

УДК 697.441

**Усиков Сергей Михайлович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [UsikovSM@mgsu.ru](mailto:UsikovSM@mgsu.ru)

**Московский государственный строительный университет**

Адрес организации: 129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

**Дютин Владислав Владимирович**

инженер-проектировщик

E-mail: [Welcome116rus@gmail.com](mailto:Welcome116rus@gmail.com)

**ООО «Два Облака»**

Адрес организации: 129329, Россия, г. Москва, ул. Кольская, д. 2/4

## **Оценка необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления на двухтрубных стояках системы водяного отопления с точки зрения возникновения шума**

### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – выявить критерии оценки необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления на стояках двухтрубной системы водяного отопления. Определить методику технического обоснования.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в получении методики технического обоснования установки автоматических регуляторов перепадов давления в системах отопления, с учетом процесса шумообразования в термостатических клапанах у отопительных приборов.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в практической ценности методики технического обоснования установки данных регуляторов. Определено, что при проектной потере давления во всей системе отопления, включая потерю давления в тепловом пункте свыше 20-22 кПа, установка дополнительных автоматических регуляторов необходима.

**Ключевые слова:** отопление, автоматические регуляторы перепада давления, гидравлический режим работы, термостатические клапаны, шум в регулирующей арматуре, кавитация.

### **Введение**

Системы водяного отопления с переменным гидравлическим режимом обладают рядом положительных качеств [1-3], но и не лишены недостатков [4-5]. И хотя применение некоторой автоматической регулирующей арматуры на данный момент обязательно для использования при возведении новых зданий, остается вопрос о рациональности применения всего перечня регуляторов, предложенных фирмами-производителями.

Например, производители часто рекомендуют к применению автоматические регуляторы перепада давления для вертикальных двухтрубных систем отопления. Они устанавливаются на всех стояках системы. Предполагается, что данный регулятор позволит создать более точное и плавное регулирование гидравлического режима системы, снимая дополнительную «нагрузку» с термостатических клапанов у отопительных приборов, тем самым обеспечивая наилучший уровень комфорта в отапливаемых помещениях.

Достаточно сложно оценить вклад в гидравлический режим работы, и тем более в комфорт отапливаемых помещений, вносимый регуляторами перепада давления для конкретной системы конкретного здания. Для этого необходимо провести тщательный анализ гидравлического и теплового режима здания.

Один из факторов, по которому можно определить необходимость применения данного регулятора, это фактор возникновения шума и/или кавитации в термостатических клапанах у отопительных приборов [6]. Конечно, в процессе выбора

типа и размера термоклапанов инженер проверяет, чтобы ни процесс возникновения шума, ни явление кавитации не происходили ни в одном из регуляторов.

В каталогах производителей термостатических клапанов, как правило, указывается предел, при котором начинается образование шума. В действительности уровень шума определяется скоростью движения потока жидкости в элементах клапана, но производители в качестве предела указывают конкретную величину потери давления на клапане.

На практике инженер считает систему отопления всего на один расчетный режим, когда все отопительные приборы получают расчетное количество теплоносителя. Но сам принцип действия системы отопления с переменным гидравлическим режимом работы предполагает вариативность как теплового, так и гидравлического режимов работы, а это значит, что есть необходимость просчитать все остальные варианты.

Сам по себе перебор всех возможных вариантов гидравлического режима работы системы фактически невозможен, так как термостатическая головка на клапане может создавать давление на штоке термоклапана пропорциональное температуре воздуха возле самой термостатической головки, а значит и степень закрытия (или степень открытия) клапана может быть различной. Даже если дискретно рассмотреть несколько положений золотника для каждого термоклапана, установленного у каждого отопительного прибора, и не учитывать инерционность прибора и отапливаемого помещения [7-8], то количество вариантов режимов работы системы  $N$  можно определить по формуле известной из классической теории комбинаторики:

$$N = \overline{A_n^k} = n^k, \quad (1)$$

где  $n$  – количество рассматриваемых промежуточных положений клапана;  $k$  – количество отопительных приборов, шт.

Таким образом, если задать, например, 5 положений для штока каждого клапана (клапан полностью открыт, полностью закрыт и три промежуточных положения штока) в системе с отопительными приборами в количестве 100 штук, то придется учитывать около  $7,89 \cdot 10^{69}$  вариантов гидравлических режимов работы. Конечно, при должном скрупулёзном подходе, и современной мощностью вычислительных машин это возможно, но, вероятнее всего, займет нерационально много времени.

Поэтому, в настоящем исследовании, будут рассмотрены лишь несколько наиболее характерных вариантов гидравлического режима системы отопления.

В качестве объекта исследования была выбрана система отопления 5-ти этажного жилого дома. Проектом предусмотрена насосная водяная двухтрубная система отопления с нижней разводкой и попутным движением теплоносителя. Система подключена к центральной сети теплоснабжения по независимой схеме, через пластинчатый теплообменник. Температурный график системы отопления – 80/60 °С, а городской тепловой сети 130/70 °С. Подающая и обратная магистрали проходят в подвале здания. Магистрали, стояки и подводки выполнены из стальных водогазопроводных труб. В качестве регуляторов у отопительных приборов к установке приняты термостатические клапаны с логарифмическо-линейной характеристикой [1]. К установке приняты стальные панельные радиаторы. Отопительные приборы установлены под окнами на наружной стене здания.

Согласно проектной документации, потеря давления в контуре системы отопления составляет:

- в теплопроводах теплового пункта и теплообменнике – 21,6 кПа;
- в системе отопления вне теплового пункта – 32,3 кПа.

Расчётная тепловая мощность системы, согласно проектной документации, составляет 162 386 кВт.

К установке принят насос с частотным регулированием, обеспечивающий постоянный перепад давления в системе, как один из наиболее оптимальных вариантов [9].

Принципиальная схема системы отопления приведена на рис. 1.

Для исследования гидравлических режимов применялись формулы, удобные для использования при расчете на компьютере приведенные в [10].



Рис. 1. Принципиальная схема исследуемой системы отопления (иллюстрация авторов)

### Расчётный режим работы

В расчётном режиме работы вода в необходимом количестве поступает в каждый отопительный прибор. Тепловой баланс в отапливаемых помещениях соблюдается таким образом, что отклонение температуры воздуха в помещениях от необходимой не превышает точности регулирования термостатических головок.

Термостатический клапан (ТСК) на основном циркуляционном кольце (прибор верхнего этажа, на стояке № 20) установлен с настроечной позицией «4», а потеря давления на нем составляет 7,6 кПа. Авторитет клапана  $a$  [1] составляет:

$$a = \frac{\Delta P_{\text{ТСК}}}{\Delta P_{\text{со}} + \Delta P_{\text{ИТП}}} = \frac{7,6}{32,3 + 21,6} = 0,14, \quad (2)$$

где  $\Delta P_{\text{ТСК}}$  – потеря давления в термостатическом клапане по расчетному направлению, кПа;  $\Delta P_{\text{со}}$  – потеря давления в системе отопления (в том числе и в ТСК), кПа;  $\Delta P_{\text{ИТП}}$  – потеря давления в индивидуальном тепловом пункте (ИТП), кПа.

Данный авторитет согласно [1] достаточен для пропорционального регулирования теплоотдачи отопительного прибора и исключения влияния естественного циркуляционного давления.

Циркуляционный насос подбирается по расчетному режиму и устанавливается на поддержание постоянного располагаемого давления в 53,9 кПа. Шум, согласно документации фирмы-производителя, будет возникать в ТСК при потере давления в нем свыше 20 кПа.

### Режим работы № 1

Рассмотрим первый случай, когда ТСК у всех приборов, кроме расчетного перекрыты. То есть теплоноситель в расчетном количестве должен поступать только в расчетный прибор. Такой вариант нехарактерен для эксплуатации системы, но является наиболее экстремальным вариантом гидравлического режима работы.

Потеря давления в системе отопления без учета потери давления в ТСК составит 0,33 кПа. Потеря давления в тепловом пункте при расходе теплоносителя в 41,7 кг/ч составит 0,1 кПа.

При постоянном напоре, создаваемого циркуляционным насосом, для обеспечения требуемого расхода теплоносителя через расчетный прибор термостатическому необходимо «погасить» давление в количестве:

$$\Delta P_{\text{ТСК}} = \Delta P_{\text{нас}} - \Delta P'_{\text{со}} - \Delta P'_{\text{ИТП}}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{\text{нас}}$  – поддерживаемый напор насосом, кПа;  $\Delta P'_{\text{со}}$  – потеря давления в системе отопления при заданном режиме работы (без учета потери давления в ТСК), кПа;  $\Delta P'_{\text{ИТП}}$  – потеря давления в ИТП при заданном режиме работы, кПа.

Таким образом, при отключении всей системы, кроме одного прибора (в данном примере расчетного), для установления рабочего гидравлического режима работы термоклапану необходимо «погасить» давление на величину свыше 53 кПа, что приведет к появлению шума и дискомфорта для жильцов здания.

### Режим работы № 2

Рассмотрим второй случай, когда ТСК у всех приборов, кроме приборов расчетного стояка перекрыты. То есть теплоноситель в расчетном количестве должен поступать только приборы расчетного стояка. Такой вариант также мало характерен для эксплуатации системы, но является промежуточным в исследовании.

Потеря давления в системе отопления без учета потери давления в ТСК составит 2,57 кПа. Потеря давления в тепловом пункте при расходе теплоносителя в 176,3 кг/ч составит 0,11 кПа.

Таким образом, при отключении всей системы, кроме одного стояка, для установления рабочего гидравлического режима работы термоклапану у расчетного прибора необходимо «погасить» давление на величину свыше 51 кПа, что приведет к появлению шума и дискомфорта для жильцов здания.

### Режим работы № 3

Рассмотрим третий случай, когда на одной из ветвей системы отопления весь поток теплоносителя перекрыт термостатическими клапанами у отопительных приборов. Такой вариант характерен, например, в тех случаях, когда ветви обслуживают разные фасады здания, и поступления солнечной радиации покрывает теплопотребность отапливаемых помещений. В любом случае для предложенной системы такой режим покажет способность системы к саморегулированию при отключении примерно 50 % отопительных приборов.

Потеря давления в системе отопления без учета потери давления в ТСК составит 18,33 кПа. Потеря давления в тепловом пункте при расходе теплоносителя в 3 527 кг/ч составит 5,51 кПа.

Таким образом, при отключении одной из ветвей системы, для установления рабочего гидравлического режима работы второй ветви термоклапанам необходимо «гасить» значительную величину давления, что приведет к появлению шума и дискомфорта для жильцов здания.

### Режим работы № 4

Рассмотрим четвертый случай, когда через все отопительные приборы системы отопления расход снижается на 50 %. Такой вариант характерен, например, в тех случаях, когда инженером были выбраны поверхности отопительных приборов неоправданно большой площади, а расчетный расход теплоносителя превышает необходимый. Иными словами, расчет тепловых потерь и гидравлический расчет не были выполнены на должном уровне, или не были выполнены вообще. В любом случае для предложенной системы такой режим покажет способность системы к саморегулированию при снижении расчетной мощности на 50 %.

Потеря давления в системе отопления без учета потери давления в ТСК составит 6,5 кПа. Потеря давления в тепловом пункте при расходе теплоносителя в 3 491 кг/ч составит 5,4 кПа.

Таким образом, при снижении расхода теплоносителя через каждый прибор в два раза относительно требуемого, для установления рабочего гидравлического режима

работы системы термодатчикам необходимо «гасить» значительную величину давления, что приведет к появлению шума и дискомфорту для жильцов здания.

### Режим работы № 5

Рассмотрим пятый случай, когда через все отопительный приборы системы отопления расход снижается на 15 %. Такой вариант особо характерен для современных систем отопления, когда соблюдаются требования по 15 % запасу по расходу согласно СП 60.13330.2016.

Потеря давления в системе отопления без учета потери давления в ТСК составит 17,8 кПа. Потеря давления в тепловом пункте при расходе теплоносителя в 5 934 кг/ч составит 15,6 кПа.

Таким образом, при снижении расхода теплоносителя через каждый прибор в два раза относительно требуемого, для установления рабочего гидравлического режима работы системы термодатчикам необходимо «гасить» значительную величину давления, что приведет к появлению шума и дискомфорту для жильцов здания.

Результаты расчета гидравлических режимов работы 1-5 сведены в табл. 1.

Таблица 1

№	$G_{\text{сист}}, \text{кг/ч}$	$\Delta P_{\text{нас}}, \text{кПа}$	$\Delta P'_{\text{СО}}, \text{кПа}$	$\Delta P'_{\text{ИТП}}, \text{кПа}$	$\Delta P_{\text{ТСК}}, \text{кПа}$	Требуется $\Delta P_{\text{АРПД}}, \text{кПа}$
1	2	3	4	5	6	7
1	41,7	53,9	0,33	0,1	53,47	33,47
2	176,3	53,9	2,67	0,11	51,22	31,22
3	3527	53,9	18,33	5,51	30,06	10,06
4	3491	53,9	6,5	5,4	42	22
5	5934	53,9	17,8	15,6	20,5	0,5

На рис. 2 приведена характеристика системы отопления при соответствующих режимах работы.

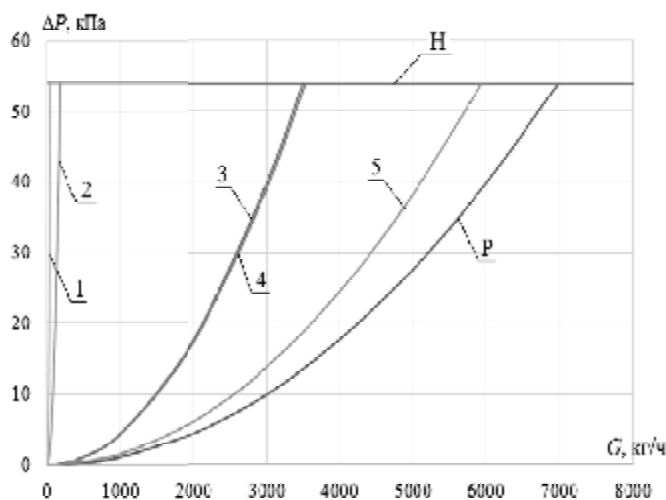


Рис. 2. Характеристика системы отопления при различных режимах работы (иллюстрация авторов): Н – характеристика насоса (поддерживает постоянный напор); Р – характеристика системы в расчетном режиме работы; 1-5 – характеристика системы в соответствующем исследованию режиме работы

Из графика видно, что в большем диапазоне встречающейся характеристики системы отопления возможно образование шума в термостатических клапанах системы, что, во-первых, негативно скажется на комфорте в обслуживаемых помещениях, а во-вторых, приведет к преждевременному износу арматуры.

### Заключение

По результатам исследования можно сказать, что, несмотря на достаточно высокий запас по потере давления в ТСК (7,6 кПа в расчетном режиме, а образование шума только при 20 кПа), из всех предложенных режимов только расчетный режим обеспечивает бесшумную работу системы.

Следовательно, для устранения данной проблемы необходимо применять дополнительные регулирующие устройства, которые возьмут на себя часть потери давления, необходимой для установления комфортного режима работы. То есть в данном случае требуется установка автоматических регуляторов перепада давления на стояках.

Стоит обратить внимание, что потеря давления в системе отопления, без учета потери в ТСК, и потеря давления в ИТП в значительной мере изменяется в сторону уменьшения, при отклонении от расчетного режима работы системы. То есть фактически, в экстремальных режимах (1, 2, 3, 4) ТСК воспринимает на себя практически весь напор циркуляционного насоса. В связи с этим можно сделать вывод, что при проектной потере давления во всей системе (или напоре циркуляционного насоса), включая потерю давления в ИТП, свыше 20-22 кПа установка дополнительных автоматических регуляторов необходима.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Представлена методика оценки необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления для водяных систем отопления с переменным гидравлическим режимом работы.

2. Для рассматриваемой системы необходима установка дополнительных регуляторов давления на стояках.

3. При проектной потере давления во всей системе (или напоре циркуляционного насоса), включая потерю давления в ИТП, свыше 20-22 кПа установка дополнительных автоматических регуляторов необходима.

### Список библиографических ссылок

1. Пырклов В. В. Регулирование автоматизированных систем обеспечения микроклимата // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013. № 5 (137). С. 70–73.
2. Taylor S. T., Stein. J. Balancing variable flow hydronic systems // ASHRAE Journal. 2002. № 10. С. 17–24.
3. Милейковский В. А. Исследование переменного тепло-гидравлического режима однотрубных вертикальных систем водяного отопления : материалы V конференции – Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции / МГСУ. Москва, 2013. С. 133–139.
4. Kent W. Petron. Avoiding common chilled water distribution problems // ASHRAE Journal. 2015. № 7. С. 50–56.
5. Прохоров В. И., Усиков С. М. О рациональности применения термостатов в системах водяного отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2018. № 6 (198). С. 54–57.
6. Control Valves and cavitation // The Engineering ToolBox. URL: [https://www.engineeringtoolbox.com/control-valves-cavitation-d\\_490.html](https://www.engineeringtoolbox.com/control-valves-cavitation-d_490.html) (дата обращения: 04.12.2018).
7. Малявина Е. Г., Петров Д. Ю. Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 66–69.
8. Пухкал В. А. Исследование инерционности отопительных приборов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 269–277.
9. Махов Л. М., Усиков С. М. Применение циркуляционных насосов с различными характеристиками в системах водяного отопления и влияние их на гидравлический режим работы // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2013. № 4 (29). С. 11–16.
10. Самарин О. Д., Махов Л. М. О расчете потерь давления в элементах систем водяного отопления // Вестник МГСУ. 2009. № 52. С. 439–443.

**Usikov Sergey Mikhailovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [UsikovSM@mgsu.ru](mailto:UsikovSM@mgsu.ru)**Moscow State (National Research) University of Civil Engineering**

The organization address: 129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye sh., 26

**Dyutin Vladislav Vladimirovich**

design engineer

E-mail: [Welcome116rus@gmail.com](mailto:Welcome116rus@gmail.com)**LLC «Two Clouds»**

The organization address: 129329, Russia, Moscow, Kol'skaya st., 2/4

**Assessment of the need for installation automatic differential pressure regulators on double-pipe risers of a water heating system in terms of noise generation****Abstract**

*Problem statement.* The aim of the research is to identify the criteria for assessment of the need for installation the automatic differential pressure regulators at stacks of two-pipe hot-water heating systems and to determine the method of technical evaluation.

*Results.* The main results of the research are to obtain the method of technical evaluation for the installation of automatic differential pressure regulators in heating systems, taking into account the process of noise emissions in thermostatic valves of heaters.

*Conclusions.* The obtained results are of value to the construction industry because of the practical utility of the method for technical evaluation of the given regulators installation. It is determined, that the installation of additional automatic differential pressure regulators is necessary, when the designed pressure losses in the heating system, including losses on the district heating substation exceed 20-22 kPa.

**Keywords:** heating, automatic differential pressure regulators, hydraulic operation mode, thermostatic radiator valves, noise in variable valves, cavitation.

**References**

1. Pyrkov V. V. Regulation of automated microclimate support systems // *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie*. 2013. № 5 (137). P. 70–73.
2. Taylor S. T., Stein J. Balancing variable flow hydronic systems // *ASHRAE Journal*. 2002. № 10. P. 17–24.
3. Mileykovsky V. A. Reserch of the variable heat-hydraulic regime in single-tube vertical water heating systems : mat. of the V conference – Theoretical foundations of heat gas supply and ventilation: materials of the V conference / MGSU. Moscow, 2013. P. 133–139.
4. Kent W. Petron. Avoiding common chilled water distribution problems // *ASHRAE Journal*. 2015. № 7. P. 50–56.
5. Prokhorov V. I., Usikov S. M. About the rationality of the use of thermostats in water heating systems // *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie*. 2018. № 6 (198). P. 54–57.
6. Control Valves and cavitation // *The Engineering ToolBox*. URL: [https://www.engineeringtoolbox.com/control-valves-cavitation-d\\_490.html](https://www.engineeringtoolbox.com/control-valves-cavitation-d_490.html) (reference date: 04.12.2018).
7. Malyavina E. G., Petrov D. Yu. Integrated calculation of the non-stationary thermal regime of the water system of the heating and the building // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2012. № 6. P. 66–69.
8. Puhkal V. A. Research of heat retention heater // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 5. P. 269–277.
9. Makhov L. M., Usikov S. M. The use of circulating pumps with different characteristics in water heating systems and their influence on the hydraulic mode of operation // *Internet-vestnik VolgGASU*. 2013. № 4 (29). P. 11–16.
10. Samarin O. D., Makhov L. M. About the calculation of pressure loss in the elements of water heating systems // *Vestnik MGSU*. 2009. № 52. P. 439–443.