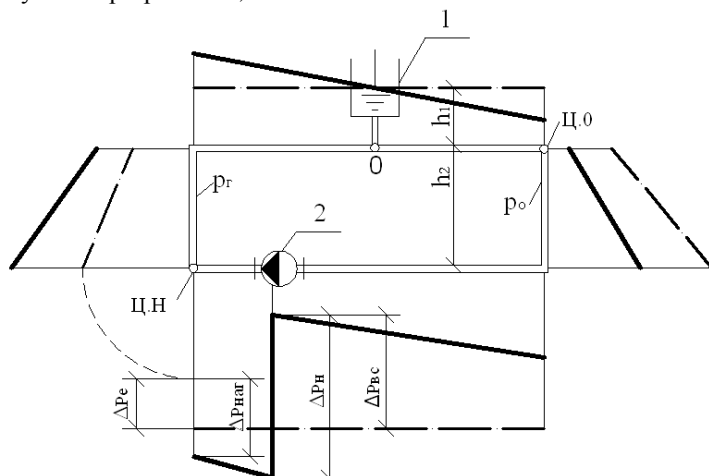


Рис. 10.3. Эюра гидростатического давления в системе водяного отопления при действии насоса: 1 — открытый расширительный бак; 2 — циркуляционный насос; O — точка постоянного давления

Можно расширить **вывод**, сделанный выше для гравитационной системы: при циркуляции воды и замкнутом кольце системы отопления – и гравитационной, и насосной – гидростатическое давление изменяется во всех точках за исключением одной точки – точки присоединения трубы расширительного бака.

Общие потери давления при движении воды в замкнутом кольце системы отопления ΔP_C выразим через потери давления в зоне нагнетания (обозначим их $\Delta P_{наг}$) и в зоне всасывания ($\Delta P_{вс}$) как

$$\Delta P_c = \Delta P_{наг} - \Delta P_{вс}, \quad (10.6)$$

Общее (насосное и гравитационное) циркуляционное давление при установившемся движении воды будет затрачиваться без остатка на преодоление линейных и местных сопротивлений в зонах нагнетания и всасывания.

С другой стороны $\Delta P_c = \Delta P_n + \Delta P_e$ (на рис. 10.3 показано, что ΔP_n меньше суммы $\Delta P_{наг} + \Delta P_{вс}$ на величину ΔP_e). Следовательно, общее (насосное и гравитационное) циркуляционное давление при установившемся движении воды будет затрачиваться без остатка на преодоления линейных и местных сопротивлений в зонах нагнетания и всасывания.

Сравнивая рис. 10.3 и 10.1, можно установить степень изменения гидростатического давления, связанную с потерями давления при циркуляции воды в системе отопления:

а) увеличение давления в любой точке в зоне нагнетания насоса равно потере давления в трубах от рассматриваемой точки до точки постоянного давления, т. е.

$$P_{i_{наг}} = rgh_i + \Delta P_{i-o}; \quad (10.7)$$

б) уменьшение давления в любой точке в зоне всасывания насоса равно потере давления в трубах от точки постоянного давления до рассматриваемой точки, т. е.

$$P_{i_{вс}} = rgh_i - \Delta P_{o-i}, \quad (10.8)$$

где h_i – высота столба воды от рассматриваемой точки до уровня воды в расширительном баке.

10.2. Мероприятия по предотвращению вскипания воды и подсосов воздуха в систему отопления

Очевидно, что в зоне нагнетания насоса следует считать (мы к этому вернемся) с повышением гидростатического давления по сравнению с давлением в состоянии покоя. Напротив, в зоне всасывания насоса необходимо учитывать понижение давления. При этом возможен случай, когда гидростатическое давление понизится до атмосферного и ниже.

Рассмотрим такой случай. На рис. 10.4 изображено изменение давления в верхней подающей магистрали системы отопления. В точке постоянного давления О гидростатическое давление равно rgh . В промежутке между точками О и В гидростатическое давление убывает в связи с потерей давления при движении воды по зависимости, изображенной на рисунке на-

клонной пьезометрической линией. В точке В – потеря давления $\Delta P_{O-B} = rgh$, т. е. $P_B = 0$ (избыточное давление равно нулю, а полное давление, как и на поверхности воды в расширительном баке, равно атмосферному давлению P_a . В промежутке между точками В и Б дальнейшая потеря давления вызывает разрежение – давление падает ниже атмосферного (знак минус на рисунке). Наиболее заметно давление понизится и разрежение достигнет наибольшей величины в точке Б. Здесь полное давление $P_B = P_a + rgh - \Delta P_{O-B} = P_a - \Delta P_{B-B}$. Затем в промежутке между точками Б и Г давление возрастает в связи с увеличением высоты столба воды от h до h_r , а разрежение уменьшается. В точке Г, где потеря давления $\Delta P_{O-\Gamma} = rgh_2$, избыточное давление вновь, как в точке В, равно нулю ($P_\Gamma = 0$), а полное давление равно атмосферному. Ниже точки Г избыточное гидростатическое давление быстро возрастает, несмотря на последующую потерю давления при движении воды.

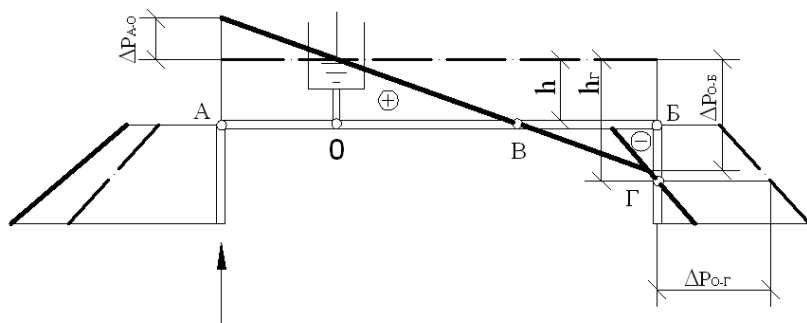


Рис. 10.4. Изменение гидростатического давления в верхней подающей магистрали системы отопления: О — точка постоянного давления; А — точка в зоне нагнетания; Б — точка наибольшего разрежения; В—Г — зона разрежения

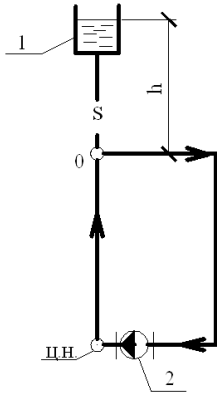
В промежутке между точками В и Г, особенно в точке Б, при давлении ниже атмосферного и при температуре воды, близкой к 100°C ($90\text{--}95^\circ\text{C}$), возможно вскипание и парообразование. При более низкой температуре воды, исключая парообразование, возможен подсос воздуха из атмосферы через резьбовые соединения труб и арматуры. Во избежание нарушения циркуляции из-за вскипания воды или подсасывания воздуха при проектировании и гидравлическом расчете системы водяного отопления должно соблюдаться правило: в зоне всасывания в любой точке i системы отопления гидростатическое давление при действии насоса должно оставаться избыточным, т. е. $P_i > P_a$; для этого должно удовлетворяться неравенство

$$rgh_i > \Delta P_{o-i}; \quad (10.9)$$

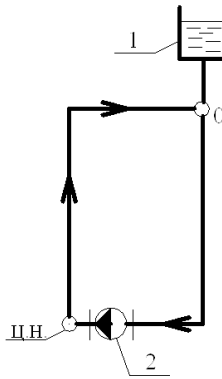
Возможны три способа выполнения этого правила:

- поднятие расширительного бака на достаточную высоту h (рис. 10.5, а);
- перемещение расширительного бака к наиболее опасной верхней точке с целью включения верхней магистрали в зону нагнетания (рис. 10.5, б);
- присоединение труб расширительного бака близ всасывающего патрубка насоса (рис.10.5,в).

а)



б)



в)

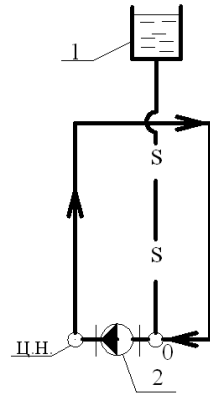


Рис. 10.5. Способы присоединения труб открытого расширительного бака к системе водяного отопления: а – к главному стояку системы; б – в верхней точке системы, наиболее удаленной от центра нагревания (ц.н.); в – близ всасывающего патрубка циркуляционного насоса