

18. Калинин, В. Г. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния / В. Г. Калинин, К. И. Суманеева, В. С. Русаков // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 2. – С.74–85.
19. Шайдулина, А. А. Пространственно-временные закономерности снеготаяния на речных водосборах верхней Камы / А. А. Шайдулина, В. Г. Калинин, М. А. Фасахов // Географический вестник = Geographical bulletin. – 2022. – № 1(60). – С. 100–112. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-1-100-112>
20. Гельфан, А. Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования снежного покрова на Европейской территории России / А. Н. Гельфан, В. М. Морейдо // Лёд и Снег. –2014. – № 54(2). – С. 44–52. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2014-2-44-52>
21. Georgievsky M., Ishidaira H., Takeuchi K. Development of a distributed snow model coupled with a new method of degree-day factors estimation // Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 2006. P. 49-54. <https://doi.org/10.2208/prohe.50.49>.
22. ТКП 17.10-42-2009 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях. – Минск : Минприроды, 2009.
23. Мешик, О. П. Особенности залегания снежного покрова на территории Республики Беларусь / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Вестник БрГТУ. – 2021. – № 2(125) : Геоэкология. – С. 93–99. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2021-125-2-93-99>

УДК 697.1, 697.9, 699.86

## **БАЛАНСИРОВКА СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ НАСОСОВ**

*В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
vgnovoseltsev@yandex.ru

### **Аннотация**

Балансировка системы водяного отопления позволяет экономить 20-40% тепла, обеспечить хороший контроль температурного режима зданий, долговечную работу оборудования.

В настоящем исследовании рассматривался вариант наладки двухтрубной тупиковой системы отопления с термостатическими и балансировочными клапанами: увеличение напора насоса для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки; балансировка с увеличением напора насоса.

Исследования показали недостатки замены существующего насоса на насос с бóльшим напором для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки: перегрев других частей си-

стемы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом.

**Ключевые слова:** система водяного отопления, балансировка, балансировочный клапан, циркуляционный насос.

## **BALANCING OF WATER HEATING SYSTEMS BY VARIOUS METHODS AND THEIR COMPARISON**

*U. G. Navaseltsau, D. V. Navaseltsava*

### **Abstract**

Balancing the water heating system allows you to save 20-40% of heat, ensure good control of the temperature regime of buildings, long-term operation of equipment.

In this study, the option of setting up a two-pipe dead-end heating system with thermostatic and balancing valves was considered: increasing the pump head to achieve the required flow in the system elements with insufficient flow without balancing; balancing with an increase in the pump head.

Studies have shown the disadvantages of replacing an existing pump with a high-pressure pump to achieve the required flow in the system elements with insufficient flow without balancing: overheating of other parts of the water heating system and increased consumption of electrical energy consumed by the circulation pump.

**Keywords:** water heating system, balancing, balancing valve, circulation pump.

**Введение.** Перерасход теплоносителя в отдельных частях системы водяного отопления приводит к недостаточному расходу в других частях системы. Это значит, что часть помещений будет перегретой, а часть недогретой. Известно, что повышение температуры в помещении выше уровня 20 °С на 1 °С приводит к перерасходу тепла на 6-10 %, на 2 °С – на 15 %, на 3 °С – более чем на 20 %. В средней части Европы каждый градус выше уровня в 20°С увеличивает стоимость тепловой энергии не менее, чем на 8%. Хорошо сбалансированная система снижает как инвестиционные, так и эксплуатационные затраты. Балансировка системы водяного отопления позволяет экономить 20-40 % тепла, обеспечить хороший контроль температурного режима зданий, долговечную работу оборудования.

Вопросам балансировки и мониторингу работы систем водяного отопления специалистами уделяется достаточно много внимания [1–6]. Рассмотрение простых способов балансировки является целью данного исследования.

**Используемые методы балансировки.** Методы балансировки, в основном, основаны на закономерностях распределения потоков в параллельных участках систем водяного отопления, возникающих при регулировании одного из них. В системах отопления широкое распространение получили методы температурного перепада, предварительной настройки клапанов, пропорциональный, компенсационный, компьютерный.

Метод температурного перепада. Сущность метода заключается в том, что в сбалансированной системе отопления разность температур теплоносителя на входе и выходе всех отопительных приборов должна быть одинаковой. При

отклонении расходов теплоносителя в отопительных приборах от расчетных она изменяется. Балансировку осуществляют до требуемого перепада температур теплоносителя настройкой термостатического либо запорно-регулирующего клапана в узле обвязки отопительного прибора. Данный метод балансировки очень не точен. Из-за тепловой инерции системы и здания процедура балансировки требует значительного времени. Несмотря на все недостатки, данный метод является единственно возможным для балансировки теплообменных приборов в пределах стояка либо приборной ветки, если в узлах обвязки этих приборов отсутствуют балансировочные клапаны со штуцерами для отбора импульсов давления теплоносителя.

Метод предварительной настройки клапанов. Метод основан на балансировке по гидравлическому расчету при проектировании системы до ее монтажа. Увязку циркуляционных колец осуществляют настройкой каждого регулирующего и термостатического клапана. У данного метода есть недостаток: он не учитывает отклонения, возникающие при монтаже системы отопления. Кроме того, определение потерь давления в элементах систем является сложной процедурой и не всегда соответствует реальности. Поэтому данный метод, хотя и является основополагающим при проектировании, в то же время не исключает необходимости корректировки настроек клапанов после монтажа системы.

Пропорциональный метод. Пропорциональный метод основан на закономерностях распределения потоков в параллельных участках системы водяного отопления, возникающих при регулировании одного из них. Суть его в том, что вначале достигается одинаковая разбалансировка стояков или ветвей. Затем регулировкой «общего» клапана обеспечивается проектный расход в стояках или ветвях.

На первом этапе балансировки системы водяного отопления для уменьшения потерь давления на перекачивание теплоносителя полностью открывают регулирующие клапаны ветви (стояка). Затем определяют перепад давления  $\Delta P$  и расход  $G$  на каждом клапане. Сопоставляют полученные значения  $G$  с проектными расходами  $G_{пр}$ . У клапана «основного» циркуляционного кольца соотношение  $G/G_{пр}$  будет наименьшим.

Задача второго этапа состоит в обеспечении на остальных клапанах путем их частичного прикрывания примерно такого же отношения  $G/G_{пр}$ , как у клапана «основного» циркуляционного кольца. Равенства этих отношений достигают методом последовательных приближений.

Третий этап является окончательным в балансировке ветви (стояка) системы водяного отопления. Регулировкой «общего» клапана модуля выставляют на нем по перепаду давления  $\Delta P$  проектный расход, т. е.  $G/G_{пр}=1$ . По закону пропорциональности на всех клапанах модуля установится  $G/G_{пр}=1$ . На этом регулировка ветви (стояка) закончена. Сбалансировав ветви (стояки) таким методом, в конечном итоге, устраняют несоответствие реальных и проектных расходов теплоносителя в циркуляционных кольцах.

Пропорциональный метод балансировки осуществляют один либо два наладчика. Основным недостатком является необходимость многократных

измерений и определений для последовательного приближения к необходимому результату [1].

Компенсационный метод. Компенсационный метод является усовершенствованием пропорционального метода. Суть метода состоит в том, что регулирующий клапан основного циркуляционного кольца устанавливают на фиксированный перепад давления (обычно 3 кПа). Данный клапан называют опорным или эталонным. Он, как правило, является последним. Все клапаны, подлежащие регулированию, при этом должны быть открыты.

Балансировку выполняют 3 наладчика, что является недостатком данного метода. На протяжении всего процесса балансировки системы необходимо поддерживать на эталонном клапане установленный перепад давления. Один из наладчиков переходит от одного регулирующего клапана к другому после того, как на регулируемом клапане будет достигнут номинальный расход теплоносителя, а на эталонном клапане установлен заданный перепад давления.

Элементы систем отопления для осуществления балансировки. Для осуществления балансировки в современных системах отопления используют балансировочные клапаны, которые делят на две группы:

- 1 – ручные балансировочные клапаны (статические регуляторы);
- 2 – автоматические балансировочные клапаны (динамические регуляторы).

Ручные балансировочные клапаны применяют для гидравлической увязки циркуляционных колец, обеспечивая расчётные расходы теплоносителя на стояках или горизонтальных ветвях любых систем отопления. Все вышеуказанные методы применимы, как правило, для систем (или ветвей) с ручными балансировочными клапанами.

Автоматические балансировочные клапаны предназначены для установки на стояках или горизонтальных ветвях СВО с термостатическими клапанами. Автоматические балансировочные клапаны применяются для поддержания постоянной разности давлений между подающим и обратным трубопроводами регулируемых систем, а также для обеспечения ограничения расхода перемещаемой по трубопроводу среды. Это позволяет термостатическим клапанам функционировать в оптимальном режиме и исключить шумообразование [1, 6].

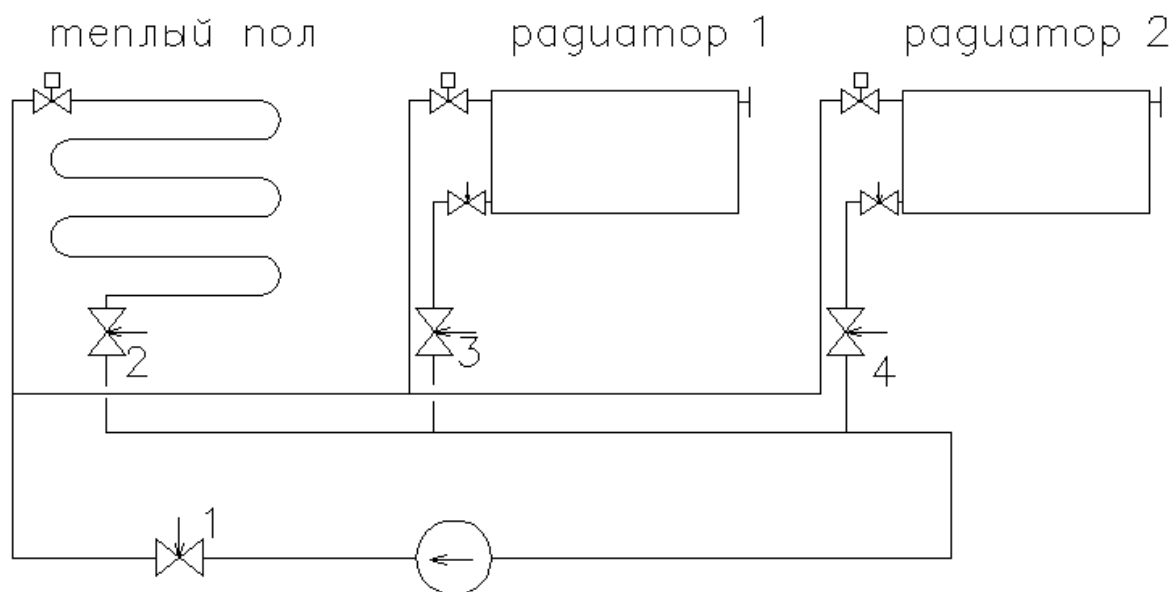
Зачастую для устранения недогрева удалённых частей системы отопления, устанавливается циркуляционный насос с большим напором (или выставляется большая скорость существующего насоса), что может привести к перерасходу в системе отопления тепла и электроэнергии.

В связи с этим в настоящем исследовании рассматривался вариант балансировки с увеличением напора насоса. Для исследования выбрана наиболее применяемая в настоящее время в Республике Беларусь двухтрубная тупиковая система отопления с термостатическими и балансировочными клапанами.

Исследования выполнялись на лабораторном стенде «ГЕРЦ» кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета. Стенд содержит ручные и автоматические балансировочные клапаны и позволяет производить исследования как двухтрубных, так и одноконтурных систем отопления. Для определения расходов теплоносителя в контурах

используются ротаметры. Для управления насосом ALPHA 3 компании ГРУНДФОСС использовалась программа «Grundfos GO Remote».

На лабораторном стенде «ГЕРЦ» выполнена балансировка двухтрубной тупиковой системы отопления. Данные по расходам теплоносителя в несбалансированной системе приняты следующие: фактический общий расход теплоносителя – 400 л/ч, проектные расходы: контур теплого пола – 100 л/ч, радиатор 1 – 125 л/ч, радиатор 2 – 175 л/ч.



**Рисунок 1** – Схема балансируемой системы отопления  
(1-4 – балансировочные клапаны для увязки циркуляционных колец)

### **Методика выполнения исследований.**

Увеличение напора без балансировки и балансировка с увеличением напора насоса

1. Все термостатические и ручные балансировочные клапаны устанавливаются в максимально открытое положение.

2. На насосе в режиме работы «фиксированная скорость вращения» (режим нерегулируемого насоса) устанавливается производительность для достижения проектного расхода в системе, записывается в таблицу данных №1 количество потребляемой электрической энергии насосом и расходы через контур теплого пола и радиаторы, а также общий расход теплоносителя в системе.

3. Постепенным изменением производительности насоса выставляется проектный расход в системе отопления на самом разбалансированном контуре. Полученные расходы через контур теплого пола и радиаторы заносятся в таблицу данных.

4. Насос настраивается, как указано в пункте 2. Выполняется настройка каждого циркуляционного кольца в отдельности на соответствующий проектный расход при помощи ручных балансировочных клапанов. Полученные расходы через контур теплого пола и радиаторы заносятся в таблицу данных.

5. Постепенным изменением производительности насоса получают проектный общий расход в системе отопления. Полученные после балансировки данные заносятся в таблицу данных № 1.

**Результаты и обсуждение.** Все экспериментальные данные сведены в таблицу данных № 1.

**Таблица 1** – Таблица данных балансировки с увеличением напора насоса

Характеристика данных	Расход теплоносителя, л/ч				Настройка насоса, % от макс.	Количество потребляемой электрической энергии, Вт
	Общий	контур теплого пола	радиатор 1	радиатор 2		
1	2	3	4	5	6	7
Проектные значения расходов	400	100	125	175	-	-
Фактические значения расходов до балансировки	500	190	165	145	70	19
Увеличение напора без балансировки	605	230	200	175	83	30
<b>Балансировка с увеличением напора насоса</b>						
Настройки балансировочных клапанов	-	0,45	0,6	1,4	-	-
Фактические значения расходов после настройки	350	90	105	155	70	17
Фактические значения расходов после окончания балансировки	400	100	125	175	80	24

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение напора насоса без балансировки системы водяного отопления значительно увеличивает расход электроэнергии, потребляемой насосом (в рассматриваемом случае на 37 %) и приводит к перегреву несбалансированных контуров (в рассматриваемом случае расходы в контурах увеличились в 1,1-1,2 раза выше необходимых значений).

2. Потребление электрической энергии в системе водяного отопления при балансировке с увеличением напора насоса возрастает (в рассматриваемом случае на 20 %).

**Заключение.** Исследования показали недостатки увеличения напора насоса для достижения необходимого расхода в элементах системы отопления без балансировки: перегрев некоторых частей системы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом (в рассматриваемом случае на 37 %).

Балансировка с увеличением напора насоса тоже приводит к повышенному расходу электрической энергии (в рассматриваемом случае на 20 %), однако

позволяет достаточно простым способом добиться сбалансированности контуров системы водяного отопления.

### Список цитированных источников

1. Пырков, В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. – Киев : изд. «Такі справи», 2010. – 304 с.
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. Торреджанни, Р. Балансировка систем отопления и охлаждения. Практическое руководство.– изд. компании Giacomini S.p.A., 2018. – 173 с.
5. Покотилов, В. В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения. – Вена, 2017. – 228 с.
6. Махов, Л. М. Гидравлический режим системы водяного отопления / Л. М. Махов, С. М. Усиков // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2013. – № 1(133). – С. 72–73.
7. Покотилов, В. В. Системы водяного отопления. – Вена, 2008. – 159 с.

УДК 534.142

## ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ ГОРЕНИЯ

*Д. В. Новосельцева*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
dvnovoseltseva@yandex.ru

### Аннотация

Одним из методов очистки дурнопахнущих веществ является термическое обезвреживание, в частности, сжигание. Высокоэффективным способом сжигания топлива является пульсирующее горение. Пульсирующим горением называется неустойчивый режим горения с изменяющимися во времени динамическими характеристиками процесса, имеющими периодическую составляющую.

Большое значение имеет влияние пульсаций давления на макроскопическую кинетику реакций в пульсирующем газовом потоке, исследование этого влияния являлось целью данной работы.

Исследования показали, что при колебаниях давления, возникающих при пульсирующем горении, скорость горения возрастает, а, следовательно, увеличивается теплонапряженность топочного объема, которая представляет собой тепловыделение в единицу времени с единицы объема. Сделан вывод о том,