

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-3-27-35

^{1,*}Усиков С.М., ²Старикова Т.С.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет²ООО "ТС Интеграция"

*E-mail: UsikovSM@mgsu.ru

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНТУРА ПОКВАРТИРНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Аннотация. Современные системы отопления представляют собой сложный комплекс оборудования и элементов, главной задачей которого является обеспечение комфортных условий в обслуживаемых помещениях, вне зависимости от внешних отклоняющих факторов. Системы водяного отопления с переменным гидравлическим режимом являются наиболее распространенным видом отопления во вновь возводимых жилых и общественных зданиях. Установка регуляторов перепада давления в поквартирных системах несет обязательный характер с точки обеспечения бесшумности работы и уменьшения взаимного влияния регулирующих участков. Однако, место их установки вызывает споры в профессиональном обществе. В настоящей работе рассмотрен диапазон гидравлического режима работы двух вариантов конструкции системы поквартирного отопления, применяемых в настоящей практике проектирования систем: установка только поэтажных коллекторов, с последующим подключением внутренних квартирных контуров, либо с установкой дополнительных коллекторов в каждой квартире. Предложены формулы для оценки изменения расхода теплоносителя в процессе эксплуатации при качественном индивидуальном регулировании системы. Получены значения степени открытия регуляторов во всем допустимом диапазоне работы системы, гистерезис и потери давления, создаваемой регулятором перепада давления. Сделаны выводы о рациональности применения предложенных конструкций поквартирной системы отопления.

Ключевые слова: поквартирная система отопления, регулятор перепада давления, гистерезис, гидравлический режим работы, авторитет клапана.

Введение. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения и их устойчивость представляет значительный интерес как для отечественных, так и для зарубежных исследователей. Причем вопросы проектирования систем с переменным гидравлическим режимом уже достаточно широко рассмотрены, и проектировщикам предложены соответствующие методики их расчета. Однако, система отопления в расчетном режиме работы будет находиться крайне редко, и под влиянием внутренних и внешних факторов [1] будет создавать переменный гидравлический режим в контуре системы [2]. При этом от точности регулирования и его возможности будет зависеть не только уровень теплового комфорта в обслуживаемом помещении [3], но и финансовые эксплуатационные затраты [4].

Согласно требованиям строительных норм, в системах центрального водяного отопления следует предусматривать автоматическое регулирование теплоотдачи отопительных приборов. Хотя установка дополнительных автоматических регуляторов в узлах системы (расхода, перепада давления, температуры) не несёт обязательного характера, все же в ряде случаев она необходима [5, 6].

Например, автоматические регуляторы перепада давления (АРПД) поддерживают постоянный перепад давления в узлах системы, устраняя

возмущения, которые возникают вследствие переменного гидравлического режима работы систем отопления, оборудованных термостатическими клапанами [7]. Кроме того, регуляторы АРПД активно применяются и в системах централизованного теплоснабжения, выполняя аналогичную функцию, но для более высоких нагрузок [8]. Однако, убеждение, что от количества установленных автоматических регуляторов зависит гидравлическая устойчивость системы не соответствует действительности [9, 10].

В настоящее время наблюдается широкое применение поквартирных систем водяного отопления для новых жилых зданий [11]. Сами системы обладают как преимуществами, так и рядом недостатков [12–14]. При этом разные производители отопительного оборудования предлагают несколько вариантов схем таких систем. Либо предусматривается установка поэтажных коллекторов с последующим подключением внутренних контуров квартир, либо в квартирах устанавливается дополнительная распределительная гребенка. Рассмотрим оба этих варианта.

Для исследования возьмём существующее многоквартирное жилое здание, расположенное в г. Москве (типовой этаж здания представлен на рис. 1), оборудованное по второй схеме – с установкой дополнительных квартирных коллекторов. В здании первый этаж отведен для обще-

ственных зон, а со второго и до последнего девятого этажа располагается жилая зона. Подземная

часть обслуживается отдельной системой отопления и в расчет не берется.



Рис. 1. Типовой этаж исследуемого здания

При установке АРПД (ASV-PV 5-25 кПа DN 15) на ветки для каждого потребителя будет осуществляться автоматическое регулирование контура каждой квартиры, назовём это поквартирным регулированием (рис. 2), а при установке АРПД (ASV-PV 5-25 кПа DN 25) на ветку для группы потребителей – поэтажным регулированием (рис. 2).

Естественно, второй вариант с точки зрения капитальных затрат будет более оптимальный, так как рыночная стоимость одного АРПД DN 25 значительно меньше четырех АРПД DN 15. Кроме того, сам узел будет конструктивно проще и, следовательно, будет проще в монтаже.

При проектировании и расчёте каждого из вариантов системы были получены следующие результаты. Было рассмотрено наиболее удаленное кольцо тупиковой системы, коллектор расположен на последнем этаже.

В ходе проектного расчета была определена общая потеря давления в кольце равная 96150 Па, из них:

- потеря давления в термостатическом клапане (ТСК) расчетного прибора: 7168 Па;
- потеря давления в поквартирном АРПД: 10800 Па;

- потеря давления в тепловом пункте: 30000 Па (по заданию от проектировщика теплового пункта);

- потеря давления в трубах и арматуре (кроме АРПД и ТСК) расчетного кольца: 48182 Па (удельная потеря по длине в магистралях в среднем 85 Па/м, в стояке 105 Па/м, в квартирных трубах 124 Па/м).

Для случая с установкой АРПД перед поэтажным коллектором общая потеря давления в кольце составила 93641 Па, из них:

- потеря давления в термостатическом клапане (ТСК) расчетного прибора: 7168 Па;
- потеря давления в поэтажном АРПД: 10268 Па;
- потеря давления в тепловом пункте: 30000 Па;
- потеря давления в трубах и арматуре (кроме АРПД и ТСК) расчетного кольца: 46205 Па.

Общий расход на выходе из теплового пункта, при температурном графике теплоносителя 80/60 °С составил 25979 кг/ч.

Потеря давления в АРПД определялись для обоих вариантов в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя с учетом пропускной

способности (её значение должно быть ниже пропускной способности полностью открытого клапана, но не ниже её более чем на 60 %), а также с учетом диаметра трубы, на которую устанавлива-

ется АРПД (рис. 4). Проектный расход теплоносителя, проходящего через АРПД в случае установки его на каждую квартиру, составил 331 кг/ч, а при установке перед поэтажным коллектором 707 кг/ч.

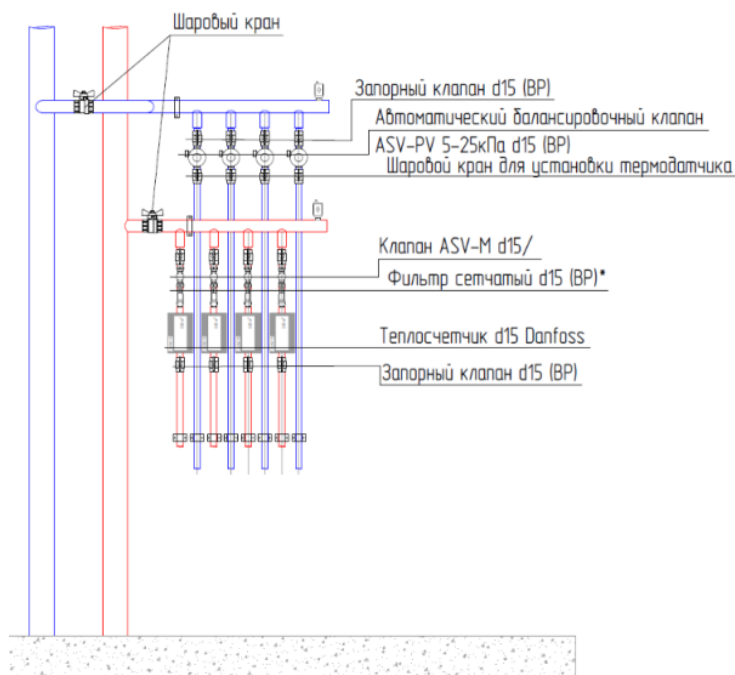


Рис. 1. Принципиальная схема поэтажного коллектора с установкой АРПД на каждый квартирный контур

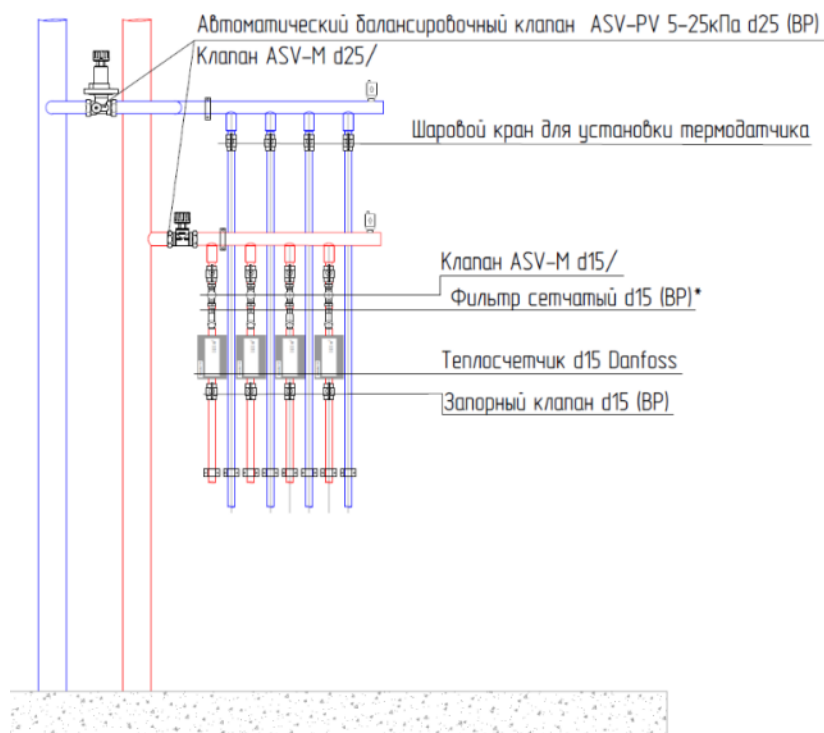


Рис. 2. Принципиальная схема поэтажного коллектора с установкой АРПД на этажный контур

Методика. Поскольку гидравлический режим работы системы, при применении термостатических клапанов, несет строго переменный характер [15–17], то необходимо проверить работу системы во всем диапазоне её работы. Но по-

скольку эта задача достаточно трудоёмкая, а информация по каждому режиму не несет большой информационной ценности, то рассмотрим крайний случай работы системы, когда все автоматические регуляторы системы будут максимально

«прижаты»), то есть работать на грани полного закрытия.

Согласно СП 60.13330 в холодный период года в помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются и в нерабочее время, следует принимать температуру воздуха ниже нормируемой, но не ниже, °С:

- 15 – в жилых помещениях;
- 12 – в помещениях общественных и административно-бытовых зданий.

Рассмотрим случай, когда здание еще не заселено, и для экономии тепловой энергии соблюдаются именно эти требования по температуре воздуха. Температуры для лестнично-лифтовых групп остаются неизменными, так как не оборудуются термостатическими клапанами.

Необходимая тепловая нагрузка участков при минимальных расходах теплоносителя определялась по формуле:

$$Q = Q_p \frac{t_b - t_n}{t_b^p - t_n}, \quad (1)$$

где Q_p – тепловая нагрузка участка в расчетном режиме, Вт; t_b^p – температура воздуха расчетная, °С; t_b – принятая температура ниже нормируемой, °С; t_n – расчетная температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки $t_s^{0,92}$, °С.

Расчет расхода теплоносителя на участке при минимальных расходах можно определить по формуле:

$$G = \bar{Q} G^p \frac{\tau_3 - \tau_2^p}{\tau_3 - \tau_p}, \quad (2)$$

где G^p – расход теплоносителя на участке при расчетном режиме, кг/ч; τ_3 – температура теплоносителя в подающем теплопроводе в расчетном режиме, °С; τ_2^p – температура теплоносителя в обратном теплопроводе в расчетном режиме, °С; τ_2 – температура обратного трубопровода при режиме работы с минимально-необходимой поддерживаемой температурой, рассчитываемая по формуле:

$$\tau_2 = (\tau_3 + \tau_2^p - 2t_b^p) \bar{Q}^{\frac{1}{1+n}} - \tau_3 + 2t_b, \quad (3)$$

где n – эмпирический показатель степени, зависящий от конструкции отопительных приборов; \bar{Q} – коэффициент, показывающий отношение тепловой нагрузки при минимальных расходах к тепловой нагрузке в расчетном режиме Q/Q_p , Вт.

Коэффициент n зависит от конструктивных особенностей отопительного прибора, и определяется в ходе проведения сертификационных экспериментальных исследований. При расчете

температурного графика системы отопления данная величина выбирается по доминирующему типу приборов [18]. В настоящем исследовании данный коэффициент принят как для биметаллических радиаторов равным 0,33.

В конструкции системы отопления предусмотрен циркуляционный насос с частотным регулированием, поддерживающий постоянный напор, равный потере давления в системе $\Delta P_{\text{сист}}$. Вне зависимости от динамического режима работы системы отопления и изменения расхода в ней, перепад давления между входным и выходным патрубком циркуляционного насоса будет поддерживаться в автоматическом режиме изменением числа оборотов рабочего колеса.

Расход теплоносителя, кг/ч, на каждом участке определялся согласно классической формуле:

$$G = \frac{3,6Q}{c(\tau_3 - \tau_2)}, \quad (4)$$

где c – теплоёмкость воды, кДж/(кг·°С).

При известном расходе теплоносителя, для поддержания минимально необходимой температуры характеристика системы примет вид линии 2 (рис. 3). При этом потеря давления в системе (или развиваемый напор насосом) не изменится. Следовательно, произойдёт перераспределение потери давления в системе между автоматическими регулирующими устройствами системы – термостатическим клапаном (ТСК) и автоматическим регулятором перепада давления (АРПД), а также в трубах системы.

Основная часть. Конструкция АРПД предусматривает поддержание перепада давления на регулируемом участке, $\Delta P_{\text{рег.уч}}$, Па, то есть:

$$\Delta P_{\text{рег.уч}} = \Delta P_{\text{тр.уч}} + \Delta P_{\text{ТСК}} = \text{const}, \quad (5)$$

или

$$\Delta P_{\text{тр.уч}} + \Delta P_{\text{ТСК}} = \Delta P'_{\text{тр.уч}} + \Delta P'_{\text{ТСК}}, \quad (6)$$

где $\Delta P_{\text{тр.уч}}$ и $\Delta P_{\text{ТСК}}$ – потери давления в трубах и арматуре регулируемого участка, и потери давления в ТСК в расчетном режиме, Па; $\Delta P'_{\text{тр.уч}}$ и $\Delta P'_{\text{ТСК}}$ – тоже самое в режиме поддержания минимальной температуры, Па.

Потеря давления в АРПД для системы отопления с поквартирным регулированием в режиме с минимальными расходами составила:

$$\Delta P'_{\text{АРПД}} = \Delta P_{\text{АРПД}} + \Delta P_{\text{тр}} - \Delta P'_{\text{тр}} = 59216 \text{ Па}$$

Внешний авторитет клапана a^+ [19] может быть определен по формуле:

$$a^+ = \frac{\Delta P_{\text{АРПД}}}{\Delta P_{\text{сист}}}. \quad (7)$$

Таким образом, авторитет клапана в расчетных условиях составил 0,112.

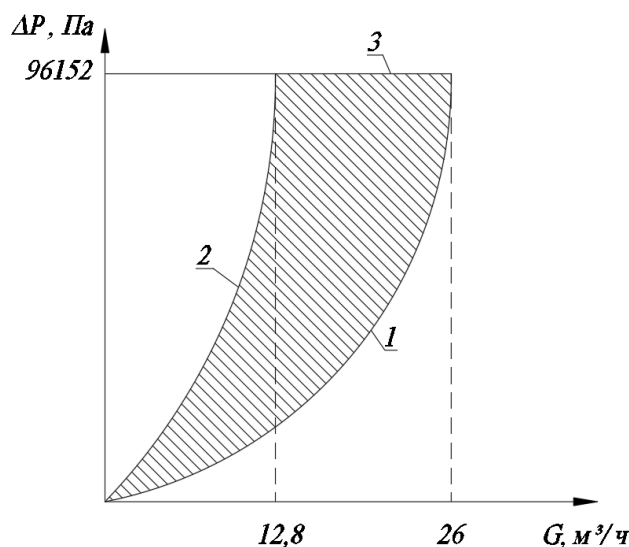


Рис. 3. Диапазон характеристики системы отопления:

1 – линия характеристики системы в рабочем режиме; 2 – линия характеристики системы в режиме работы с минимальным расходом; 3 – диапазон динамического изменения характеристики системы

Потеря давления в АРПД для системы отопления с поэтажным регулированием в режиме с минимальными расходами составила:

$$\Delta P'_{АРПД} = \Delta P_{АРПД} + \Delta P_{тр} - \Delta P'_{тр} = 56312 \text{ Па.}$$

Авторитет клапана при таком конструктивном решении в расчетных условиях составил 0,109.

Для того, чтобы определить относительную величину поднятия штока клапана, используем следующее уравнение для клапанов с линейной характеристикой [19]:

$$\frac{V}{V_{100}} = \sqrt{\frac{1}{1 - a^+ + \frac{a^+}{(h/h_{100})^2}}}, \quad (8)$$

где h – перемещение штока клапана, мм; h_{100} – полное перемещение (ход) штока клапана, мм; h/h_{100} – относительное перемещение штока клапана; V – объемный расход теплоносителя при перемещении штока h , м³/ч; V_{100} – максимально возможный объемный расход теплоносителя через клапан, м³/ч.

Для нахождения расхода теплоносителя, проходящего через АРПД, при полном открытии клапана, нужно определить режим работы, в котором это может произойти.

Сам АРПД изменяет свою пропускную способность в зависимости от разности давления под и над мембраной, с учетом дополнительной силы, прикладываемой к мембране от регулирующей пружины. Упрощая задачу исследования гидравлического режима работы каждого кольца и системы в целом, используем предложенное уравнение [19], для определения максимального расхода теплоносителя, проходящего через АРПД, при полном поднятии штока:

$$\left(\frac{V_{100}}{V_N}\right)^2 = \frac{\Delta P_{АРПД}}{\Delta P_{vs} + \Delta P_{тр.уч} + \Delta P_{ТСК}}, \quad (9)$$

или после преобразования:

$$V_{100} = V_N \sqrt{\frac{\Delta P_{АРПД}}{\Delta P_{vs} + \Delta P_{тр.уч} + \Delta P_{ТСК}}}, \quad (10)$$

где V_N – номинальный расход теплоносителя через АРПД, м³/ч; ΔP_{vs} – потеря давления в АРПД при полностью открытом клапане, Па, определяемая по формуле:

$$\Delta P_{vs} = 316^2 \left(\frac{V_N}{k_{vs}}\right)^2, \quad (11)$$

где k_{vs} – пропускная способность клапана при полном его открытии, м³/ч·бар^{0,5}.

После преобразования формулы (8) получим зависимость степени открытия клапана АРПД от изменения гидравлического режима работы системы (изменения авторитета, и расхода теплоносителя):

$$h/h_{100} = \sqrt{\frac{V^2 a^+}{V_{100}^2 - V^2 (1 - a^+)}}.$$

Результаты расчета. Максимально возможный расход, проходящий для данной системы через АРПД V_{100} , при поквартирном регулировании составит 231 л/ч, а в режиме работы с понижением температуры воздуха до минимально-требуемой составит 83 л/ч, при этом шток клапана h будет опущен до 0,14 h_{100} .

Во втором варианте системы, с поэтажным регулированием, максимально возможный расход, проходящий через АРПД V_{100} , составит 825 л/ч, а в режиме работы с понижением темпера-

туры воздуха до минимально-требуемой составит 338 л/ч, при этом шток клапана h будет опущен до $0,15h_{100}$.

Таким образом, видно, что в обоих случаях диапазон хода штока от расчетного положения до минимального будет примерно одинаков: от $0,49h_{100}$ до $0,14h_{100}$ в первом случае, и от $0,52h_{100}$ до $0,15h_{100}$.

Однако, для оценки качества регулирования необходимо учитывать гистерезис регуляторов [19]. Если нанести на номограмму производителя (рис. 4) расчетный режим работы АРПД и режим работы при нормативном понижении температуры, то можно определить значение гистерезиса регулирования.

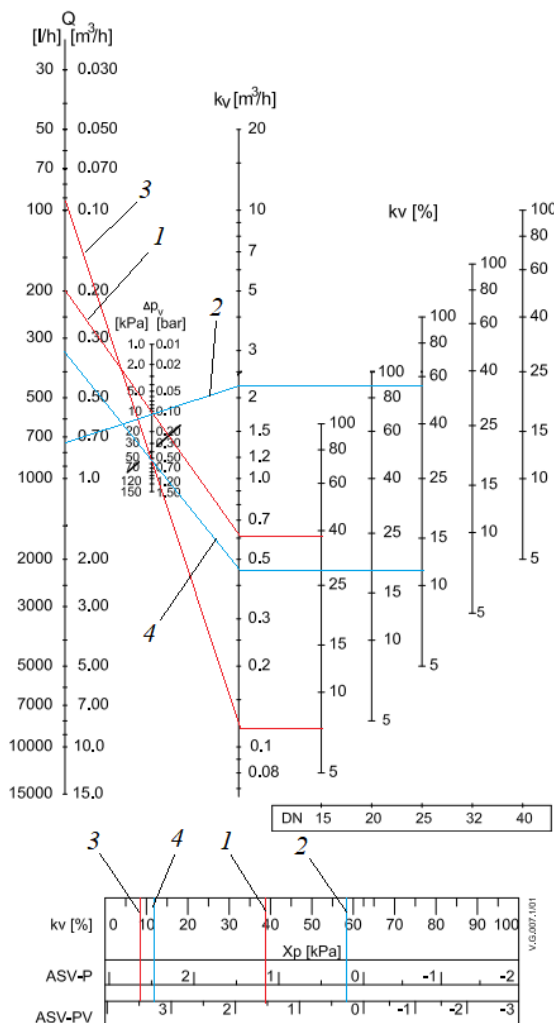


Рис. 4. Номограмма условий регулирования АРПД:

1, 2 – расчетный режим при поквартирном и поэтажном регулировании соответственно; 3, 4 – режим работы при минимальных значениях расхода при поквартирном и поэтажном регулировании соответственно

Гистерезис регулятора значительно отличается для двух вариантов. Если в первом случае его диапазон составляет от 1,5 до 3,5 кПа, то во втором случае этот диапазон значительно больше, от 0,25 до 3,25 кПа. Однако, во втором случае, при значениях достаточно близким к расчетным гистерезис в достаточно большом диапазоне будет меньше, чем для клапана во втором случае, что говорит о более точном регулировании системы.

Выводы. По итогам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Даже при наличии ограничения термостатических клапанов по минимальной температуре,

что предусмотрено не в каждой конструкции термостатических клапанов, диапазон гидравлического режима работы системы достаточно велик, и уменьшение общего расхода теплоносителя в контуре может составить более чем в полтора раза от проектного расхода, и около двух раз от максимально возможного.

2. Установка АРПД на каждый квартирный контур не обеспечит лучшую гидравлическую устойчивость системы, а в некотором диапазоне работы, наоборот, будет приводить к максимальным отклонениям поддерживаемого перепада давления.

3. Установка АРПД на поэтажный контур более рациональна и с точки зрения точности регулирования, и с точки зрения капитальных вложений в общую стоимость оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крючкова О.Ю. Вероятностно-статистическая модель климата для расчётов энергопотребления центральными системами кондиционирования воздуха // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. №12. С. 58–63.
2. Lin Gao, Xuyang Cui, Jiixin Ni, Wanning lei, Tao Huang, Chao Bai, Junhong Yang. Technologies in smart district heating system // 9th International conference on Applied Energy, ICAE2017, 21-24 August 2017, Cardiff, UK // Energy Procedia 142 (2017). Pp. 1829–1834.
3. Рябова Т.В., Сулин А.Б., Санкина Ю.Н. Обоснование и расчет эквивалентных параметров теплового комфорта помещения // Вестник МАХ. 2018. №2. С. 78–84.
4. Lawrence T., Aghniaey S. Optimizing thermal comfort & energy costs // ASHRAE Journal. 2019. №8. Pp. 66–68.
5. 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.
6. Пырков В.В. Регулирование автоматизированных систем обеспечения микроклимата // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013. № 5 (137). С. 70–73.
7. Dinu R.C., Popescu D. Solutions with differential pressure in heating with radiators // ASHRAE Journal. 2016. № 4. Pp. 137–142.
8. Chen H., Riley J., Chen A., Williams L., Hahn W., Henry R. Pressure sustaining valves // ASHRAE Journal. 2019. №9. Pp. 24–32.
9. Милейковский В.А. Исследование переменного тепло-гидравлического режима однетрубных вертикальных систем водяного отопления // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы V конференции. МГСУ. 2013. С. 133–139.
10. Прохоров В.И., Усиков С.М. О рациональности применения термостатов в системах водяного отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2018. №6 (198). С. 54–57.
11. 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.
12. Грановский В.Л., Никитина С.В. Индивидуальный учет тепловой энергии в многоквартирных домах: особенности, возможности, проблемы // АВОК. 2020. №2. С. 58–63.
13. Крупнов Б.А. Всегда ли целесообразен поквартирный учёт теплоты на отопление в современных жилых домах? // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2020. № 3 (219). С. 40–41.
14. Петрова И.В., Молочникова О.В. Проблемы возникновения "черной" плесени на наружных стенах новостроек с индивидуальным отоплением и зданий повышенной этажности с "лучевой" разводкой систем отопления // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов. Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Института строительства и архитектуры ПГТУ. 2019. С. 234–237.
15. Kent W. Peterson. Avoiding common chilled water distribution problems // ASHRAE Journal. 2015. № 7. С. 50–56.
16. Малявина Е.Г., Петров Д.Ю. Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания // Жилищное строительство. 2012. №6. С. 66–69.
17. Махов Л.М., Усиков С.М. Исследование переменного гидравлического режима системы водяного отопления под влиянием переменных теплотреблений зданием // Научное обозрение. 2013. № 12. С. 86–89.
18. Китаев Д.Н. Современные отопительные приборы и их показатели // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. №1. С. 48–49.
19. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. К.: ИДП «Такі справи», 2010. 360 с.

Информация об авторах

Усиков Сергей Михайлович, доцент. E-mail: usikovSM@mgsu.ru. НИУ Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26.

Старикова Татьяна Сергеевна, инженер-проектировщик. E-mail: redjina007@gmail.com. ООО «ТС Интеграция». Россия, 111395, Москва, Улица юности, 13а.

Поступила 03.02.2021 г.

© Усиков С.М., Старикова Т.С., 2021

^{1,*}Usykov S.M., ²Starikova T.S.

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering

²ООО "TS Integration"

EVALUATION OF HYDRAULIC CONTROL OF THE CIRCUIT OF INDIVIDUAL SYSTEM OF HEATING

Abstract. Modern heating systems are a complex set of equipment and elements, the main task of which is to provide comfortable conditions in the serviced premises, regardless of external deflecting factors. Water heating systems with variable hydraulic mode are the most common type of heating in newly constructed residential and public buildings. The installation of differential pressure regulators in individual heating systems is mandatory from the point of view of ensuring noiseless operation and reducing the mutual influence of regulatory areas. However, the location of their installation is controversial in the professional community. This paper covers the range of hydraulic modes of operation of two variants of the design of individual heating system used in this practice of system design: installation of only floor-by-floor collectors, followed by the connection of internal apartment circuits, or with the installation of additional collectors in each apartment. Formulas for estimating changes in the coolant flow rate during operation with high-quality individual control of the system are proposed. The values of the degree of opening of the regulators in the entire permissible range of operation of the system, the hysteresis and the pressure loss created by the differential pressure regulator are obtained. Conclusions are drawn about the rationality of using the proposed designs of the apartment-by-apartment heating system.

Keywords: individual heating system, differential pressure regulator, hysteresis, hydraulic operating mode, valve authority

REFERENCES

1. Kryuchkova O.Yu. Probabilistic-statistical climate model for calculating energy consumption of central air conditioning systems [Вероятностно-статистическая модель климата для расчётов энергопотребления центральными системами кондиционирования воздуха]. Plumbing, heating, air conditioning. 2016. No. 12. Pp. 58–63. (rus)
2. Lin Gao, Xuyang Cui, Jiabin Ni, Wanning lei, Tao Huang, Chao Bai, Junhong Yang. Technologies in smart district heating system. 9th International conference on Applied Energy, ICAE2017, 21-24 August 2017, Cardiff, UK. Energy Procedia. 2017. Vol. 142. Pp. 1829–1834.
3. Rjabova T.V., Sulin A.B., Sankina Ju.N. Justification and calculation of equivalent parameters of thermal comfort of the room [Обоснование и расчёт эквивалентных параметров теплого комфорта помещений]. Bulletin MAX. 2018. No. 2. Pp. 78–84. (rus)
4. Lawrence T., Aghniaey S. Optimizing thermal comfort & energy costs. ASHRAE Journal. 2019. No. 8. Pp. 66–68.
5. Usikov S.M., Djutin V.V. Assessment of the need to install automatic differential pressure regulators on the double-tube risers of the water heating system from the point of view of noise generation [Оценка необходимости установки автоматических регуляторов перепада давлений на двухтрубных стояках системы водяного отопления с точки зрения возникновения шума]. News of KGASU. 2019. No. 2(48). Pp. 197–203. (rus)
6. Pyrkov V.V. Regulation of automated microclimate support systems [Регулирование автоматизированных систем обеспечения микроклимата]. Plumbing, heating, air conditioning. 2013. No. 5(137). Pp. 70–73. (rus)
7. Dinu R.C., Popescu D. Solutions with differential pressure in heating with radiators. ASHRAE Journal. 2016. No. 4. Pp. 137–142.
8. Chen H., Riley J., Chen A., Williams L., Hahn W., Henry R. Pressure sustaining valves. ASHRAE Journal. 2019. No. 9. Pp. 24–32.
9. Milejkovskij V.A. Study of alternating heat-hydraulic mode of single-tube vertical water heating systems [Исследование переменного тепло-гидравлического режима однострубных вертикальных систем водяного отопления]. Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы V конференции. MGSU. 2013. Pp. 133–139. (rus)
10. Prohorov V.I., Usikov S.M. About rational use of thermostats in water heating systems [О рациональности применения термостатов в системах водяного отопления]. Plumbing, heating, air conditioning. 2018. No. 6(198). Pp. 54–57. (rus)

11. Kazadaev I.A., Baklushina I.V. Advantages and peculiarities of design of heating systems with quaternary wiring [Preimushhestva i osobennosti proektirovaniya sistem otopeniya s pokvartirnoj razvodkoj]. Aktual'nye voprosy sovremennogo stroitel'stva promyshlennykh regionov Rossii. Trudy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. 2016. Pp. 220–221. (rus)

12. Granovskij V.L., Nikitina S.V. Individual accounting of thermal energy in apartment buildings: features, possibilities, problems [Individual'nyj uchet teplovoj jenerгии v mnogokvartirnykh domakh: osobennosti, vozmozhnosti, problemy]. AVOK. 2020. No. 2. Pp. 58–63. (rus)

13. Krupnov B.A. Is it always advisable to account for heating in modern residential buildings? [Vsegda li celesoobrazen pokvartirnyj uchjot teploty na otopenie v sovremennykh zhilykh domakh?]. Plumbing, heating, air conditioning. 2020. No. 3(219). Pp. 40–41. (rus)

14. Petrova I.V., Molochnikova O.V. Problems of the occurrence of "black" mold on the outer walls of new buildings with individual heating and buildings with high storeys with "radial" wiring of heating systems [Problemy vznikoveniya "chernoj" pleseni na naruzhnykh stenakh novostroek s individual'nym otopeniem i zdaniy povyshennoj jetazhnosti s "luchevoj" razvodkoj sistem otopeniya]. Aktual'nye problemy stroitel'nogo i

dorozhnogo kompleksov. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvjashhennoj 50-letiju Instituta stroitel'stva i arhitektury PGU. 2019. Pp. 234–237. (rus)

15. Kent W. Peterson. Avoiding common chilled water distribution problems. ASHRAE Journal. 2015. No. 7. Pp. 50–56.

16. Maljavina E.G., Petrov D.Ju. Conjugate calculation of non-stationary thermal mode of water heating system and building [Soprjazhennyj raschet nestacionarnogo teplovogo rezhima vodjanoj sistemy otopeniya i zdaniya]. Housing construction. 2012. No. 6. Pp. 66–69. (rus)

17. Mahov L.M., Usikov S.M. Study of variable hydraulic mode of the water heating system under the influence of variable heat consumption of the building [Issledovanie peremennogo gidravlicheskogo rezhima sistemy vodjanogo otopeniya pod vlijaniem peremennykh teplopotreblenij zdaniem]. Nauchnoe obozrenie. 2013. No. 12. Pp. 86–89. (rus)

18. Kitaev D.N. Modern heating devices and their indicators [Sovremennye otopitel'nye pribory i ih pokazateli]. Plumbing, heating, air conditioning. 2014. No. 1. Pp. 48–49. (rus)

19. Pyrkov V.V. Hydraulic control of heating and cooling systems. Theory and practice. [Gidravlicheskoje regulirovanie sistem otopeniya i ohlazhdeniya. Teorija i praktika]. Kiev: II DP «Taki spravi». 2010. 360 p. (rus)

Information about the authors

Usikov, Sergey M. Associate Professor. E-mail: usikovSM@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering, (NRU MSUCE). Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Starikova, Tatyana S. Designengineer. E-mail: redjina007@gmail.com. Ltd «TS Integraciya», Russian Federation, 111395, Moscow, Yunosti street, 13a.

Received 03.02.2021

Для цитирования:

Усиков С.М., Старикова Т.С. Оценка гидравлического регулирования контура поквартирной системы отопления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 3. С. 27–35. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-3-27-35.

For citation:

Usykov S.M., Starikova T.S. Evaluation of hydraulic control of the circuit of individual system of heating. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 3. Pp. 27–35. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-3-27-35.