

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПРОЕКТУ

В.Г. НОВОСЕЛЬЦЕВ¹, Д.В. НОВОСЕЛЬЦЕВА²
(Брестский государственный технический университет)
vgnovoseltsev@yandex.ru¹, dvnovoseltseva@yandex.ru²

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. Один из случаев – замена трубопроводов одного диаметра на другой. Рассмотрение перспектив работы такой системы отопления на примере является целью данной статьи.

Для примера рассмотрена система водяного отопления в жилом 11-этажном доме г. Бреста (Беларусь) 2019 года постройки. В доме запроектирована поквартирная двухтрубная горизонтальная система водяного отопления с установкой счетчиков учета теплоты для каждой квартиры. При монтаже системы отопления поквартирные ветви системы отопления были смонтированы полиэтиленовыми трубопроводами диаметром 18×2,5 мм и 14×2 мм вместо проектных 25×3,5 мм и 16×2 мм.

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

Расчеты показали, что установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов. Таким образом, фактически примененные диаметры трубопроводов не оказывают отрицательного влияния на работоспособность рассматриваемой системы отопления.

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

Введение. Цель систем отопления – создание теплового комфорта в помещениях при минимуме потребления энергоресурсов. Во время проектирования систем водяного отопления важно избежать необоснованного использования ненужного оборудования, превышения диаметров сверх необходимых значений и т.д. [1; 2]. Однако в реальности случаются отклонения от проекта при монтаже, приводящие к необходимости пересмотра параметров работоспособности системы. Одним из таких случаев является замена трубопроводов одного диаметра на другой. Цель данной статьи – рассмотрение перспектив работы такой системы отопления на примере.

Объект исследования. Для примера была рассмотрена система водяного отопления в жилом 11-этажном доме г. Бреста (Беларусь) 2019 года постройки (рисунок 1). 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 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 (рисунок 2).

Во время монтажа системы отопления поквартирные ветви системы отопления были смонтированы полиэтиленовыми трубопроводами диаметром 18×2,5 мм и 14×2 мм вместо проектных 25×3,5 мм и 16×2 мм.

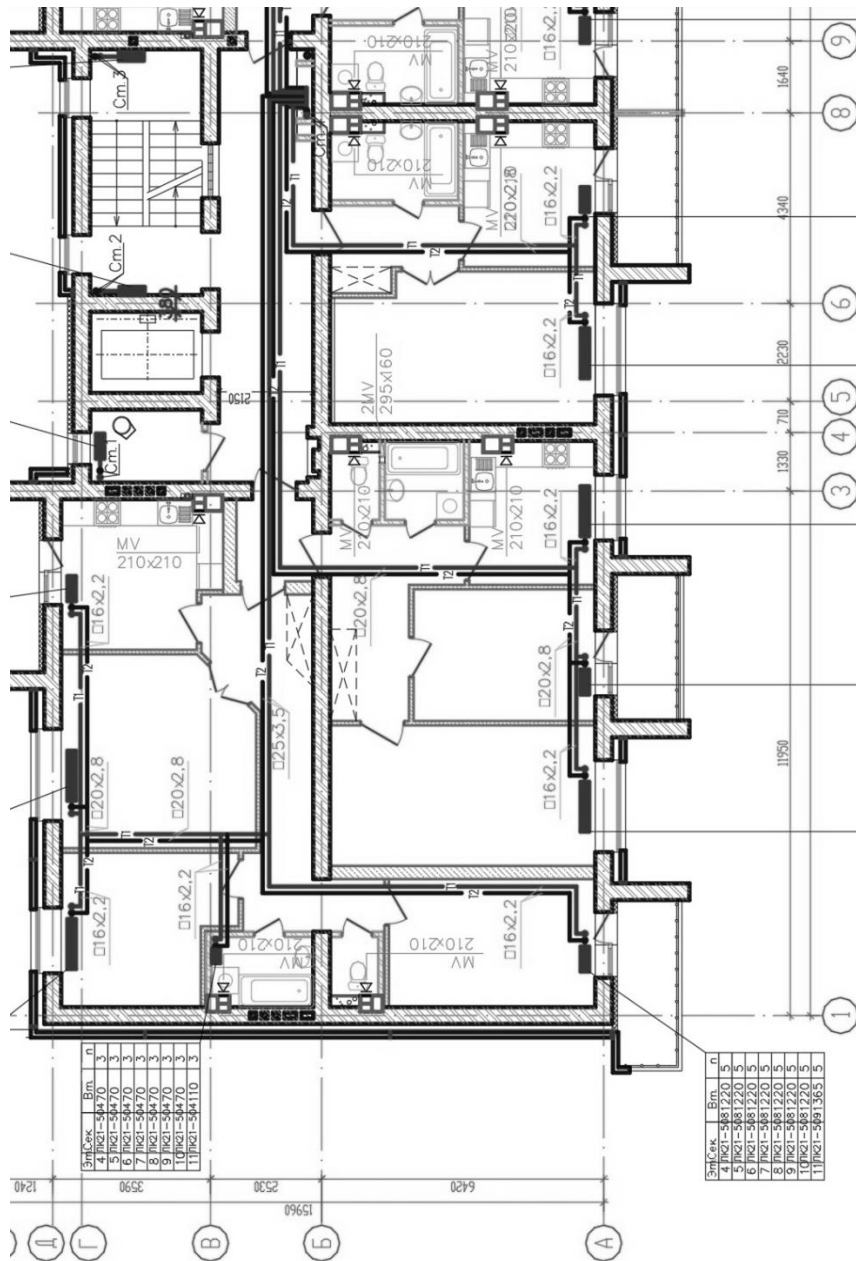


Рисунок 1. – План 11 этажа в осях 1-12 с элементами системы отопления

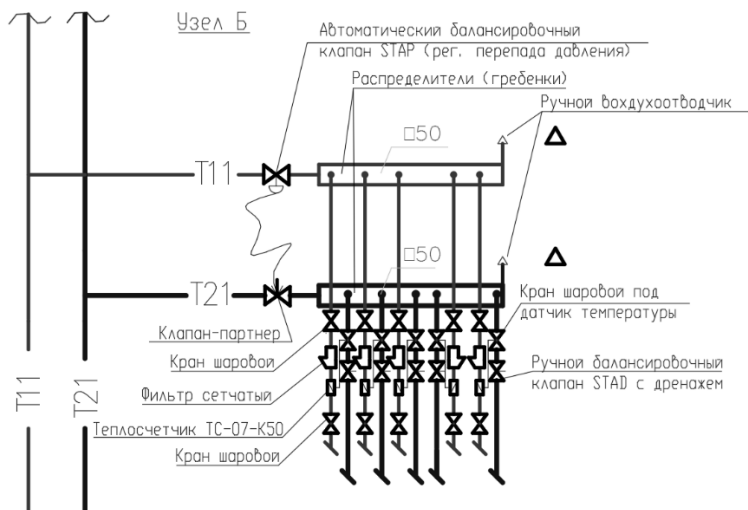


Рисунок 2. – Узел подключения поквартирных систем отопления для одной из секций

Методика выполнения исследований. Чтобы проанализировать перспективы функционирования смонтированной системы отопления, были выполнены расчеты гидравлических сопротивлений в системе при максимальных расходах теплоносителя, а также соотнесение их с параметрами установленного в индивидуальном тепловом пункте насосного оборудования [3].

Определяем расходы воды на участках по формуле:

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

где $Q_{\text{уч}}$ – тепловая нагрузка на расчетном участке, Вт;

t_c – 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).

По расходам воды на участках по таблицам для гидравлического расчета (данные производителей трубопроводов) определяем для принятых диаметров величину удельных потерь давления $R_{\text{уд}}$, 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 $0,5 \dots 0,7$ м/с для полимерных труб, удельная потеря давления на трение $R_{\text{уд}}$ в среднем $100 \dots 250$ 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 $R_{\text{уд}} = 150 \text{--} 250$ Па/м:

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

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 [4].

Расчет для секции здания в осях 1-12. В качестве главного циркуляционного кольца принят отопительный прибор квартиры верхнего этажа с самой большой 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 ТС-07 к50, диаметр 15 мм.

Результаты расчетов:

А. В соответствии с проектом.

Сопротивление главного циркуляционного кольца:

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 16 мм, длина 19,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя 59 кг/ч – удельные потери давления $R_{\text{уд}} = 36$ Па/м, скорость движения воды 0,15 м/с. Сопротивление 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 $R_{\text{уд}} = 47$ Па/м, скорость движения воды 0,24 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 2,03 кПа.

3. Сопротивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

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

5. Сопротивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

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

7. Сопротивления в магистральных стояках – 4,26 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 – 58,33 кПа.

Б. Фактические диаметры трубопроводов.

Сопротивление 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. Сопротивление 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. Сопротивление с учетом местных потерь – 9,72 кПа.

3. Сопротивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

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

5. Сопротивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

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

7. Сопротивления в магистральных стояках – 4,26 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 – 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 20 мм. Марка автоматического балансировочного клапана STAR, 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 0,12 м/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 и обсуждение. 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.

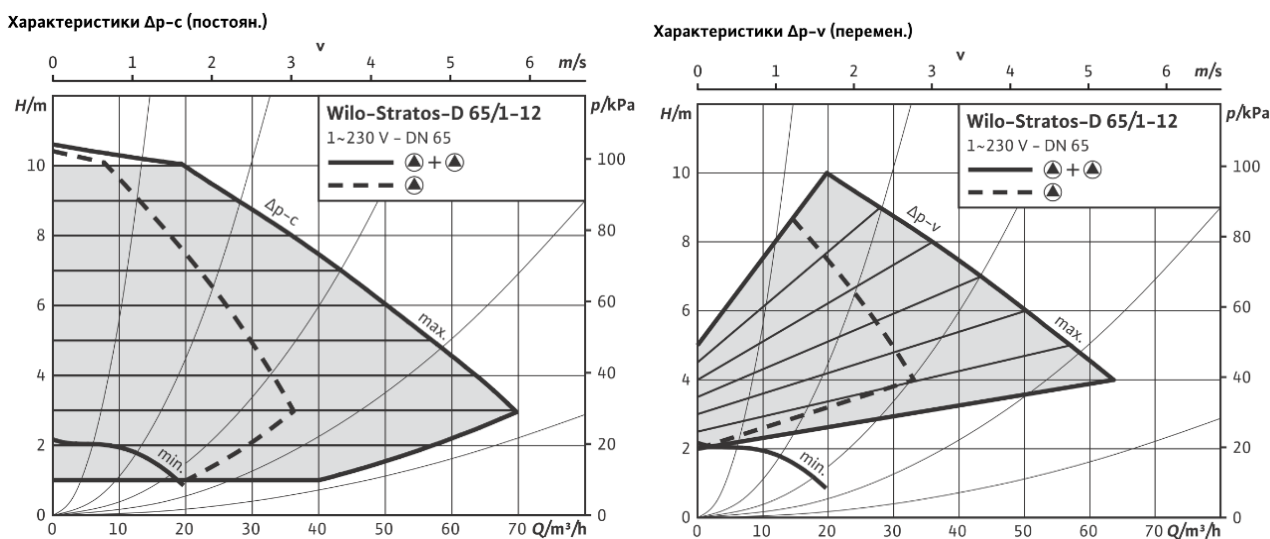


Рисунок 3. – Характеристики насоса Wilo Stratos D 65/1-12

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), создавая 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.

Заключение. При монтаже системы водяного отопления рассматриваемого дома поквартирные ветви системы отопления были смонтированы полиэтиленовыми трубопроводами диаметром 18×2,5 мм и 14×2 мм вместо проектных 25×3,5 мм и 16×2 мм. Как показали расчеты, установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов.

Таким образом, фактически примененные диаметры трубопроводов не оказывают отрицательного влияния на работоспособность рассматриваемой системы отопления. Однако следует отметить, что уменьшение диаметров трубопроводов приводит к увеличению гидравлических сопротивлений и, как следствие, уменьшению авторитетов термостатических клапанов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Navaseltsau, U. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply / U. Navaseltsau, D. Navaseltsava, M. Shenogin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 896. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012057.
2. Navaseltsau, U. Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes / U. Navaseltsau, V. Khaletski, V. Melnikov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 896. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012056.
3. Пырков, В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика / В.В. Пырков. – 2-е изд., доп. – Киев : Такі справи, 2010. – 304 с.
4. Китиков, В.О. Метод гидравлического расчета энергоэффективных систем тепло- и холодоснабжения зданий / В.О. Китиков, В.В. Покотилов // Энергоэффективность. – 2019. – № 11. – С. 24–29.

REFERENCES

1. Navaseltsau, U., Navaseltsava, D. & Shenogin, M. (2020). Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, (896). DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012057.
2. Navaseltsau, U., Khaletski, V. & Melnikov, V. (2020). Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, (896). DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012056.
3. Pyrkov, V.V. (2010). *Gidravlichesкое regulirovanie sistem otopeniya i okhlazhdeniya. Teoriya i praktika*. Kiev: Taki spravi. (In Russ.).
4. Kitikov, V.O. & Pokotilov, V.V. (2019). Metod gidravlichesкого rascheta energoeffektivnykh sistem teplo- i kholodosnabzheniya zdaniy. *Energoeffektivnost'*, (11), 24–29. (In Russ.).

Поступила 26.10.2022

**ASSESSMENT OF THE OPERABILITY OF THE WATER HEATING SYSTEM,
NOT RELEVANT TO THE PROJECT**

U. NAVASELTSAU, D. NAVASELTSAVA
(*Brest State Technical University*)

When designing water heating systems, it is necessary to avoid unjustified use of excess equipment, exceeding diameters beyond the required values, etc. In reality, there are deviations from the project during installation, which lead to the need to revise the parameters of the system's operability. One of the cases is the replacement of pipelines of one diameter with another. Consideration of the prospects for the operation of such a heating system by example is the purpose of this work.

For example, the water heating system in a residential 11-storey building in Brest (Belarus) built in 2019 is considered. The house has designed an apartment-by-apartment two-pipe horizontal water heating system with the installation of heat meters for each apartment. When installing the heating system, the apartment-by-apartment branches of the heating system were mounted with polyethylene pipelines with a diameter of 18×2,5 mm and 14×2 mm instead of the design 25×3,5 mm and 16×2 mm.

To analyze the prospects for the functioning of the designed heating system, calculations of hydraulic resistances in the system at maximum coolant flow rates were performed, as well as their correlation with the parameters of the pumping equipment installed in the individual heating point.

Calculations have shown that the installed pump is sufficient for the operation of the heating system with the actual diameters of the pipelines. Thus, the actually applied pipe diameters do not adversely affect the performance of the heating system in question.

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