

6. Герчикова, И. Н. Менеджмент : учебник ; гл. редактор Н. Д. Эриашвили. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – 501 с.
7. Гончаров, В. И. Менеджмент : учеб. пособие / В. И. Гончаров. – Минск : Мисанта, 2003. – 623 с.
8. Мовсум-заде, М. Э. Стратегия поведения предприятий в условиях рыночной экономики / М. Э. Мовсум-заде, Л. И. Ванчухина, Т. Б. Лейберт, М. А. Шаталина. – Уфа : Реактив, 2001. – 178 с.

References

1. Babich, N. A. Lesnye kul'tury : uchebnoe posobie / N. A. Babich, N. M. Nabatov ; M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, Severnyj (Arkticheskiy) federal'nyj un-t. - Arhangel'sk : Severnyj (Arkticheskiy) federal'nyj universitet, 2010. – 166 s.
2. Spravochnik direktora predpriyatija. Pod redakciej M. G. Lapusty. 5-e izdanie. 2001 god. M. INFRA – M. Serija «Spravochniki INFRA – M». – 750 s.
3. Shishkin, A. F. Jekonomicheskaja teorija : uchebnik dlja jekonomicheskikh special'nostej vuzov] (v 2 kn.) / Shishkin A. F. – 2-e izd. – Moskva : VLADOS, 1996. Kn. 2. – 1996. – 349 s.
4. Jeriashvili, N. D. Marketing: Uchebnik dlja vuzov / N. D. Jeriashvili, K. Hovard, Ju. A. Cypkin I dr.; Pod red. M26 N. D. Jeriashvili. – 2-e izd., pererab. I dop. – M.: JuNITI-DANA, 2001. – 623 s.
5. Nozdreva, R. B. Marketing : uchebnik dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po napravleniju podgotovki 38.03.02 «Menedzhment». Kvalifikacija (stepen') «bakalavr» / R.B. Nozdreva ; Moskovskij gos. In-t (un-t) mezhdunarodnyh otnoshenij MID Rossii. – Moskva : Aspekt Press, 2016. – 447 s.
6. Gerchikova, I. N. Menedzhment: Uchebnik. – 3-e izd., pererab. I dop. – gl. 236edactor izd-va N. D. Jeriashvili – M.: Banki I birzhi, JuNITI, 1997. – 501 s.
7. Goncharov, V. I. Menedzhment : Ucheb. Posobie / V. I. Goncharov. – Minsk : Misanta, 2003. – 623 s.
8. Movsumzade, M. Je. Strategija povedenija predpriyatij v uslovijah rynochnoj jekonomiki / M. Je. Movsum-zade, L. I. Vanchuhina, T. B. Lejberty, M. A. Shatalina. – Ufa : Reaktiv, 2001. – 178 s.

УДК 697.1, 697.9, 699.86

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОРИТЕТОВ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПРОЕКТУ

*В. Г. Новосельцев, к. т. н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения
и вентиляции, Брестский государственный технический университет,
Брест, Беларусь*

*Д. В. Новосельцева, к. т. н., доцент, доцент кафедры природообустройства,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь*

*В. В. Лукаш, к. т. н., доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь*

Аннотация

При проектировании систем водяного отопления необходимо избежать необоснованного использования лишнего оборудования, превышения диаметров сверх необходимых значений и т. д. В реальности встречаются отклонения от проекта при монтаже, которые приводят к необходимости пересмотра параметров работоспособности системы. Одним из случаев является замена трубопроводов одного диаметра на другой.

В статье рассмотрен конкретный случай для системы водяного отопления жилого дома с частично измененными диаметрами поквартирных трубопроводов.

Расчеты показали, что установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов. Однако уменьшение диаметров трубопроводов привело к увеличению гидравлических сопротивлений и, как следствие, уменьшению авторитетов термостатических клапанов. Следствием уменьшения авторитетов является снижение эффективности регулирования системой отопления, то есть снижаются возможности по экономии тепловой энергии.

Ключевые слова: система водяного отопления, термостатический клапан, гидравлический расчет, пропускная способность, циркуляционный насос, авторитет клапана.

ENSURING THE AUTHORITY OF THERMOSTATIC VALVES IN A WATER HEATING SYSTEM THAT DOES NOT CORRESPOND TO THE PROJECT

U. G. Navaseltsau, D. U. Navaseltsava, U. U. Luksha

Abstract

When designing water heating systems, it is necessary to avoid the unjustified use of unnecessary equipment, exceeding diameters beyond the required values, etc. In reality, there are deviations from the design during installation, which lead to the need to revise the system performance parameters. One of the cases is the replacement of pipelines of one diameter with another.

The article considers a specific case for the water heating system of an apartment building with partially changed diameters of apartment pipelines.

Calculations have shown that the installed pump is sufficient to operate the heating system with the actual diameters of the pipelines. However, a decrease in pipeline diameters led to an increase in hydraulic resistances and, as a result, a decrease in the automatic settings of thermostatic valves. The consequence of a decrease in authority is a decrease in the efficiency of regulation by the heating system, that is, the possibilities for saving thermal energy are reduced.

Keywords: water heating system, thermostatic valve, hydraulic calculation, throughput, circulation pump, valve authority.

Введение

Цель систем отопления – создание теплового комфорта в помещениях при минимуме потребления энергоресурсов. При проектировании систем водяного отопления необходимо избежать необоснованного использования ненужного оборудования, превышения диаметров сверх необходимых значений и т. д.

В разных работах рассматриваются вопросы обоснования применения различных видов оборудования для обеспечения оптимальной работы и энергоэффективности систем отопления [1–3].

В реальности встречаются отклонения от проекта при монтаже, которые приводят к необходимости пересмотра параметров работоспособности системы. Одним из случаев является замена трубопроводов одного диаметра на другой.

Рассмотрение перспектив работы такой системы отопления на примере является целью данной работы.

Объект исследования

Для примера рассмотрена система водяного отопления в жилом 11-этажном доме, в г. Бресте (Беларусь), 2019 года постройки.

В соответствии с проектом предусмотрены следующие решения системы отопления.

В доме запроектирована поквартирная двухтрубная горизонтальная система водяного отопления с установкой счетчиков учета теплоты для каждой квартиры. Схема системы поквартирного отопления представляет собой пару подающих и обратных вертикальных стояков (для каждой из 2-х секций здания), к которым поэтажно подключаются циркуляционные кольца отдельных квартир. Системы отопления квартир присоединяются через распределительные коллекторы, расположенные на каждом этаже в распределительных шкафах.

Система теплоснабжения распределительных коллекторов выполняется из стальных труб, система отопления от распределительных коллекторов – из полиэтиленовых труб с антидиффузионной защитой, проложенных скрыто в конструкции пола в защитной гофрированной трубе типа «пешель». На вводе каждого из распределителей установлен автоматический регулятор перепада давления в паре с клапаном-партнером для подсоединения капиллярной трубки. От распределителя на ответвлениях к каждой квартире устанавливается ручной балансировочный клапан, фильтр, теплосчетчик ультразвуковой и запорная арматура. В качестве нагревательных приборов применены стальные панельные радиаторы марки «Лидея компакт». Для регулирования теплоотдачи отопительных приборов используются термостатические клапаны с предварительной настройкой. На обратной подводке к радиаторам установлены запорно-регулирующие клапаны.

В качестве нагревательных приборов применены стальные панельные радиаторы марки «Лидея компакт». Для регулирования теплоотдачи отопительных приборов используются термостатические клапаны с предварительной настройкой. На обратной подводке к радиаторам установлены запорно-регулирующие клапаны.

При монтаже системы отопления поквартирные ветви системы отопления были смонтированы полиэтиленовыми трубопроводами диаметром $18 \times 2,5$ мм и 14×2 мм вместо проектных $25 \times 3,5$ мм и 16×2 мм.

Методика выполнения исследований

Для анализа перспектив функционирования запроектированной системы отопления выполнены расчеты гидравлических сопротивлений в системе при максимальных расходах теплоносителя, а также соотнесение их с параметрами установленного в индивидуальном тепловом пункте насосного оборудования.

Определяем расходы воды на участках по формуле

$$G = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{уч}}}{(t_r - t_o)}, \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{уч}}$ – тепловая нагрузка на расчетном участке, Вт; t_r – расчетная температура воды на входе в систему отопления (по проектным данным – 90°C); t_o – расчетная температура обратной воды на выходе из системы отопления (по проектным данным – 70°C).

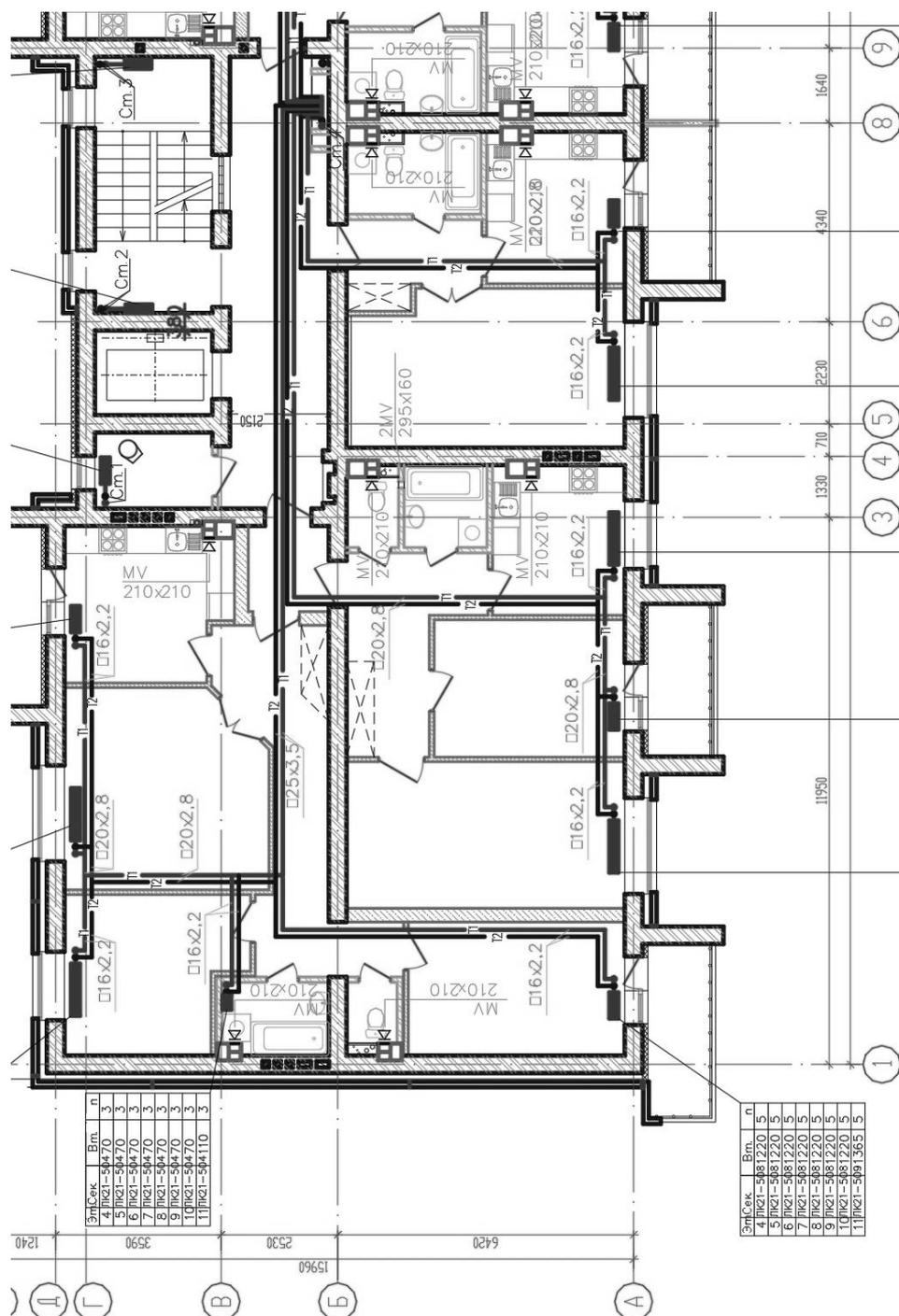


Рисунок 1 – План 11 этажа в осях 1–12 с элементами системы отопления

По расходам воды на участках по таблицам для гидравлического расчета (данные производителей трубопроводов) определяем для принятых диаметров величину удельных потерь давления $R_{уд}$, Па/м и скорость движения воды V , м/с. Оптимальная расчетная скорость движения воды для полимерных трубопроводов должна определяться по рекомендациям изготовителей трубопроводов, в большинстве случаев скорость составляет до 0,5...0,7 м/с для полимерных труб, удельная потеря давления на трение $R_{уд}$ в среднем 100...250 Па/м. Например, по рекомендациям известного производителя полимерных трубопроводов фирмы KAN-therm, за скорость в металлополимерных и полиэтиленовых трубопроводах, проходящих в конструкции пола, следует принимать значения, соответствующие экономичным гидравлическим сопротивлениям $R_{уд}=150 - 250$ Па/м:

Ø14 × 2	v = 0,3 ÷ 0,4 м/с
Ø16 × 2	v = 0,35 ÷ 0,45 м/с
Ø18 × 2,5	v = 0,4 ÷ 0,5 м/с
Ø20 × 2,8	v = 0,45 ÷ 0,6 м/с
Ø25 × 3,5	v = 0,5 ÷ 0,6 м/с

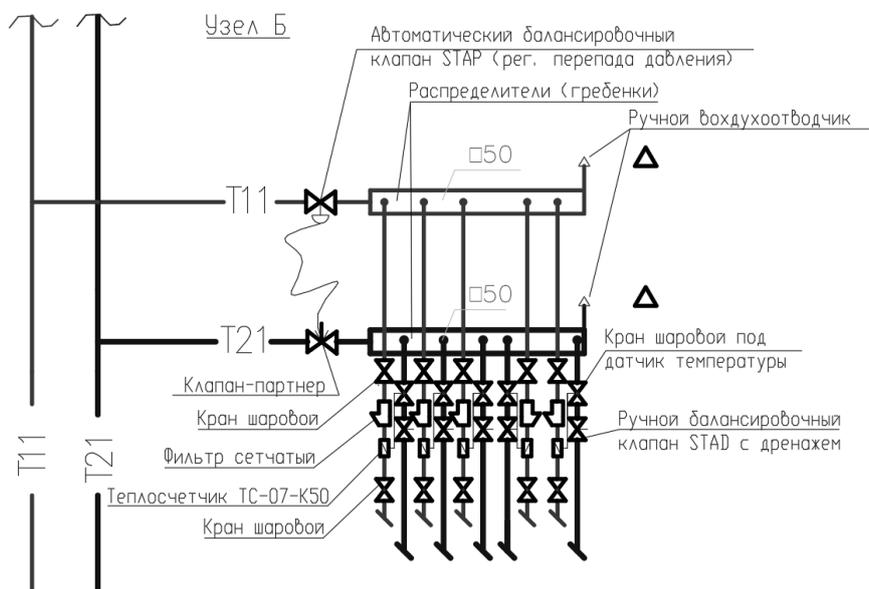


Рисунок 2 – Узел подключения поквартирных систем отопления для одной из секций

Определяем потери давления на трение на участках. Потери давления на балансировочных клапанах определяем по номограммам изготовителя или при известном значении пропускной способности элемента k_v по формуле

$$\Delta P = 0,1 \cdot \left(\frac{G}{k_v} \right)^2, \text{ Па}, \quad (2)$$

где G – расход воды на участке, кг/ч; k_v – пропускная способность (по каталогу изготовителя), м³/ч.

Все k_v приняты по данным производителей оборудования, марки которого взяты из проектных данных.

В главное циркуляционное кольцо рассматриваемой системы отопления входят потери в термостатическом клапане, ультразвуковом теплосчетчике, ручном балансировочном клапане, автоматическом балансировочном клапане и клапане-партнере. Местные сопротивления, сопротивления отопительного прибора, сопротивления остальных элементов в поквартирном узле и запорно-регулирующего клапана у радиатора учитываем в виде 20 % добавки к основным сопротивлениям.

Расчет для секции здания в осях 1–12

В качестве главного циркуляционного кольца принят отопительный прибор квартиры верхнего этажа с самой большей протяженностью трубопроводов – комната в осях А – Б, ось 1.

Расчетные тепловые потери комнаты – 1365 Вт, всех помещений квартиры – 5015 Вт. Настройка термостатического клапана рассматриваемого отопительного

прибора – 5, марка клапана – RA-N, диаметр – 15 мм. Настройка ручного балансировочного клапана квартиры – 1,4, марка клапана – STAD, диаметр – 20 мм. Настройка клапана-партнера в поквартирном узле – 3, марка клапана – STAD, диаметр – 20 мм. Марка автоматического балансировочного клапана – STAR, диаметр – 20 мм. Марка теплосчетчика – TC-07 к50, диаметр – 15 мм.

Результаты расчетов.

А. В соответствии с проектом

Сопrotивление главного циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 16 мм, длина – 19,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 59 кг/ч, удельные потери давления – $R_{уд} = 36$ Па/м, скорость движения воды – 0,15 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 0,84 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 25 мм, длина – 36 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 215 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 47$ Па/м, скорость движения воды – 0,24 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 2,03 кПа.

3. Сопrotивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

4. Сопrotивление ручного балансировочного клапана – 4,2 кПа.

5. Сопrotивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопrotивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 16,1 кПа.

7. Сопrotивления в магистральных стояках – 4,26 кПа (подача и обратка).

8. Сопrotивление теплообменника – 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопrotивления – 58,33 кПа.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопrotивление главного циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 14 мм, длина 19,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 59 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 85$ Па/м, скорость движения воды – 0,22 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 1,98 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 18 мм, длина 36 м (подача и обратка), расход теплоносителя 215 кг/ч - удельные потери давления $R_{уд} = 225$ Па/м, скорость движения воды – 0,47 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 9,72 кПа.

3. Сопrotивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

4. Сопrotивление ручного балансировочного клапана – 4,2 кПа.

5. Сопrotивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопrotивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 16,1 кПа.

7. Сопrotивления в магистральных стояках – 4,26 кПа (подача и обратка).

8. Сопrotивление теплообменника – 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопrotивления – 67,16 кПа.

Расчет для секции здания в осях 12–20

В качестве примера выполнен расчет для квартиры в осях 12–15 на верхнем этаже, кольцо принято через отопительный прибор комнаты в осях А – Б, ось 12.

Расчетные тепловые потери комнаты – 1115 Вт, всех помещений квартиры – 4470 Вт. Настройка термостатического клапана рассматриваемого отопительного прибора – 4, марка клапана – RA-N, диаметр – 15 мм. Настройка ручного балансировочного клапана квартиры – 1,1, марка клапана – STAD, диаметр – 20 мм. Настройка клапана-партнера в поквартирном узле – 3,4, марка клапана STAD, диаметр 20мм. Марка автоматического балансировочного клапана – STAP, диаметр – 20 мм. Марка теплосчетчика – ТС-07 к50, диаметр – 15 мм.

Результаты расчетов.

А. В соответствии с проектом

Сопротивление циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 16 мм, длина – 17,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 49 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 26$ Па/м, скорость движения воды – 0,12м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 0,54 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 25 мм, длина – 19 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 192 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 39$ Па/м, скорость движения воды – 0,21 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 0,89 кПа.

3. Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

4. Сопротивление ручного балансировочного клапана – 5,76 кПа.

5. Сопротивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопротивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 13,1 кПа.

7. Сопротивления в магистральных стояках – 4,2 кПа (подача и обратка).

8. Сопротивление теплообменника – 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопротивления – 51,39 кПа.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопротивление циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 16 мм, длина – 17,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 49 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 60$ Па/м, скорость движения воды – 0,21 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 1,25 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 25 мм, длина – 19 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 192 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 186$ Па/м, скорость движения воды – 0,41 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 4,24 кПа.

3. Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

4. Сопротивление ручного балансировочного клапана – 5,76 кПа.

5. Сопротивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопротивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 13,1 кПа.

7. Сопротивления в магистральных стояках – 4,2 кПа (подача и обратка).

8. Сопротивление теплообменника 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопротивления – 58,65 кПа.

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы.

Для секции здания в осях 1–12 суммарные гидравлические сопротивления в системе отопления составляют 58,33 кПа для проектных диаметров трубопроводов в квартире (16 и 25 мм) и 67,16 кПа для фактических трубопроводов (14 и 18 мм). Потери давления в остальных частях системы левой секции здания (циркуляционных кольцах) равны либо менее указанных.

Для секции здания в осях 12–20 суммарные гидравлические сопротивления в системе отопления составляют 51,39 кПа для проектных диаметров трубопроводов в квартире (16 и 25 мм) и 58,65 кПа для фактических трубопроводов (14 и 18 мм). Потери давления в остальных частях системы правой секции здания (циркуляционных кольцах) равны либо менее указанных.

Для анализа функционирования системы отопления при максимальных расходах теплоносителя, рассмотрим параметры установленного в индивидуальном тепловом пункте насосного оборудования.

В качестве циркуляционного насоса в индивидуальном тепловом пункте применен насос Wilo Stratos D 65/1-12. Его характеристики показаны на рисунке 3.

Максимальный расчетный расход системы отопления здания составляет 14,2 м³/ч (проектные данные). Насос Wilo Stratos D 65/1-12 обеспечит циркуляцию такого расхода (при работе одного насоса в односкоростном режиме или энергосберегающем режиме), обеспечивая напор 8,5 м, то есть при сопротивлении системы 85 кПа, что выше максимального расчетного значения 67,16 кПа. Таким образом, установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов.

Также следует отметить, что фактически примененные диаметры трубопроводов в большей степени согласуются с рекомендациями производителей полимерных трубопроводов по параметрам оптимальной расчетной скорости движения воды и удельной потери давления на трение, чем проектные значения.

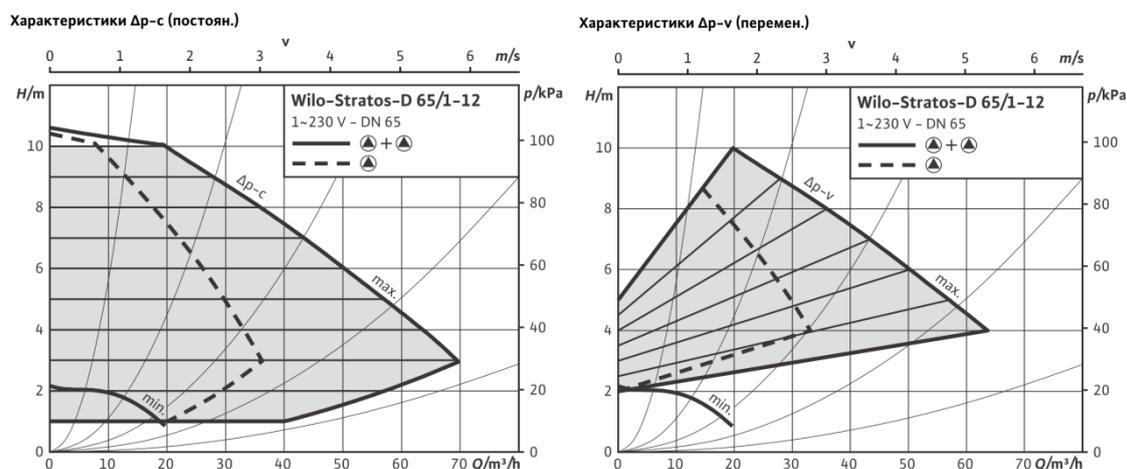


Рисунок 3 – Характеристики насоса Wilo Stratos D 65/1-12

Проверка внешних авторитетов термостатических клапанов

Следует отметить, что уменьшение диаметров трубопроводов приводит к увеличению гидравлических сопротивлений и, как следствие, уменьшению авторитетов термостатических клапанов.

Внешний авторитет термостатического клапана (авторитет в системе трубопроводов) – доля потерь давления на максимально открытом термостатическом клапане от располагаемого давления регулируемого участка системы водяного отопления. Участок системы отопления, на котором термостатический клапан осуществляет регулировку расхода теплоносителя, называют регулируемым. Он включает трубопроводы с отопительным прибором и арматурой. В системе отопления таким участком является либо вся система, либо ее часть, в которой автоматически поддерживается постоянный перепад давления [1].

Величина внешнего авторитета термостатического клапана определяется как отношение перепада давлений в термостатическом клапане к общему перепаду давлений в системе водяного отопления или в той части системы, в которой автоматически поддерживается заданный перепад давлений. Рекомендуется поддерживать значение авторитета на каждом клапане двухтрубной системы водяного отопления в интервале от 0,3 до 0,7 [1, 4, 5].

Выполним проверку внешних авторитетов термостатических клапанов.

Расчет для квартиры в секции здания в осях 1–12

Результаты расчетов авторитетов.

А. В соответствии с проектом

Сопротивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 12,97 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,2$.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопротивление главного циркуляционного кольца.

Сопротивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 21,8 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,12$.

Расчет для квартиры в секции здания в осях 12–20

Результаты расчетов авторитетов.

А. В соответствии с проектом

Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 12,29 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,15$.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопротивление главного циркуляционного кольца.

Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 16,35 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,116$.

Заключение

При монтаже системы водяного отопления рассматриваемого дома поквартирные ветви системы отопления были смонтированы полиэтиленовыми

трубопроводами диаметром $18 \times 2,5$ мм и 14×2 мм вместо проектных $25 \times 3,5$ мм и 16×2 мм. Расчеты показали, что установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов.

Однако следует отметить, что уменьшение диаметров трубопроводов привело к увеличению гидравлических сопротивлений и, как следствие, уменьшению авторитетов термостатических клапанов. В рассматриваемом случае проектные значения авторитетов термостатических клапанов a составляли $0,15 \dots 0,2$ и не входили в рекомендуемый диапазон. В фактически смонтированной системе отопления авторитеты термостатических клапанов a снизились до значений $0,116 \dots 0,15$. Следствием уменьшения авторитетов является снижение эффективности регулирования системой отопления, то есть снижаются возможности по экономии тепловой энергии.

Список цитированных источников

1. Usikov, S. M. Sustainable consumption of thermal energy and optimum design of water heating system / S. M. Usikov // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2018. – № 9 (2). – С. 755–764.

2. Navaseltsau, Uladzimir Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply / Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Mikhail Shenogin // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering 896 (2020). – 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.

3. Navaseltsau, Uladzimir Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes / Uladzimir Navaseltsau, Vitali Khaletski, Vladimir Melnikov // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering 896 (2020). – 012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012056>.

4. Пырков, В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика / В. В. Пырков. – Киев : Такі справи, 2010. – 304 с.

5. Яушовец, Р. Гидравлика – сердце водяного отопления / Р. Яушовец. – Вена : HERZ Armaturen GmbH, 2005. – 143 с.

References

1. Sustainable consumption of thermal energy and optimum design of water heating system/ Usikov S.M. – International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, 9(2), s. 755-764.

2. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply/ Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Mikhail Shenogin– IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.

3. Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes/ Uladzimir Navaseltsau, Vitali Khaletski, Vladimir Melnikov – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012056>.

4. Pyrkov, V.V. Gidravlichesкое regulirovanie sistem otoplenija i ohlazhdenija. Teorija i praktika. – Kiev, izd. «Taki spravi», 2010. – 304 s.

5. Jaushovets, R. Gidravlika-serdce vodjanogo otoplenija. Izdanie kompanii HERZ Armaturen GmbH – Vena, 2005. – 143 s.