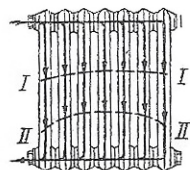


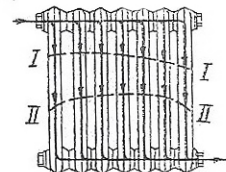
Структура и схемы потока воды в колонных радиаторах

Сложность геометрических форм радиаторов затрудняет аналитическое определение их теплоотдачи. Поэтому автором было проведено экспериментальное исследование. Для уяснения полученных данных ниже приводятся некоторые дополнительные, в том числе приближенные графические материалы, относящиеся к 16 различным схемам присоединения трубопроводов к радиаторам (рис. 1). Достоверность схем во многом

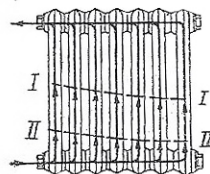
a)



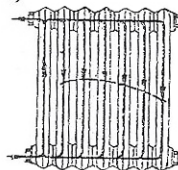
б)



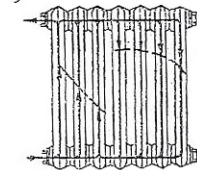
в)



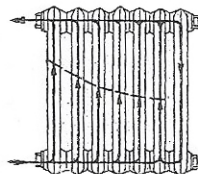
г)



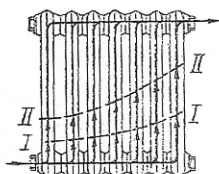
д)



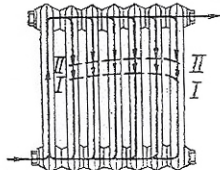
е)



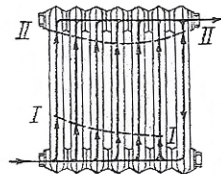
ж)



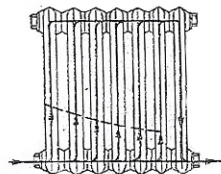
з)



и)



к)



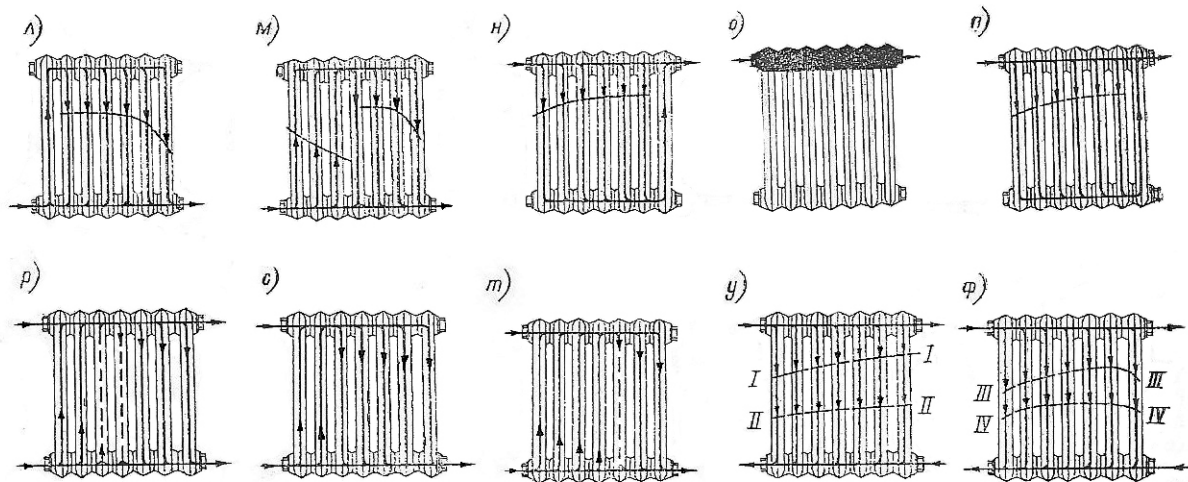


Рис. 1. Схемы циркуляции воды в радиаторах при различном присоединении их к трубопроводам

базируется на непосредственных визуальных наблюдениях над частично остекленными или полностью стеклянными двухколонными радиаторами.

Уже указывалось,¹ что при верхнем питании колонки горячей воды и отводе охлажденной снизу гравитационное и принудительное давления действуют в одном направлении. Наибольшие скорости — вдоль оси колонки. При $Re < 200$ — ламинарное течение; при $Re > 200$ — локонообразные завихрения с движением по винтовой линии. Более выравненные эпюры при неподогретой воде.

При нижнем питании колонки горячей водой гравитационное и принудительное давления действуют в противоположных направлениях. Циркуляция в колонке по схеме «фонтана»: восходящий, более горячий поток — в центре и падающий — в кольцевой зоне у охлаждающейся поверхности. Толщина кольца больше у мест наибольшего охлаждения колонки. Доли расходов восходящего и падающего потоков определяются соотношением указанных давлений.

В нижельных рядах — последовательное сочетание расширения и поджата струи с изменением транзитного расхода. Деление и слияние потоков происходит плавно. Вихреобразования в нижельных рядах при $Re > 150$. На равномерности поля скоростей ряда сказывается величина расхода в примыкающей секции. При некоторых присоединениях трубопроводов в нижельном ряду возникают встречные течения.

При малом принудительном давлении в колонках образуются свои циркуляционные кольца: в тыльных — восходящий поток, во фронтальных — падающий.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ К РАДИАТОРУ «СВЕРХУ — ВНИЗ», ОДНОСТОРОННЕЕ

Схема циркуляции дана на рис. 1, а. При изменении параметров воды возникало некоторое перераспределение расходов по секциям. Схема циркуляции сохранилась.

При неподогретой воде ($t = 10 \div 14$ град) с расходами в пределах $30 \div 500$ кг/м² час соотношение скоростей воды в секциях происходило по кривым I—I, отвечающим $G = 72$ кг/м² час ($t_{\text{помещения}} = 16$ град). Средние скорости (при расходе подводимой к прибору воды $G = 90$ кг/м² час) в первой секции примерно составляют $v_1 \approx 1,1 \cdot v_{\text{ср}}$ м/сек, в последней (седьмой) $v_{VII} \approx 0,95 \cdot v_{\text{ср}}$ м/сек, где $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость потока в секциях прибора.

При большей температуре подводимой воды сильнее возрастали скорости в крайних секциях из-за большего охлаждения в них воды (кривая II—II, отвечающая $G = 70$ кг/час · м²).

¹ Некоторые предварительные сведения были приведены автором в докладе «Опытные наблюдения циркуляции воды в радиаторе» на XV научно-технической конференции ЛИСИ, 1957.

$t_r = 80 \text{ град}$, $t_0 = 73,6 \text{ град}$). В этом случае $v_1 \approx 1,5 v_{\text{ср}}$; $v_{VII} \approx 1,15 v_{\text{ср}}$. Очевидна меньшая равномерность распределения при повышении температуры подаваемой воды.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ «СВЕРХУ — ВНИЗ», ДИАГОНАЛЬНОЕ

Схема представлена на рис. 1, б. Направление движения воды, устойчивость циркуляции и причины изменения расходов воды в секциях, как в предыдущем случае.

При неподогретой воде с расходами $30 \div 500 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ средние скорости в колонках — по линии I—I ($G_1 = 120 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$, $t_{\text{пом}} = 15,5 \text{ град}$): $v_1 \approx 0,9$, $v_{\text{ср}}$ м/сек, $v_{VII} \approx 1,2 v_{\text{ср}}$. При расходах $30 \div 360 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ с температурой $40 \div 95 \text{ град}$ примерные скорости — по линии II—II ($G_2 = 120 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$, $t_r = 80 \text{ град}$, $t = 76,1 \text{ град}$, $t_{\text{пом}} = 17 \text{ град}$). В последнем случае $v_1 \approx 1,1 \cdot v_{\text{ср}}$; $v_{VII} \approx 1,7 \cdot v_{\text{ср}}$.

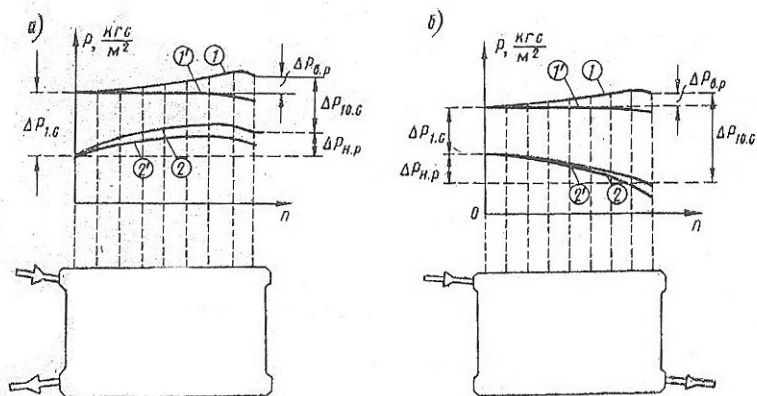


Рис. 2. Распределение статических давлений в радиаторах:

а — при одностороннем «сверху—вниз» присоединении к трубопроводам; б — то же, при диагональном

Полученные результаты не подтверждают установившихся представлений о большей равномерности циркуляции при этом присоединении, при котором сильнее оказалась циркуляция через последние элементы, но зато слабее в средних секциях.

Интенсивность перемещения жидкости в параллельно соединенных колонках характеризуется разностью статических давлений в вертикальных сечениях соответствующих соединительных ниппелей. На рис. 2 даны своеобразные картины рас-

пределения статических давлений для обеих схем присоединения трубопроводов (параметры подаваемой воды: $G = 80 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$, $t_r = 70 \text{ град}$; в помещении — 16 град). Особый интерес представляет примерное равенство этих давлений приходящихся на колонки при одностороннем присоединении трубопроводов. Эта равномерность усиливается с понижением температуры греющей воды (сближается теплоотдача средних и крайних секций).

Малое снижение и даже повышение статического деления в верхнем ниппельном ряду может объясняться делением в нем потока и переходом динамического давления в статическое. В нижнем ряду, наоборот, путь движения воды сопровождается смешиванием потока, наращиванием расхода, а потому и увеличением динамического давления за счет статического.

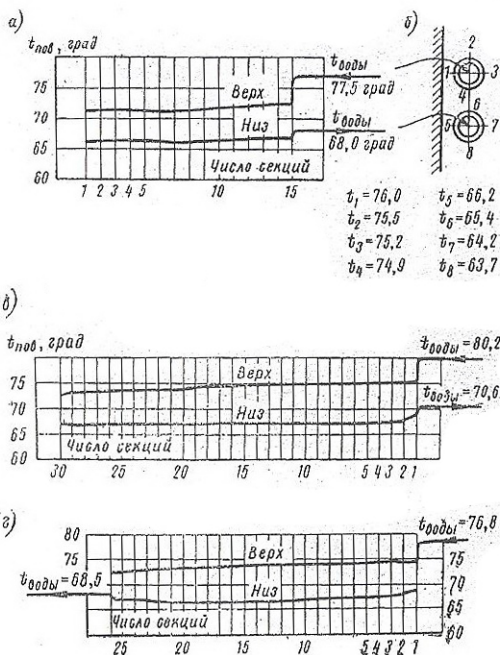


Рис. 3. Температуры на поверхности.
а, в, г — радиаторов; б — присоединительных труб

Эксперименты показали, что при указанных параметрах рост статического давления в верхнем ниппельном ряду составлял около $\Delta P_{в.р} \approx 2 \text{ кгс/м}^2$ (кривая I). Лишь при увеличении расходов воды наблюдалось снижение этого давления (кривая I') до $\Delta P_{в.р} \approx 1 \text{ кгс/м}^2$. Величины $\Delta P_{1с}$ и $\Delta P_{10с}$ — статические давления, расходуемые в самих колонках I и 10-й секций радиатора. В результате изменения давлений в верхнем ряду перестраивалось распределение давлений и в нижнем.

Наши наблюдения приводят к суждению о целесообразности увеличения сопротивления колонок (уменьшением их сечения) по отношению к сопротивлениям вдоль ниппельных рядов.

Дальнейшие наблюдения подтверждают достаточно равномерный прогрев радиаторов, собранных даже из значительного числа секций, при одностороннем («сверху — вниз») питании их греющей водой. На рис. 3 измеренное термощупом распределение температур на поверхностях трех сопоставленных радиаторов на 15, 26 и 31 секцию действующей двухтрубной системы насосно-водяного отопления (приблизительно $G \approx 30 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$). Интересен и факт неодинаковости температур на поверхностях подводящих трубопроводов (рис. 3, б).

ПРИСОЕДИНЕНИЕ «СНИЗУ—ВВЕРХ», ОДНОСТОРОННЕЕ

На рис. 1, в линии I—I и II—II показывают характер распределения неподогретой воды при расходах $G_I = 54 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ и $G_{II} = 150 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$. При питании горячей водой существенно менялись схема и расходы в секциях.

Рис. 1, г, д, е отвечают случаям подачи горячей воды с температурой 75 град при трех диапазонах ее количеств: $24 \div 42$, $60 \div 120$ и $200 \div 270 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$. Выявлены секции и с подъемными фонтанными и падающими (занимающими все сечение колонки) токами воды, а также явления подмешивания охлажденной воды из колонок к подводимой горячей, направляющейся к другим секциям. В отдельных случаях процесс смешивания захватывает несколько секций.

В отличие от случаев верхнего питания присоединение по этому способу обуславливает изменение и неустойчивость схемы, особенно при малых расходах и высоких температурах подводимой воды. С увеличением ее количества (тем самым и принудительного давления) растет число секций с подъемными токами, а с повышением ее температуры (увеличение роли гравитационного фактора) число таких секций убывает.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ «СНИЗУ — ВВЕРХ», ДИАГОНАЛЬНОЕ

При неподогретой воде в количествах $30 \div 380 \text{ кг/м}^2\text{час}$ возникают схемы по рис. 1, ж. Линии I—I и II—II характеризуют распределение скоростей соответственно при $G_I = 70$ и $G_{II} = 150 \text{ кг/м}^2\text{час}$ подводимой воды к радиатору.

При питании горячей водой схемы неустойчивы и существенно меняются. На рис. 1, з указаны схемы для количества воды $24 \div 42 \text{ кг/м}^2\text{час}$ и при температуре 95 град (линия I—I) и 80 град (линия II—II). Понижение температуры до 40 град (те же расходы) вызывало сначала замедление циркуляции во второй секции, а затем установление в ней, как и в первой, восходящего потока.

На рис. 1, и линия I—I отвечает режиму: $t_r = 80 \text{ град}$ и $G_I = 156 \text{ кг/м}^2\text{час}$; линия II—II — $t_r = 80 \text{ град}$ и $G_{II} = 600 \text{ кг/м}^2\text{час}$.

При анализируемом присоединении повышение количества подводимой воды увеличивает число секций с восходящим током; с ростом ее температуры число таких секций убывает.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ — «СНИЗУ — ВНИЗ»

При неподогретой воде в количествах $36 \div 240 \text{ кг/м}^2\text{час}$ возникают схема и примерное распределение по рис. 1, к. При питании горячей водой схема неустойчива и циркуляция изменяется в зависимости от параметров теплоносителя. На рис. 3, л — схема, когда $t_r = 82 \text{ град}$, $G = 30 \text{ кг/м}^2\text{час}$, $t_0 = 74,2 \text{ град}$. При этом же расходе воды более низкой температуры подъемный поток возникает уже в двух первых секциях. Такая же циркуляция выявлена и при увеличении расхода. На рис. 1, м дана схема, когда $G = 360 \text{ кг/м}^2\text{час}$, $t_r = 82 \text{ град}$, $t_0 = 81,2 \text{ град}$ (три секции с восходящим потоком).

В нижнем ниппельном ряду обнаружено смешивание подаваемой горячей воды с охлажденной водой из колонок. Такое смешивание у отдельных секций происходит даже при существовании потоков (по кратчайшему пути) вдоль средних и верхних областей этого ряда; обращает на себя внимание увеличенная протяженность путей циркуляции отдельных струек, перемещающихся в ряде случаев последовательно через колонки с восходящим или падающим потоком.

Изменяемость числа секций с восходящим фонтанным потоком не согласуется с данными других авторов, утверждавших существование в радиаторе лишь одной (первой) секции с восходящим потоком.

Для неподогретой воды в количествах $30 \div 270 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ схема и примерное распределение скоростей — на рис. 1, н.

При подаче к радиатору воды с температурой до 96 град , но в малых (до $30 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$) количествах сколько-нибудь ощутимого перемещения воды в колонках не обнаружено; сильно прогрелся лишь верхний ниппельный ряд (рис. 1, о). При расходах свыше $150 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ ($t_r = 80 \text{ град}$, $t_0 = 79 \text{ град}$) устанавливались схема и примерное распределение скоростей по рис. 1, п), обеспечивалась достаточно хорошая прогреваемость радиатора.

Результаты исследования доказывают возможность использования этого практически весьма удобного способа присоединения (для радиаторов подвала к обратной магистрали или горизонтальным веткам, расположенным над приборами).

ПРИСОЕДИНЕНИЕ — «ДВОЙНОЕ С ОБЕИХ СТОРОН РАДИАТОРА»

И при неподогретой, и при горячей воде, подаваемой к радиатору (рис. 1, р), схема и распределение по колонкам неустойчивы. Они зависят от параметров теплоносителя и во многом от соотношения расходов, подаваемых сверху и снизу к радиатору, $G_{г.в}/G_{г.н}$.

Отмечается возникновение подъемных токов в колонках, ближайших к месту подачи теплоносителя, и падающих — в удаленных секциях. При некоторых соотношениях $G_{г.в}/G_{г.н}$ в колонках средних секций радиаторов обнаружены ухудшения циркуляции и весьма малые, близкие к нулю, средние скорости воды.

На рис. 1, р даны схема и примерное распределение скоростей при $G_{г.в} = G_{г.н} = 70 \div 240 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ и $t_r = 80 \text{ град}$. С увеличением температуры греющей воды, а также с уменьшением соотношения $G_{г.в}/G_{г.н}$ возникает большее число секций с восходящим потоком.

Эти данные говорят о возможности ухудшения циркуляции и об относительно большой сложности ее расчета (и теплоотдачи) в соответственно присоединенном радиаторе.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ — «ПОДАЧА НИЖНЯЯ И ВЕРХНЯЯ; ОТВОД — СНИЗУ С ПРОТИВОПОЛОЖНОЙ СТОРОНЫ»

Выводы для предыдущего присоединения в основном справедливы и для настоящего.

На рис. 1, с и 1, т даны типичные схемы и распределение скоростей.

Для рис. 1, с $G_{г. в}/G_{г. н}=0,65$, $G_r=36 \div 60 \text{ кг/м}^2\text{час}$, $t_r=80 \text{ град}$; для рис. 1, т $G_{г. в}/G_{г. н}=0,65$, $G_r=180 \div 480 \text{ кг/м}^2\text{час}$, $t_r=77 \text{ град}$.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ — «ПОДАЧА НИЖНЯЯ И ВЕРХНЯЯ С ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ СТОРОН; АНАЛОГИЧЕН ОТВОД ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ»

Для неподогретой воды — схема по рис. 1, у. Линия I—II ($G_r=36 \div 90 \text{ кг/м}^2\text{час}$) более крутая, чем II—II ($G_{II}=180 \div 440$); $G_{г. в}/G_{г. н}=0,5$.

При горячей воде и том же соотношении $G_{г. в}/G_{г. н}=0,5$ ощутимо возрастают расходы через крайние секции (рис. 1, ф). Линии III—III для режима $t_r=70 \text{ град}$, $G_r=30 \text{ кг/м}^2\text{час}$; линия IV—IV для $t_r=95 \text{ град}$, $G_r=180 \text{ кг/м}^2\text{час}$.

Эксперименты указывают на устойчивость этих схем циркуляции.

Выводы

Можно считать установленными:

1. Примерные, в зависимости от параметров теплоносителя, картины циркуляции в радиаторах при всех практически встречающихся схемах присоединения их к трубопроводам.

2. Устойчивость схем циркуляции при верхней подаче теплоносителя.

3. Отсутствие преимуществ в равномерности посекционного раздачи воды для присоединения «сверху — вниз» диагонально по сравнению с присоединением «сверху — вниз» односторонне.

4. Перестройка (неустойчивость) схем циркуляции при изменении параметров воды для условий ее нижней подачи радиаторам.

5. Ухудшение циркуляции в средних секциях радиаторов при подаче воды одновременно к обоим ниппельным рядам.

6. Недопустимость применения схемы присоединения трубопроводов к радиатору «сверху — вверх» при малом принудительном насосном давлении и, наоборот, возможность применения такого присоединения при подаче значительных количеств воды (например, за счет последовательного соединения радиаторов).

7. Целесообразность усиления принудительного давления

для стабилизации схемы циркуляции в радиаторе в случаях нижней подачи воды.

8. Сложность явлений гидродинамики и теплообмена в радиаторах, особенно для условий нижней подачи воды, при существенных гравитационных и малых принудительных ее давлениях (неустойчивость, перестройка схем циркуляции изменяют температурные поля радиаторов, закономерности и величину теплообмена).

9. Большое, еще недостаточно оцененное в практике, влияние способа присоединения трубопроводов и параметров воды на гидравлику в радиаторах, на эффективность их теплоотдачи.

10. Возможность общего повышения гидравлической, а следовательно, и тепловой устойчивости работы радиаторов и других колонных приборов путем уменьшения сечения их каналов, применения последовательного соединения секций приборов (усиливается принудительное давление).