

Оптимизация конструкции горизонтальных систем водяного отопления с квартирными станциями

А.Ю. Каширкин^{1,2}, С.М. Усиков^{1,2}

¹ *Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук*

² *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

Аннотация: Современные конструкции систем водяного отопления насыщены разными видами регуляторов, но применение их чаще обосновано не системным подходом, а решениями, необходимыми для работы системы в отдельных ее частях. Целями выполнения представленной работы являются получение и систематизация экспериментальных данных для изучения переменного гидравлического режима работы горизонтальных систем водяного отопления с применением квартирных станций. В данной работе сформулирована проблема в области разработки современных систем водяного отопления, требующая решения. Проведен разбор схемного решения системы отопления, а также возможные варианты конструктивных решений. На стенде-имитаторе проведена имитация многовариантного гидравлического режима работы системы отопления многоквартирного жилого дома. Приведены результаты экспериментального исследования, и на основании изменения проектных расходов, и значения регулируемого перепада давления в частях системы, сделаны предложения, позволяющие снизить стоимость систем водяного отопления возводимых зданий, а также предполагающие увеличения простоты наладки и качества регулирования систем.

Ключевые слова: балансировочная арматура, исследование гидравлических характеристик, водяная система отопления, автоматические регуляторы.

Введение

В настоящее время, на действующих и строящихся объектах строительства, присутствует огромное разнообразие конструктивных решений систем отопления, иногда обоснованных, иногда нет. На появление такого разнообразия повлияли как исторические факторы, так и влияние экономической выгоды. Важную роль сыграло появление новых образцов оборудования, трубопроводной арматуры, трубопроводных систем, а затем и их последующее удешевление в производстве. К сожалению, некоторые решения появлялись исключительно от некомпетентности лиц, принимающих решение.

Водяные системы отопления в современном строительстве оснащаются огромным количеством запорной и регулирующей арматуры, средствами автоматического регулирования. В первую очередь это необходимо для обеспечения наибольшей гидравлической и тепловой устойчивости системы [1], поддержания теплового комфорта, а также энергосбережению. Однако, избыток данного оборудования может сказаться на стоимости системы, а отдельные регулирующие элементы могут оказывать разностороннее действие, приводя систему к разрегулировке.

Таким образом, актуальной представляется оптимизация конструкции систем водяного отопления путем определения возможного стабилизирующего диапазона работы регулирующей арматуры.

В современных системах водяного отопления, согласно требованиям СП 60.13330.2020, необходима установка автоматических регуляторов у каждого отопительного прибора, для регулирования его теплоотдачи, а также при необходимости регулирующей арматуры в узлах системы для регулирования гидравлического режима работы [2–4].

В настоящей работе будет проведена оценка необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления в горизонтальных системах отопления с применением квартирных станций. Такой вариант, в отличие от варианта с этажными станциями [5–6], обладает значительным преимуществом – исключается прокладка труб в конструкции пола в межквартирном коридоре, что полностью исключает его перегрев, а значит снижение бесполезных тепловых затрат системы [7–8]. Однако, и в этом варианте на каждую квартиру устанавливается отдельный балансировочный клапан, который при низких расходах теплоносителя может приводить к значительным нарушениям точности регулирования [9]. Также могут использоваться квартирные модули более сложного исполнения [10]. На рис. 1. представлены примеры установки квартирных станций между стояком и

квартирой. В данных станциях широкое применение получили не только регуляторы перепада давления, но и комбинированные балансировочные клапаны. Такие клапаны являются регуляторами перепада давления с функцией ограничения расхода.



Рис. 1. – Пример установки квартирных станций

Формулировка требования пункта 6.2.12 СП 60.13330.2020 не говорит о необходимости установки комбинированных балансировочных клапанов в системах отопления, также открытым остается вопрос необходимости установки балансировочной пары в начале стояка системы, в квартирной станции, или все же необходимо устанавливать данные регуляторы и на стояке, и в станции.

Важно понимать, что точность поддержания перепада давления комбинированным клапаном сильно зависит от режима работы системы. Согласно требованиям ГОСТ Р 70338-2022 комбинированный клапан должен обеспечивать поддержание перепада давления в точке закрытия в пределах $\pm 20\%$ от значения, указанного производителем. При изменении нагрузки

внутри контролируемого контура клапан должен обеспечивать ограничение расхода с точностью $\pm 20\%$ в диапазоне от минимального заявленного производителем не ниже 2 бар или от максимального заявленного производителем, если он ниже 2 бар.

На рис. 2 представлена принципиальная схема рассматриваемой системы водяного отопления с установленными регуляторами, на которой представлены интересующие величины потери давления в элементах системы. При установке на выходе из ИТП регулятора перепада давления, или применения отдельного насоса с частотным преобразователем для данной системы, располагаемый системой перепад давления $\Delta P_{\text{расп}}$ можно принимать постоянным $\Delta P_{\text{расп}} = \text{const}$ в определенном диапазоне. Если же предусматривается установка насоса без частотного преобразователя, с фиксированной выбранной настройкой, то это значение может колебаться в диапазоне от $\Delta P_{\text{расп}}^{\text{мин}}$ до $\Delta P_{\text{расп}}^{\text{макс}}$, где $\Delta P_{\text{расп}}^{\text{макс}}$ – максимальное давление, создаваемое на выходе из насоса при практически полном закрытии системы, а минимальное давление зависит от напорно-расходной характеристики насоса и характеристики сопротивления системы $S_{\text{мин}}$, при полностью открытых регуляторах всей системы, и может быть определено по формуле:

$$\Delta P_{\text{расп}}^{\text{мин}} = S_{\text{мин}} G_{\text{макс}}^2, \quad (1)$$

где $G_{\text{макс}}$ – максимально-возможный массовый расход теплоносителя, циркулирующего через систему, кг/ч.

Данное располагаемое давление расходуется на преодоление потери давления во всех элементах гидравлического контура системы, по любому из выбранных гидравлическому кольцу:

$$\Delta P_{\text{расп}} = \Delta P_{\text{потеря}} = \Delta P_{\text{маг}} + \Delta P_{\text{ст},k}, \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{маг}}$ – потеря давления в магистралях циркуляционного кольца, Па; $\Delta P_{\text{ст},k}$ – потеря давления в стояке циркуляционного кольца, Па, который

включает в себя потерю давления на АРПД стояка $\Delta P_{АРПД,k}$, и потерю давления на регулируемом им участке $\Delta P_{рег,k}$:

$$\Delta P_{ст,k} = \Delta P_{АРПД,k} + \Delta P_{рег,k}, \text{ Па.} \quad (3)$$

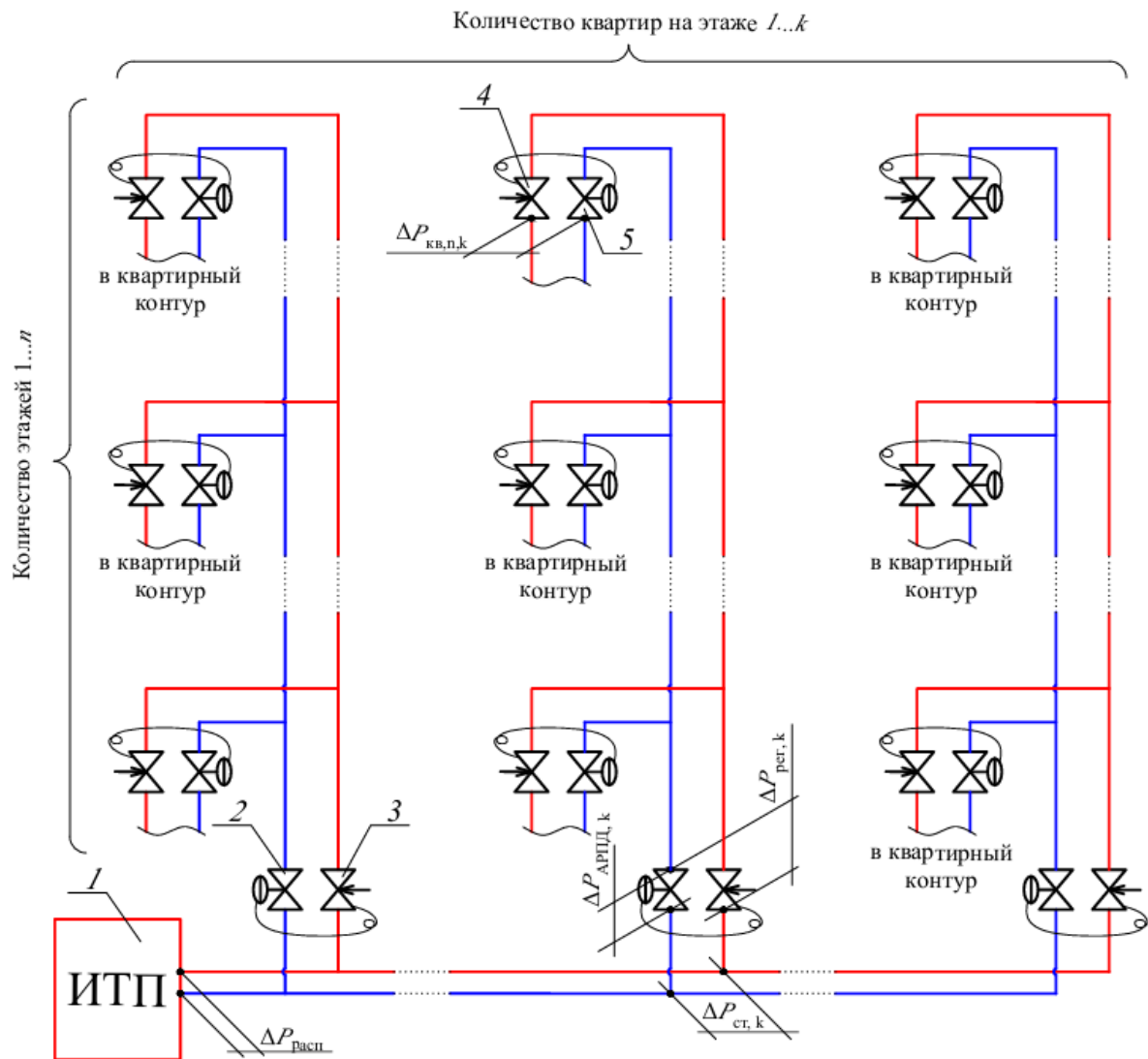


Рис. 2. – Принципиальная схема горизонтальной системы отопления с применением квартирных станций:

1 – индивидуальный тепловой пункт здания; 2 – автоматический регулятор перепада давления (АРПД) на стояке; 3 – клапан балансировочный ручной на стояке; 4 – клапан балансировочный ручной на этаже; 5 – комбинированный балансировочный клапан на этаже.

При этом $\Delta P_{\text{рег},k}$ складывается из потери давления в трубах и арматуре стояка, потери давления на клапане дублере 3, а также потери давления на этажной ветви, которая в свою очередь является суммой потери давления на квартирном комбинированном клапане $\Delta P_{\text{АРПД},k}$, а также потерей в регулируемом им участке (в квартирном контуре) $\Delta P_{\text{кв},n,k}$.

Таким образом, комбинированный балансировочный клапан на этаже 5 призван стабилизировать возможный перепад давления в квартирном контуре [1–3]. Это необходимо в первую очередь для исключения взаимного влияния процесса регулирования между этажами системы, а также для исключения шума, возникающего в термостатах потребителей при высокой степени их закрытия и высокого располагаемого давления в квартирном контуре [11].

В свою очередь, АРПД на стояке 4 необходим для исключения взаимного влияния процесса регулирования между стояками системы, обеспечивая стабильный перепад давления в регулируемом участке. С другой стороны, своим присутствием он уменьшает располагаемое давление перед квартирной станцией, что может ограничивать его возможности регулирования. Кроме того, возможное снижение расхода на стояке, в следствии закрытия термоклапанов в системе (например, при значительном теплоступлении из-за солнечной радиации на южный фасад здания), может привести к тому, что расход на этажном стояке упадет настолько, что комбинированный клапан на этаже 5 выйдет за границы погрешности регулирования. Решение данной задачи с точки зрения расчетов имеет место быть, однако, как правило, не учитывает изменения справочных величин сопротивлений элементов при режиме течения теплоносителя вне зоны квадратичного сопротивления. Более объективное решение можно получить проведением натуральных экспериментов.

Методы исследования

Для определения гидравлической устойчивости был разработан экспериментальный стенд, имитирующий систему водяного отопления, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.

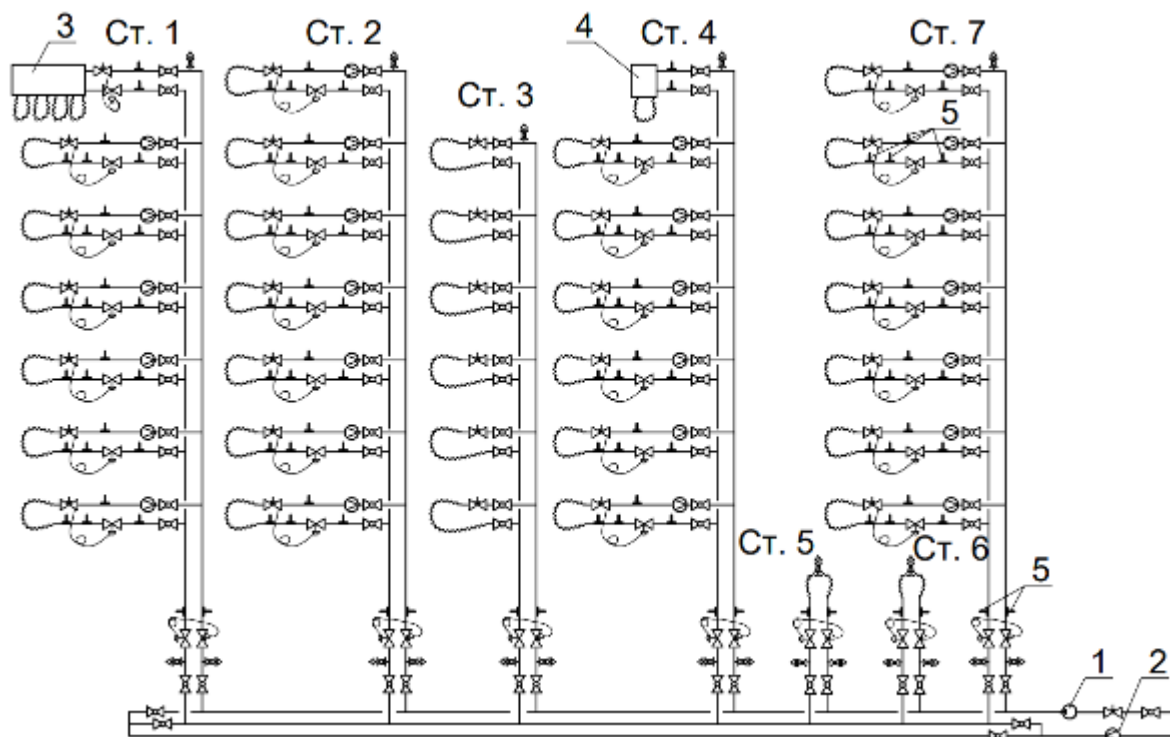


Рис. 3. – Принципиальная схема стенда-имитатора:

1 – циркуляционный насос; 2 – электромагнитный расходомер ЭРСВ-541Ф; 3 – этажная станция на 4 квартиры; 4 – квартирная станция; 5 – точки отбора давления

Стенд представляет из себя магистрالي и стояки некоторого гидравлического контура, циркуляция теплоносителя в котором осуществляется насосом. Первые два стояка подключены по схеме – имитации поквартирных систем отопления с этажными станциями на 7 этажей, основание стояков выполнено из водопроводных труб Ду 50. Третий стояк имитирует лестничную клетку, где стояки подключены по двухтрубной схеме, основание стояка выполнено из труб Ду 20. Четвертый и седьмой стояк имитируют систему с поквартирными станциями, а стояк 5 и 6

подключен по универсальной схеме – просто через регулятор перепада давления, предполагая в начальных условиях, что это тоже имитация стояков 4 и 7. Основание стояков 4, 5, 6 и 7 выполнено из труб Ду 25. Магистралы выполнены из электросварных труб Ø89х3,5 мм.

На рисунках 4 – 8 показаны основные узлы стенда-имитатора.

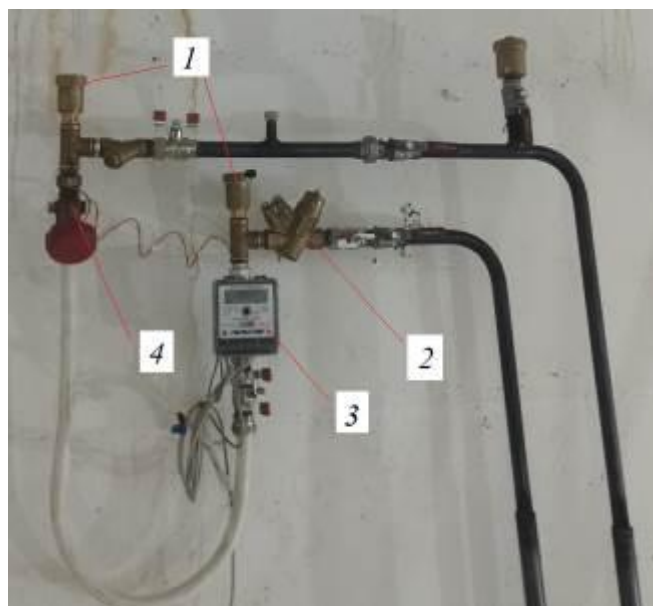


Рис. 4. – Внешний вид узла квартирной станции Ст. 4:

1 – воздухоотводчики; 2 – клапан динамический балансирующий комбинированный FlowCon ADP DN15; 3 – теплосчетчик механический Пульсар Ду15; 4 – балансирующий клапан STRÖMAX-MR DN15 - 1/2" (4117 MR)

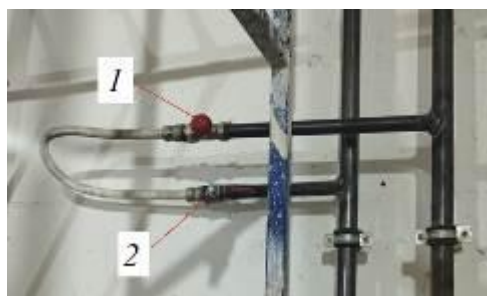


Рис. 5. – Внешний вид этажного узла Ст. 3:

1 – термостатический клапан TS-90-V с плавной скрытой преднастройкой; 2 – шаровой кран DN15

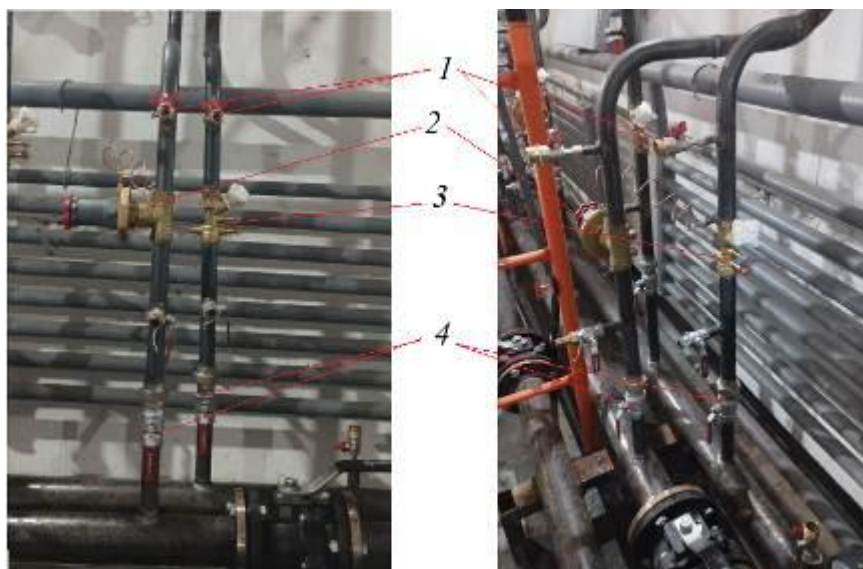


Рис. 6. – Внешний вид узла подключения Ст. 4 и 7:

1 – точки отбора давления с установленными кранами под манометр; 2 – клапан балансирующий GIACOMINI 1" со штуцерами для измерения разницы давления (R206BY005); 3 – клапан балансирующий GIACOMINI 1" со штуцерами для измерения разницы давления (R206BY005); 4 – шаровый кран для отключения стояка DN25

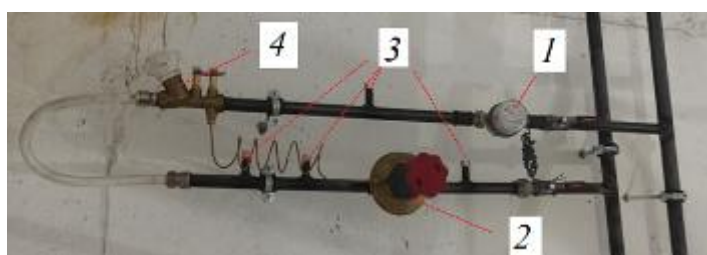


Рис. 7. – Внешний вид узла имитации квартирной станции Ст. 4 и Ст. 7:

1 – механический счетчик воды типа VLF-15U-I Ду 15; 2 – регулятор дифференциального давления GIACOMINI R206C DN20 - 1/2" (R206CY103); 3 – точки отбора давления; 4 – клапан балансирующий GIACOMINI 1/2" со штуцерами для измерения разницы давления (R206BY003)

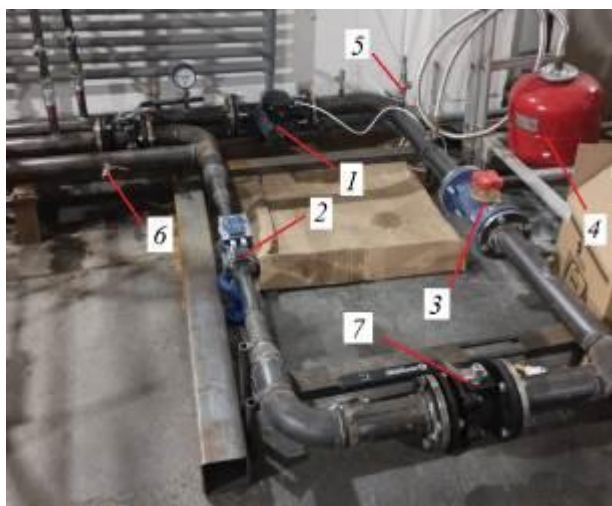


Рис. 8. – Внешний вид узла регулирования и циркуляции стенда-имитатора:
1 – циркуляционный насос; 2 – электромагнитный расходомер; 3 – ручной балансировочный клапан; 4 – расширительный бак; 5 – предохранительный клапан; 6 – штуцер для слива и заполнения; 7 – шаровой кран

Проведения испытаний на гидравлическую устойчивость имитации системы с квартирными станциями проводилось двумя способами для двух конструктивных вариантов: с подключенными регуляторами перепада давления на стояке, или при отключении на них импульсной трубке.

В первом способе последовательно отключались стояки № 7, 6, 5, а во втором способе последовательно отключались квартирные станции (точнее имитирующие их узлы) на каждом этаже стояка 4. Остальные стояки были отключены.

При этом проводились замеры и записывались следующие параметры:

- расход теплоносителя в каждом ответвлении, в том числе в квартирной станции на Ст. 4;
- перепад давления на стояках (после регулятора перепада давления и дублирующего клапана);
- перепад давления в системе;
- общий расход теплоносителя в системе.

Изменение определяемых параметров, при последовательном отключении этажных станций стояка 4 представлено в таблице 1.

Таблица №1

Изменение расхода и потери давления в контролируемых участках, при последовательном отключении этажей стояка 4

№ п/п	Параметр	Начальное значение параметра	Значение параметра при отключении этажей	Отклонение, %
1	2	3	4	5
При отключении этажа 1				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1236	828	-33,0
2	Потеря давления в системе, кПа	122,4	122,15	-0,2
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	196	50,8
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	632	-10,7
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8,3	3,1
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	22,9	26,5	15,7
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	103	107	3,9
При отключении этажей 1 и 2				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1236	756	-38,8
2	Потеря давления в системе, кПа	122,4	123,1	0,6
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	205	57,7
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	551	-22,2
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8	-0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	22,9	29	26,6
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	103	112	8,7
При отключении этажей 1, 2 и 3				



№ п/п	Параметр	Начальное значение параметра	Значение параметра при отключении этажей	Отклонение, %
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1236	622	-49,7
2	Потеря давления в системе, кПа	122,4	123	0,5
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	201	54,6
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	421	-40,5
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	3,05	2	-34,4
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	23,9	32,1	34,3
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	103	114	10,7
При отключении этажей 1, 2, 3 и 4				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1236	498	-59,7
2	Потеря давления в системе, кПа	122,4	121,2	-1,0
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	183	40,8
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	315	-55,5
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8,05	0,0
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	22,9	33	44,1
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	103	114	10,7
При отключении этажей 1, 2, 3, 4 и 5				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1236	424	-65,7
2	Потеря давления в системе, кПа	122,4	121,2	-1,0
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	203	56,2
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	221	-68,8
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8,1	0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	22,9	34,8	52,0

№ п/п	Параметр	Начальное значение параметра	Значение параметра при отключении этажей	Отклонение, %
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	103	115	11,7
При отключении этажей 1, 2, 3, 4, 5 и 6				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1236	308	-75,1
2	Потеря давления в системе, кПа	122,4	121,35	-0,9
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	529	192	-63,7
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	116	-83,6
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8,1	0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	22,9	34,8	52,0
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	103	116	12,6

Далее, были проведены аналогичные замеры, при отключенной импульсной трубки у регулятора перепада давления, установленного в начале стояка 4. Результаты замеров проведены в таблицах 2.

Таблица №2

Изменение расхода и потери давления в контролируемых участках, при последовательном отключении этажей стояка 4 (импульсная трубка отключена)

№ п/п	Параметр	Начальное значение параметра	Значение параметра при отключении этажей	Отклонение, %
1	2	3	4	5
При отключении этажа 1				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1245	838	-32,7
2	Потеря давления в системе, кПа	121,4	121,15	-0,2



№ п/п	Параметр	Начальное значение параметра	Значение параметра при отключении этажей	Отклонение, %
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	206	58,5
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	632	-10,7
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8,3	3,1
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	111,4	112,15	0,7
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	104	104	0,0
При отключении этажей 1 и 2				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1245	754	-39,4
2	Потеря давления в системе, кПа	121,4	122,2	0,7
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	203	56,2
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	551	-22,2
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8	-0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	111,4	114,2	2,5
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	104	105	1,0
При отключении этажей 1, 2 и 3				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1245	622	-50,0
2	Потеря давления в системе, кПа	121,4	122	0,5
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	201	54,6
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	421	-40,5
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8	-0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	111,4	115	3,2
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	104	104	0,0
При отключении этажей 1, 2, 3 и 4				



№ п/п	Параметр	Начальное значение параметра	Значение параметра при отключении этажей	Отклонение, %
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1245	498	-60,0
2	Потеря давления в системе, кПа	121,4	122,1	0,6
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	183	40,8
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	315	-55,5
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8	-0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	111,4	116,1	4,2
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	104	105	1,0
При отключении этажей 1, 2, 3, 4 и 5				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1245	424	-65,9
2	Потеря давления в системе, кПа	121,4	120,2	-1,0
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	130	203	56,2
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	221	-68,8
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8	-0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	111,4	115,2	3,4
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	104	105	1,0
При отключении этажей 1, 2, 3, 4, 5 и 6				
1	Общий расход теплоносителя, кг/ч	1245	308	-75,3
2	Потеря давления в системе, кПа	121,4	120,35	-0,9
3	Расход теплоносителя в стояке 3, кг/ч	529	192	-63,7
4	Расход теплоносителя в стояке 4, кг/ч	708	116	-83,6
5	Потеря давления в стояке 3, кПа	8,05	8	-0,6
6	Потеря давления в стояке 4, кПа	111,4	116,35	4,4

№ п/п	Параметр	Начальное значение параметра	Значение параметра при отключении этажей	Отклонение, %
7	Расход теплоносителя через квартирную станцию	104	105	1,0

Результаты исследования

При последовательном отключении стояков 7, 6 и 5, значение расхода теплоносителя, циркулирующего через квартирную станцию на верхнем этаже Ст. 4 изменялось в диапазоне от 101 до 105 кг/ч, что является отклонением в 3,8%. При этом, потеря давления на стояке 4 изменялась в диапазоне от 21 до 22,9 кПа, что входит в регламентированную погрешность регуляторов перепада давления. Изменение характеристики системы при последовательном закрытии стоков 7, 6 и 5 представлено на рис. 9.

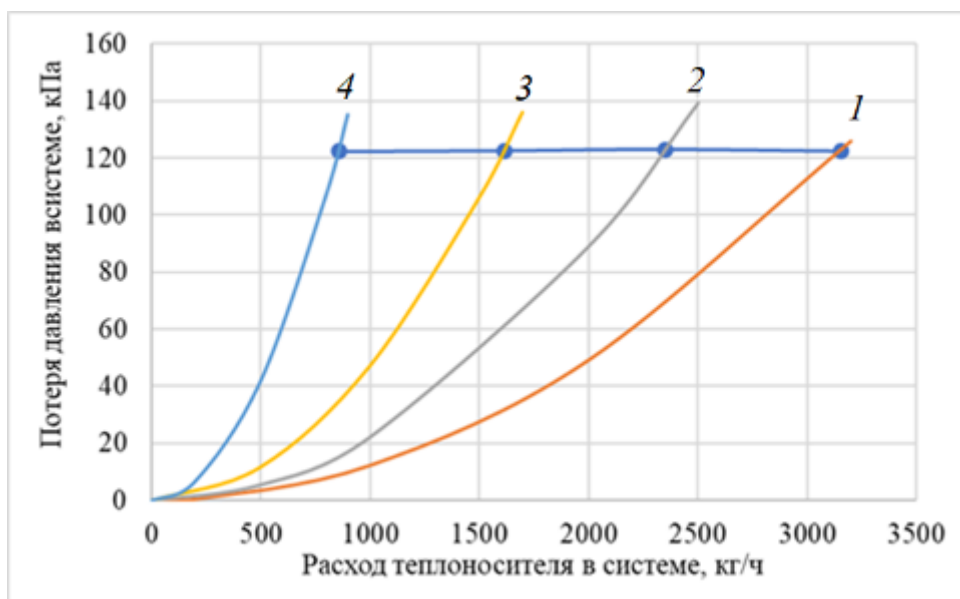


Рис. 9. – Характеристика системы при последовательном отключении стояков:

1 – без отключения стояков; 2 – при отключении стояка 7; 2 – при отключении стояка 6 и 7; 3 – при отключении стояков 5, 6 и 7

При дальнейшем отключении квартирных станций на стояке 4, с низу вверх, изменение расхода происходило с отклонением от исходного в диапазоне с 3,9 до 12,6%. При этом, потеря давления на стояке 4 изменялась в диапазоне от 22,9 до 34,8 кПа, что выходит за границу регламентированной погрешность регуляторов перепада давления.

При отключении импульсной трубки у регулятора перепада давления на стояке 4, диапазон изменения расходов значительно уменьшился. Отклонение расхода от начального наблюдалось в пределах 1%.

Такой результат свидетельствует о том, что при большом требуемом перепада давления на себе комбинированный клапан, установленный в квартирной станции, в отличие от регуляторов перепад давления, обладает наименьшим гистерезисом. Таким образом, можно сделать вывод, о более рациональной схеме системы, предполагающей установку в квартирных станциях комбинированных клапанов, а в изголовье стояков только запорной арматуры и ручного балансировочного клапана.

Выводы

Вопросы, связанные с энергоэффективностью в настоящее время являются наиболее актуальными во всех отраслях экономики. Энергоэффективность в строительстве во многом зависит об эффективной работы системы отопления, на которую приходится значительная часть капитальных затрат. В настоящей работе решается одна из задач, связанная с повышением эффективности работы системы отопления с точки зрения рационализации конструкции. В результате работы были выполнены следующие научно-прикладные этапы.

1. Сформулирована проблема, требующая решения. В настоящее время в виду несовершенства нормативной документации, а также отсутствия методик анализа переменного гидравлического режима работы систем водяного отопления, нет возможности без дополнительных
-

исследований определить оптимальную конструкцию систем водяного отопления с точки зрения наполнения ее регулирующими устройствами.

2. На стенде-имитаторе проведена имитация многовариантного гидравлического режима работы системы отопления многоквартирного жилого дома. Получены значения возможного отклонения давления и расхода в узлах системы.

3. В большинстве симитированных режимов работы отклонение измеряемого расхода теплоносителя в контролируемых контурах не превышала уровень инженерной погрешности (не более 15 %).

4. При оговоренных условиях имитированной системы, установка регуляторов перепада давления на стояках, к которым подключаются квартирные станции, не целесообразна, а также увеличивает отклонение контролируемого расхода теплоносителя в квартирных контурах, при симитированных гидравлических режимах работы системы.

Литература

1. Шадчина Е.В., Ширяева Н.П. Расчет показателей надежности системы отопления поликлиники // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения - 2020. сборник научных трудов. Министерство науки и высшего образования РФ, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральский энергетический институт. Екатеринбург, 2021. С. 224-228.

2. Ситнов В.В., Ахмеров А.В. Устройства, методы и особенности гидравлической балансировки отопительных систем // Поволжский научный вестник. 2017. № 1. С. 110-118.

3. Усиков С.М., Дютин В.В. Оценка необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления на двухтрубных стояках

системы водяного отопления с точки зрения возникновения шума // Известия КГАСУ. 2019. № 2 (48). С. 197—203.

4. Dinu R.C., Popescu D. Solutions with differential pressure in heating with radiators // ASHRAE Journal. 2016. № 4. Pp. 137—142.

5. Казадаев И.А., Баклушина И.В. Преимущества и особенности проектирования систем отопления с поквартирной разводкой // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России. Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 220—221.

6. Табунщиков Ю.А., Ливчак В.И., Грановский В.Л., Васильев Г.П., Кузник И.В., Горшков А.С., Колубков А.Н. О целесообразности поквартирного учета расхода тепла на отопление здания // АВОК. 2019. №1. С. 62—73.

7. Карпов В.Н. Проблемы внедрения поквартирного учета расхода тепла в системах отопления // АВОК. 2012. №4. С. 58—63.

8. Крупнов Б.А. Всегда ли целесообразен поквартирный учёт теплоты на отопление в современных жилых домах? // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2020. № 3 (219). С. 40—41.

9. Фролова А.А., Артёмов С.В. Квартирные станции системы отопления: обзор и оценка эффективности применения. // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XXII Международной научной конференции. Волгоград, 2024. С. 159—166.

10. Усиков С.М., Старикова Т.С. Оценка гидравлического регулирования контура поквартирной системы отопления // Вестник БГТУ. 2021. № 3. С. 27—35.

11. Фролова А.А., Артёмов С.В. Квартирные станции системы отопления: обзор и оценка эффективности применения. // Качество

внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XXII Международной научной конференции. Волгоград, 2024. С. 159–166.

12. Chen H., Riley J., Chen A., Williams L., Hahn W., Henry R. Pressure sustaining valves // ASHRAE Journal. 2019. № 9. pp. 24–32.

References

1. Shadchineva E.V., Shirjaeva N.P. Jenergo- i resursosberezhenie. Jenergoobespechenie. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenerгии. Atomnaja jenergetika. Danilovskie chtenija - 2020. Sbornik nauchnyh trudov. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovanija RF, Ural'skij federal'nyj universitet im. pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'cina, Ural'skij jenergeticheskij institut. Ekaterinburg, 2021. pp. 224-228.

2. Sitnov V.V., Ahmerov A.V. Povolzhskij nauchnyj vestnik. 2017. № 1. pp. 110-118.

3. Usikov S.M., Djutin V.V. Izvestija KGASU. 2019. № 2 (48). pp. 197—203.

4. Dinu R.C., Popescu D. ASHRAE Journal. 2016. № 4. Pp. 137—142.

5. Kazadaev I.A., Baklushina I.V. Aktual'nye voprosy sovremennogo stroitel'stva promyshlennyh regionov Rossii. Trudy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. 2016. pp. 220–221.

6. Tabunshhikov Ju.A., Livchak V.I., Granovskij V.L., Vasil'ev G.P., Kuznik I.V., Gorshkov A.S., Kolubkov A.N. AVOK. 2019. №1. pp. 62–73.

7. Karpov V.N. AVOK. 2012. №4. pp. 58–63.

8. Krupnov B.A. Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie. 2020. № 3 (219). pp. 40–41.

9. Frolova A.A., Artjomova S.V. Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhajushhej sredy. Materialy XXII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Volgograd, 2024. pp. 159–166.

10. Usikov S.M., Starikova T.S. Vestnik BGTU. 2021. № 3. pp. 27—35.



11. Frolova A.A., Artjomova S.V. Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhajushhej sredy. Materialy XXII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Volgograd, 2024. pp. 159–166.

12. Chen H., Riley J., Chen A., Williams L., HahN W., Henry R. ASHRAE Journal. 2019. № 9. pp. 24–32.

Дата поступления: 28.10.2024

Дата публикации: 4.12.2024