

# ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОДНОТРУБНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ



Виктор  
Милейковский

к.т.н., доцент кафедры ТТСВ  
Киевского национального  
университета  
строительства  
и архитектуры

## Вступление

Данная статья является третьей из серии работ по теплогидравлическому моделированию однотрубных систем отопления. Первая статья [1] опубликована в Данфосс INFO № 3-4, 2011, вторая [2] – в Данфосс INFO № 1-2, 2012.

Энергоэффективность центральной системы отопления определяется эффективной работой её составляющих: теплогенерирующей – теплопраспеделяющей – теплоотдающей.

Эффективность источника теплоты зависит от температуры обратного теплоносителя, возвращаемого в него. Повышение этой температуры приводит к ухудшению теплообмена в теплогенераторе, что в результате приводит к снижению КПД. А температура возвращаемого теплоносителя зависит от режима работы системы отопления, обслуживаемой теплогенератором. Поэтому в Правилах технической эксплуатации тепловых установок и сетей ограничено превышение температуры обратного теплоносителя – не более чем на 3...4 °С от заданной графиком.

Теплопотери обратных теплопроводов возрастают при повышении температуры обратного теплоносителя, что негативно сказывается на энергоэффективности отопления в частности и теплоснабжения в целом.

Основное требование к энергоэффективности системы отопления таково: в каждое помещение должно доходить требуемое количество теплоты от теплоотдающей составляющей системы в соответствии с

потребностью помещения в теплоте. Основным способом достижения энергоэффективности теплоотдающей составляющей системы является применение автоматических терморегуляторов на каждом отопительном приборе. А они создают переменный теплогидравлический режим как в приборах отопления в частности, так и в системе в целом. Работа терморегуляторов приводит к завышению температуры обратного теплоносителя. При этом возрастают непродуктивные теплопотери обратных магистралей, снижается КПД теплогенератора. В итоге получаем низкую энергоэффективность систем отопления и теплоснабжения и повышенную аварийность теплогенерирующего оборудования.

В массовом строительстве многоэтажных зданий в СССР и других социалистических странах использовались однотрубные вертикальные системы отопления (без автоматического индивидуального регулирования отопительных приборов) по причине возможности их унификации, уменьшенной протяжённости трубопроводов и повышенной гидравлической устойчивости при отсутствии индивидуального регулирования теплопередачи отопительных приборов.

Замена энергонезэффективных старых однотрубных систем отопления на эффективные двухтрубные не всегда экономически возможна, поскольку требует больших затрат на демонтаж и монтаж, а также, на ремонт помещений. Поэтому необходимо искать пути эффективной и малозатратной модернизации однотрубных систем отопления.

## 1. Анализ исследований энергоэффективности однотрубных систем отопления

Советские исследователи в своих работах показывали наличие неиспользуемого потенциала энергоэффективности однотрубных систем отопления. В. Е. Константинова в работе [3] указывала, что даже при отсутствии индивидуального регулирования отопительных приборов теплогидравлический режим системы не является постоянным, поскольку при изменении температуры теплоносителя естественное давление и нелинейная зависимость теплопередачи отопительных приборов приводят к горизонтальной и вертикальной разрегулировке системы. Кроме того, температурные графики строятся согласно линейной зависимости теплопотерь от температуры внутреннего воздуха. На практике теплопотери зависят от температуры наружного воздуха нелинейно под влиянием переменной инфильтрации. Теплопоступления в помещения считаются постоянными на протяжении отопительного периода, хотя это также неверно, поскольку среднесуточные теплопоступления от солнечной радиации постоянно изменяются с изменением погоды. Если при проектировании системы отопления учитывать эти факторы, то даже при отсутствии индивидуального регулирования отопительных приборов энергозатраты [3] снизятся на 20 %.

Поскольку автоматические терморегуляторы для отопительных приборов серийно не выпускали, для повышения энергоэффективности

использовали косвенные методы, например, пофасадное регулирование. В работе [3] предложено проектировать системы с различными температурами теплоносителя на выходе из каждого стояка. При этом достигается управление саморегулированием за счёт естественного давления.

В работах [4, 5] приведен оптимальный график количественно-качественного регулирования (рис. 1), позволяющий избежать вертикального разрегулирования системы. Несмотря на то, что этот график приведен в учебниках, по которым учились все советские инженеры-проектировщики отопления, на практике он так и не был внедрён. Причина тому – отсутствие серийного производства необходимых средств автоматизации в начале и середине XX века. Современная же автоматическая запорно-регулирующая арматура способна осуществить качественное и количественное регулирование системы и даже каждого стояка отдельно [6].

Индивидуальное регулирование

отопительных приборов без дополнительных средств автоматической балансировки приводит к разрегулированию системы [1; 3]. Для повышения гидравлической устойчивости можно ограничить максимальный коэффициент затекания  $\alpha$  при полном открытии терморегулятора, что приводит к уменьшению отклонения сопротивления стояков при регулировании. Согласно рекомендациям П. Верещинского в Инструкции пользователя программы Audytor CO (см. <http://www.sankom.com.ua/firm-versions>) гидравлическая устойчивость не обеспечена, если при количестве  $n$  замыкающих участков на стояке:

$$\alpha > \alpha_{zp} = 1 - (0,23n + 1)^{1/2}. \quad (1)$$

Условие (1) не может учитывать разрегулирование из-за естественного давления, поскольку последнее зависит не от количества замыкающих участков, а от разницы отметок центров нагрева и охлаждения. То есть, этого условия не достаточно для обеспечения

гидравлической устойчивости системы.

Таким образом, анализ работ советских исследователей отопления показывает необходимость применения автоматической балансировочной арматуры на стояках для обеспечения тепловой и гидравлической устойчивости.

В современных однотрубных системах на каждом стояке устанавливают стабилизатор расхода, который гарантирует постоянный гидравлический режим системы. Во-первых, применение такого режима противоречит оптимальному графику регулирования (рис. 1), который требует снижения расхода в переходной период на 40%. Кроме того, нерешённым остаётся вопрос транзитного сброса горячего теплоносителя в обратную магистраль при закрытии термостатических клапанов. Оптимизация автоматического регулирования системы обеспечивает дополнительное повышение энергоэффективности более чем на 20%, приведенное в работе [3], то есть доводит энергоэффективность однотрубных систем до уровня двухтрубных.

Современные средства вычислительной техники значительно упрощают моделирование переменного теплогидравлического режима систем отопления. Они позволяют многограннее подойти к происходящим процессам в системе, учесть все известные влияющие факторы на её эффективность. Так, в работе [1] рассмотрен переменный гидравлический режим однотрубной вертикальной системы отопления. Установлено взаимовлияние гидравлических режимов стояков при отсутствии автоматической балансировки. Результат – разбалансировка системы отопления вплоть до остановки циркуляции в отдельных стояках. Однако естественное давление на первом этапе моделирования однотрубной системы учитывалось в стояках косвенным методом, что привело к существенному искажению негативных эффектов. Для более точного учёта естественного давления необходимо рассмотреть работу

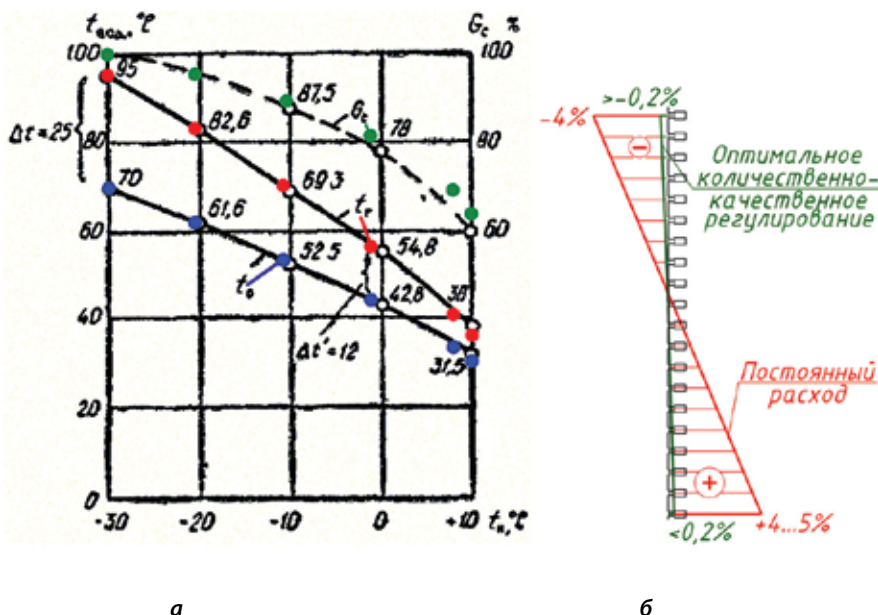


Рис. 1. Оптимальное количественно-качественное регулирование: а – график регулирования; б – сравнение при температуре наружного воздуха  $t_{вн} = 0$  °C отклонения теплопередачи отопительных приборов стояка от расчётной при постоянном расходе  $G_c$  и при оптимальном регулировании: ○ – данные работы [4, 5]; ● – относительный расход теплоносителя  $G_c = 100 G/G_{расч}$ , %, по данным моделирования; ● – температура горячего теплоносителя  $t_g$ , °C, по данным моделирования; ● – температура остывшего теплоносителя  $t_o$ , °C, по данным моделирования

системы с непосредственным его моделированием на протяжении отопительного периода.

## 2. Теплогидравлическое моделирование однотрубных вертикальных систем водяного отопления

### 2.1. Принципы моделирования

Для анализа динамического режима работы создана математическая модель однотрубной вертикальной системы водяного отопления с верхней разводкой для LibreOffice Calc. За основу принята методика [7] на базе метода характеристик сопротивления с учётом естественного давления [7] в больших и малых циркуляционных кольцах. Методика детально описана в работах [1; 2]. Одинаковыми являются принципы возникновения естественного давления в малых (закрывающий участок – подводка – отопительный прибор – подводка) и больших (источник теплоты – распределительные трубопроводы – стояки – сборные трубопроводы) циркуляционных кольцах.

То есть, принципы моделирования естественного давления в больших циркуляционных кольцах отличаются от моделирования малых колец [2] лишь значительно большим количеством участков и поэтому в данной работе не приводятся. Теплопередача отопительных приборов и трубопроводов рассчитывается согласно данным [7]. Методика подробно рассмотрена в работе [2].

Расчёты выполнены для трёх характерных зданий:

- 5-этажное;
- 12-этажное;
- 20-этажное.

Каждое здание имеет 16 стояков – по 8 на каждом фасаде. Треть стояков проходит через кухни.

Рассмотрены четыре характерных режима:

- ✓ расчётный;
- ✓ один фасад освещен солнцем и термостатические клапаны на

соответствующем фасаде перекрыты;

- ✓ в кухнях идёт процесс приготовления пищи, при котором теплопотери компенсируются теплопоступлением от плит, а термостатические клапаны перекрыты;
- ✓ температура наружного воздуха составляет около 0 °С.

Рассчитаны четыре типа балансировки стояков:

- ◆ вариант 1. Диаметрами трубопроводов;
- ◆ вариант 2. Ручными балансировочными клапанами;
- ◆ вариант 3. Автоматическими стабилизаторами расхода;
- ◆ вариант 4. Комбинированными регуляторами расхода и температуры.

### 2.2. Результаты моделирования системы отопления

При отсутствии автоматической балансировки стояков если потери давления в стояках не соответствовали п. 3.31 СНиП 2.04.05-91 [8] и получались менее 70 % потерь давления в циркуляционных кольцах за исключением общих участков, то расчёт оказался невозможным по причине высокой гидравлической неустойчивости. Далее рассмотрим

различные варианты балансировки стояков.

#### 2.2.1. Вариант 1. Балансировка диаметрами трубопроводов

Результаты моделирования систем отопления, сбалансированных диаметрами трубопроводов, приведены на рис. 2 и 3. Наблюдаются значительные отклонения как расхода, так и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль. Выполнение п. 3.31 СНиП 2.04.05-91 [8] приводит к завышенным диаметрам магистралей и заниженным скоростям. Кроме перерасхода металла это приводит к повышенному темпу оседания частиц ржавчины и других загрязнителей теплоносителя. При этом постепенно возрастает сопротивление магистралей, а со временем повышается риск засорения. Невыполнение же этого требования приводит к столь значительной гидравлической неустойчивости, что расчёт оказывается невозможным.

Для пятиэтажного здания расчёт оказался невозможным независимо от доли потерь давления стояков. Естественное давление прямо пропорционально высоте здания. Если бы стояки проектировали со строго одинаковыми удельными потерями давления, то потери давления в них



Рис. 2. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 20-этажного здания, сбалансированной диаметрами трубопроводов (вариант 1)

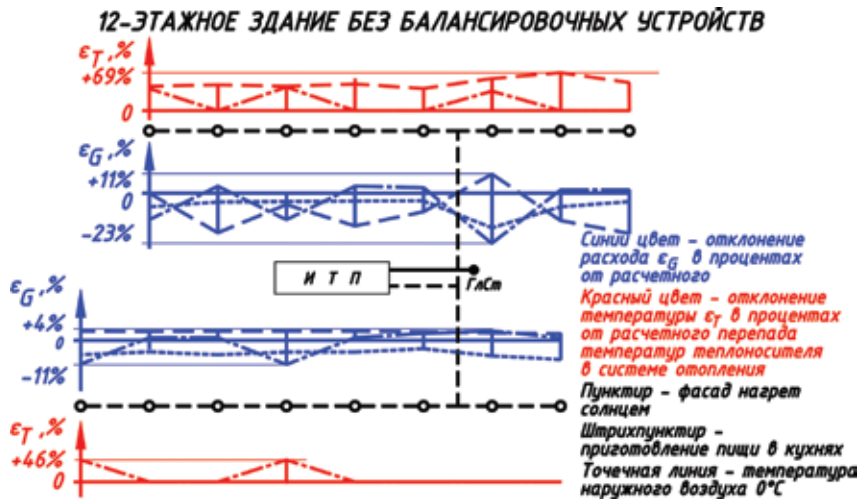


Рис. 3. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 12-этажного здания, сбалансированной диаметрами трубопроводов (вариант 1)

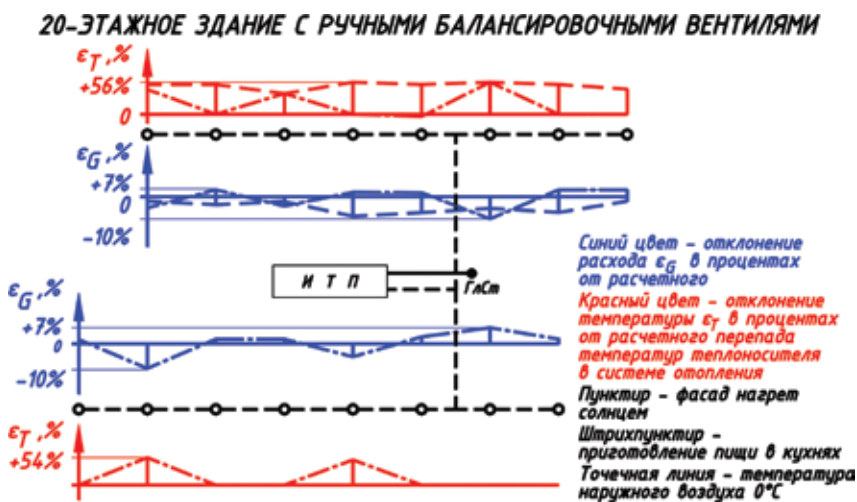


Рис. 4. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 20-этажного здания, при ручной балансировке (вариант 2)

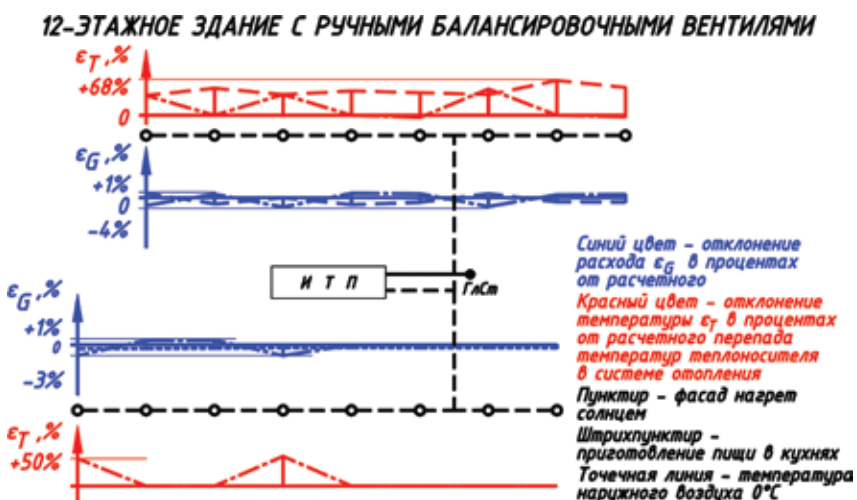


Рис. 5. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 12-этажного здания, при ручной балансировке (вариант 2)

были бы прямо пропорциональны высоте здания, и доля естественного давления была бы приблизительно постоянной при различном количестве этажей. Однако для стояков применяют только диаметры  $d_y = 15, 20$  и  $25$  мм.

Если при изменении этажности мы вынуждены сохранять диаметр стояков, то приблизительно сохраняется характеристика сопротивления этажестояков  $S_i, \text{Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2$ . То есть, с увеличением этажности  $n$  приблизительно линейно возрастает не только расход  $G, \text{кг}/\text{ч}$ , но и характеристика сопротивления стояка  $S = \sum S_i, \text{Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2$ . Тогда потеря давления  $\Delta p = SG^2, \text{Па}$ , возрастает прямо пропорционально кубу этажности  $n$ . Значит, с уменьшением этажности доля естественного давления вопреки данным [3] лавинно возрастает пропорционально минус второй степени этажности. Этим и объясняется неустойчивость гидравлического режима однотрубной системы отопления малоэтажных зданий при терморегулировании и отсутствии автоматической балансировки стояков.

Следует обратить внимание на уменьшение расхода в стояках, где отмечается повышение температуры обратного теплоносителя при закрытии термостатических клапанов. Причинами такого саморегулирования являются:

- естественное давление, которое тормозит циркуляцию в стояках с большей средней температурой теплоносителя;
- повышение сопротивления стояка при закрытии терморегуляторов.

Саморегулирование несколько уменьшает отклонение температуры обратного теплоносителя.

Следует обратить особое внимание на то, что коэффициенты некоторых местных сопротивлений даже в различных таблицах одного и того же справочника [7] отличаются до 50 %, а коэффициенты местных сопротивлений тройников – на порядок, не говоря о данных различных справочников. Кроме того, в процессе эксплуатации про-

### 5-ЭТАЖНОЕ ЗДАНИЕ С РУЧНЫМИ БАЛАНСИРОВОЧНЫМИ ВЕНТИЛЯМИ

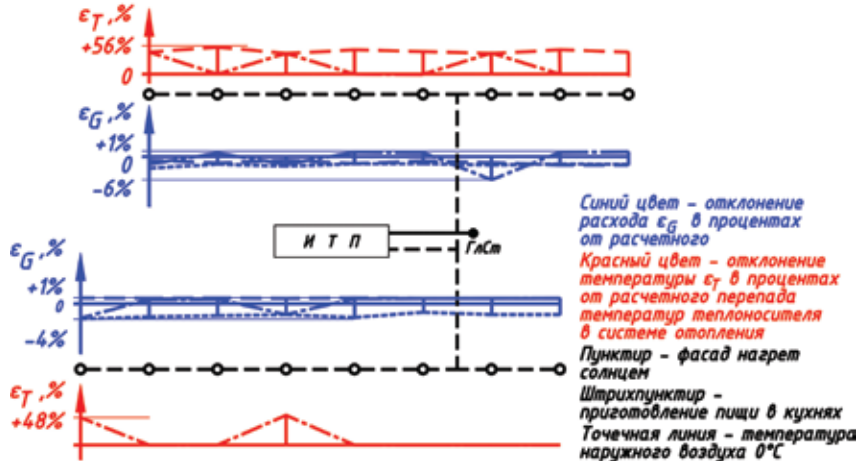


Рис. 6. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 5-этажного здания, при ручной балансировке (вариант 2)

### 20-ЭТАЖНОЕ ЗДАНИЕ С АВТОМАТИЧЕСКИМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ РАСХОДА

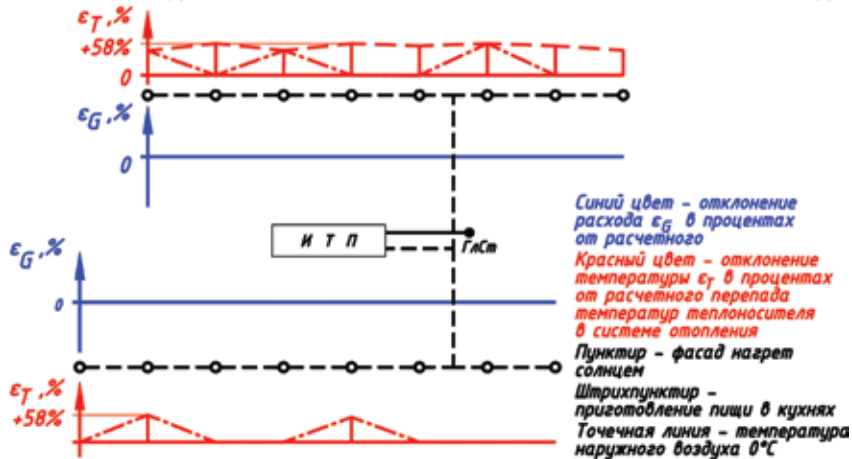


Рис. 7. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 20-этажного здания, сбалансированной автоматическими стабилизаторами расхода (вариант 3)

### 12-ЭТАЖНОЕ ЗДАНИЕ С АВТОМАТИЧЕСКИМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ РАСХОДА

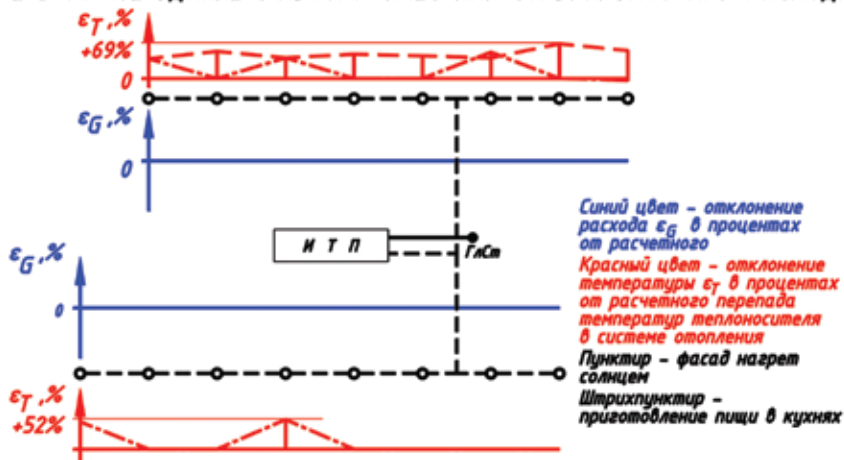


Рис. 8. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 12-этажного здания, сбалансированной автоматическими стабилизаторами расхода (вариант 3)

исходит коррозия металла трубопроводов, фасонных элементов и отопительных приборов, а также, оседание загрязнителей теплоносителя, что приводит к увеличению потерь давления в системе в несколько раз (см. рис. II.2 приложения II на стр. 239 справочника [7]). Адекватно промоделировать процесс не представляется возможным в связи с отсутствием информации про равномерность изменения сопротивления частей системы. Поэтому, проектировщики не могут быть уверены в точности подсчитанных ими потерь давления на участках, а значит, и в правильности балансировки стояков. При отсутствии балансировочной арматуры специалисты, выполняющие пусконаладочные работы и эксплуатирующие систему лишены возможности выполнить балансировку. В результате, даже в расчётном режиме эксплуатации системы возникает плохо прогнозируемое изменяющееся со временем разрегулирование системы, независимо от того, насколько скрупулёзно проектировщик выполнил её гидравлический расчёт.

#### 2.2.2. Вариант 2. Балансировка ручными балансировочными вентилями

Результаты моделирования систем отопления, сбалансированных ручными балансировочными вентилями, приведены на рис. 4-6. Гидравлический режим стабилизируется тем лучше, чем меньше этажность здания. С уменьшением этажности уменьшаются потери давления в стояках. Поэтому балансировочные клапаны в малоэтажных зданиях увеличивают гидравлическое сопротивление стояков в большей степени. Однако влияние на температуру обратного теплоносителя оказывается ничтожно малым – в пределах 1 %.

При пусконаладочных работах приходится выполнять дополнительную балансировку стояков в связи со значительными погрешностями определения потерь давления в процессе проектирования системы. Изменение потерь дав-

### 5-ЭТАЖНОЕ ЗДАНИЕ С АВТОМАТИЧЕСКИМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ РАСХОДА

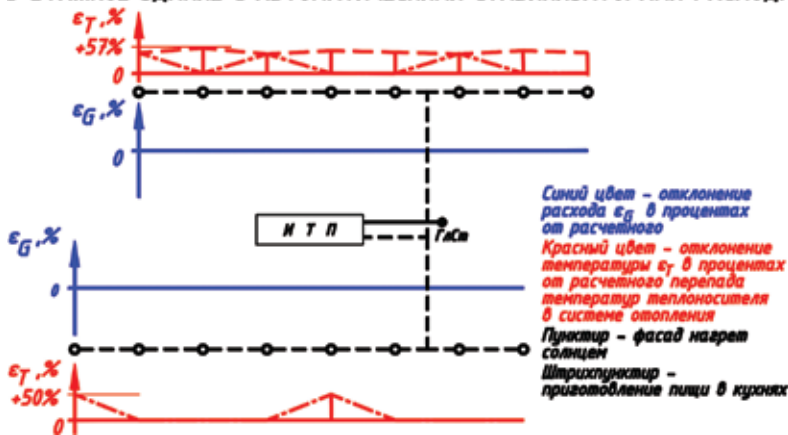


Рис. 9. Отклонение расхода и температуры теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления 5-этажного здания, сбалансированной автоматическими стабилизаторами расхода (вариант 3)

### 20-ЭТАЖНОЕ ЗДАНИЕ С КОМБИНИРОВАННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ РАСХОДА И ТЕМПЕРАТУРЫ

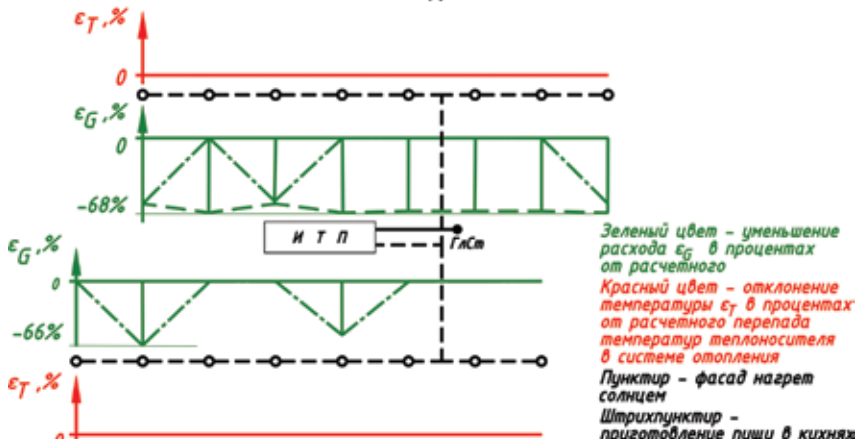


Рис. 10. Отклонение температуры и уменьшение расхода теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления, сбалансированной комбинированными регуляторами расхода и температуры (вариант 4)

### 12-ЭТАЖНОЕ ЗДАНИЕ С КОМБИНИРОВАННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ РАСХОДА И ТЕМПЕРАТУРЫ

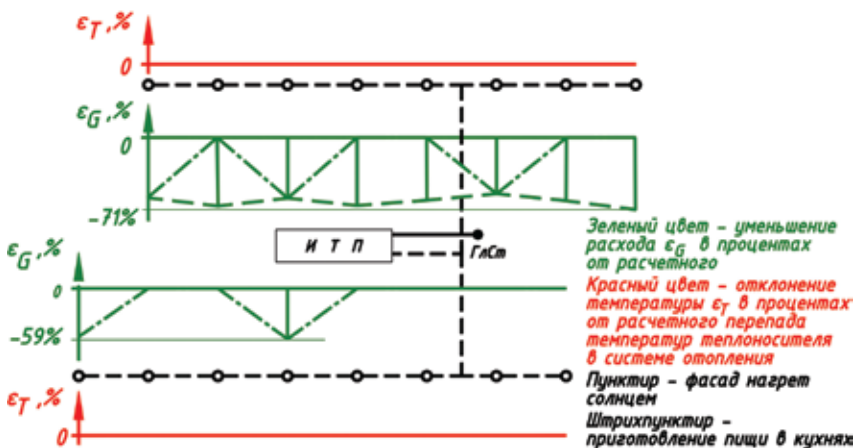


Рис. 11. Отклонение температуры и уменьшение расхода теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления, сбалансированной комбинированными регуляторами расхода и температуры (вариант 4)

ления в процессе эксплуатации системы приводит к необходимости периодической балансировки. Ручная балансировка является сложной и дорогостоящей работой, что приводит к возрастанию капитальных (при пусконаладочных работах) и эксплуатационных вложений.

#### 2.2.3. Вариант 3. Балансировка автоматическими стабилизаторами расхода

Интерес представляет режим работы системы отопления при установке автоматических стабилизаторов расхода. Такие регуляторы устанавливают в современных одноконтурных системах отопления. Они являются единственной на сегодня возможностью добиться постоянного гидравлического режима, на который не влияют ни погрешности гидравлического расчёта ни изменение потерь давления в процессе эксплуатации.

Посмотрим, позитивно или негативно сказывается такой режим на работу системы отопления (рис. 7-9).

Стабилизация расхода исключает возможность уменьшения расхода теплоносителя в стояках с перекрытыми терморегуляторами за счёт влияния естественного давления и увеличения гидравлического сопротивления (саморегулирования). Поэтому отклонение температуры обратного теплоносителя в таком режиме оказывается наибольшим. То есть стабилизация расхода не улучшает, а ухудшает тепловую устойчивость системы.

#### 2.2.4. Вариант 4. Балансировка автоматическими регуляторами расхода и температуры

Новым техническим решением для балансировки стояков одноконтурных систем отопления являются комбинированные регуляторы расхода и температуры. Про моделируем теплогидравлический режим работы системы отопления с таким вариантом балансировки (рис. 10-12). Как видим, этот способ балансировки является един-

Таблица 1. Результаты моделирования теплогидравлического режима систем отопления

Количество этажей здания	Максимальное отклонение температуры обратного теплоносителя (числитель) / расхода (знаменатель), %, при балансировке:			Макс. отклонение температуры обратного теплоносителя (числитель) / уменьшение расхода (знаменатель), %, при балансировке комбинированными регуляторами расхода и температуры
	диаметрами трубопроводов	ручными балансировочными вентилями	стабилизаторами расхода	
20	57/19	56/10	58/0	0/68
12	69/23	68/4	69/0	0/71
5	Расчёт невозможен. Неустойчивость гидравлического режима слишком велика.	56/6	57/0	0/73

ственной на сегодня возможностью стабилизации температуры возвращаемого теплоносителя.

Сохраняя постоянство температуры, эти устройства снижают расход в стояках до 73 %. Саморегулирование за счёт естественного давления и увеличения гидравлического сопротивления стояков при закрытии терморегуляторов обеспечило снижение лишь на 23 %, что явно недостаточно. Результаты

моделирования сведены в табл. 1.

На сегодня серийно производят два варианта автоматических комбинированных регуляторов расхода и температуры:

- комбинированные регуляторы расхода и температуры прямого действия – это стабилизаторы расхода, настройка которых управляется датчиком температуры. В них настраивают температуру обратного теплоносителя и максимально допустимый

расход. Если температура обратного теплоносителя окажется выше настроенной, то регулятор уменьшает расход до получения требуемой температуры. Если температура теплоносителя при максимальном расходе не достигает настроенного значения, то регулятор поддерживает постоянный расход в стояке;

- электронный комбинированный регулятор отличается тем, что настройка расхода управляется приводом. На каждом стояке датчик температуры и привод регулятора подключены к контроллеру, который поддерживает температуру обратного теплоносителя индивидуально для каждого стояка согласно запрограммированному для него температурному графику.

Оба варианта исключают влияние погрешностей проектирования системы и изменения потерь давления со временем.

Если расход теплоносителя постоянный на протяжении отопительного периода, то моделирование показывает вертикальное разрегулирование системы отопления (рис. 1, б) при повышении температуры наружного воздуха и снижении температуры горячего

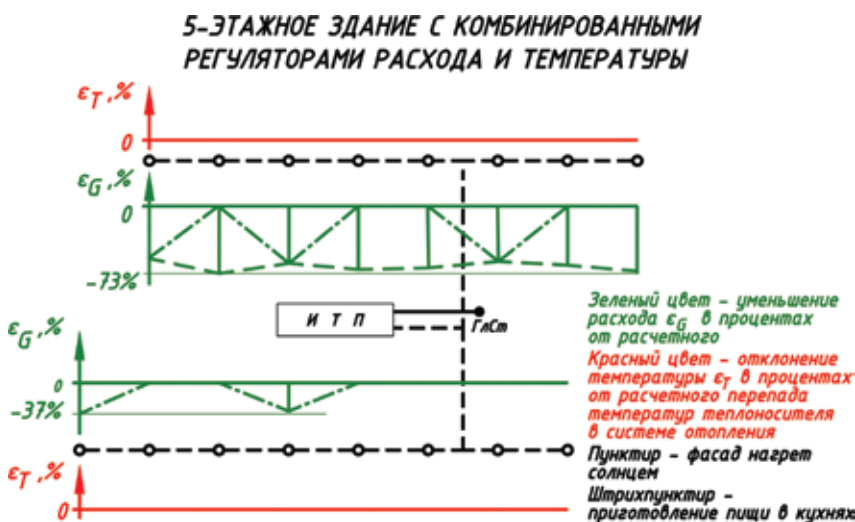


Рис. 12. Отклонение температуры и уменьшение расхода теплоносителя, сбрасываемого в обратную магистраль системы отопления, сбалансированной комбинированными регуляторами расхода и температуры (вариант 4).

теплоносителя. При этом верхние этажи недогреваются, а нижние – перегреваются на 5 %. Терморегуляторы смогут компенсировать недогрев верхних этажей лишь в случае достаточного запаса поверхности отопительных приборов (согласно нормам составляет не менее 15 %) и увеличения расхода через эти приборы путём приоткрытия терморегуляторов относительно расчетного положения 2К. Но может оказаться, что этого запаса недостаточно для удовлетворения потребности потребителя в повышенной температуре внутреннего воздуха в пределах оптимального диапазона, если он готов платить за неё.

На нижних этажах терморегуляторы несколько прикроются автоматически. Это приведёт к уменьшению диапазона их хода штока, задействованного для регулирования. Терморегуляторы уменьшат способность энергоэффективно выполнять свои функции – пропорционально регулировать тепловой поток в зависимости от переменных теплоступлений.

Модель позволяет минимизировать вертикальное разрегулирование подбором сочетания температур и расхода теплоносителя. Результаты (рис. 1) оптимизации, при которых отклонение теплотеплопередачи отопительных приборов не будет превышать 0,2 %, совпадают с данными [4, 5]. Во-первых, это совпадение подтверждает адекватность моделирования. Во-вторых, напрашивается вывод: для обеспечения экономии тепловой энергии и различных потребностей потребителей следует применять электронные комбинированные регуляторы расхода и температуры с настройкой контроллера на оптимальный криволинейный температурный график с учётом уменьшения расхода в переходной период на 40 %.

## Выводы

1. При отсутствии автоматической балансировки стояков для обеспечения гидравлической

устойчивости системы следует выполнять п. 3.31 СНиП 2.04.05-91 [8]: потери давления в стояках должны быть не менее 70 % от потерь давления в циркуляционных кольцах за исключением общих участков. При балансировке диаметрами трубопроводов это приводит к завышенным диаметрам магистралей и заниженным скоростям теплоносителя в них;

2. Вариант 1. Отсутствие специальной балансировочной арматуры на стояках приводит к низкой гидравлической и тепловой устойчивости однотрубной системы отопления, в том числе, к транзитному сбросу в обратную магистраль теплоносителя завышенной температуры. При этом не учитывается отклонение фактических коэффициентов местных сопротивлений от расчётных значений, а также постепенное увеличение потерь давления в процессе эксплуатации. В малоэтажных зданиях гидравлический режим однотрубной системы отопления является непредсказуемым;

3. Вариант 2. Ручные балансировочные вентили на стояках однотрубной системы отопления повышают гидравлическую устойчивость системы лишь частично и, кроме того, слабо влияют на тепловую устойчивость. При этом не устраняется транзитный сброс в обратную магистраль теплоносителя завышенной температуры. Влияние погрешности гидравлического расчёта системы и изменения потерь давления со временем устраняется путём дорогостоящей периодической ручной балансировки, что значительно удорожает пусконаладочные работы и эксплуатацию системы;

4. Вариант 3. Автоматические стабилизаторы расхода на стояках обеспечивают постоянный гидравлический режим системы, устраняют влияние погрешностей гидравлического расчёта и изме-

нения потерь давления со временем, но несколько повышают температуру транзитно сбрасываемого теплоносителя в обратную магистраль;

5. Вариант 4. Комбинированные регуляторы расхода и температуры на стояках являются единственной возможностью создать тепловую устойчивость системы за счёт устранения избыточного расхода в каждом стояке, а также, стабилизации температуры обратного теплоносителя. При этом устраняется влияние погрешностей гидравлического расчёта системы и изменения потерь давления со временем;

6. Электронные комбинированные регуляторы расхода и температуры на стояках, кроме того, позволяют выполнить оптимальное количественно-качественное регулирование стояков, которое устраняет вертикальную разрегулировку системы и повышает эффективность терморегуляторов.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВЫХ ОДНОТРУБНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ С УЧЁТОМ ДАННЫХ [1; 2]:

- вертикальные однотрубные системы отопления следует проектировать только с автоматической термогидравлической балансировкой стояков. Для этого на каждом стояке следует установить автоматические комбинированные регуляторы расхода и температуры;
- рекомендуется установка электронных автоматических комбинированных регуляторов расхода и температуры, в контроллере которых заложен график оптимального количественно-качественного регулирования;
- балансировка стояков системы диаметрами трубопроводов приводит к завышенным диаметрам магистралей и заниженным скоростям движения теплоносителя в них для выполнения п. 3.31



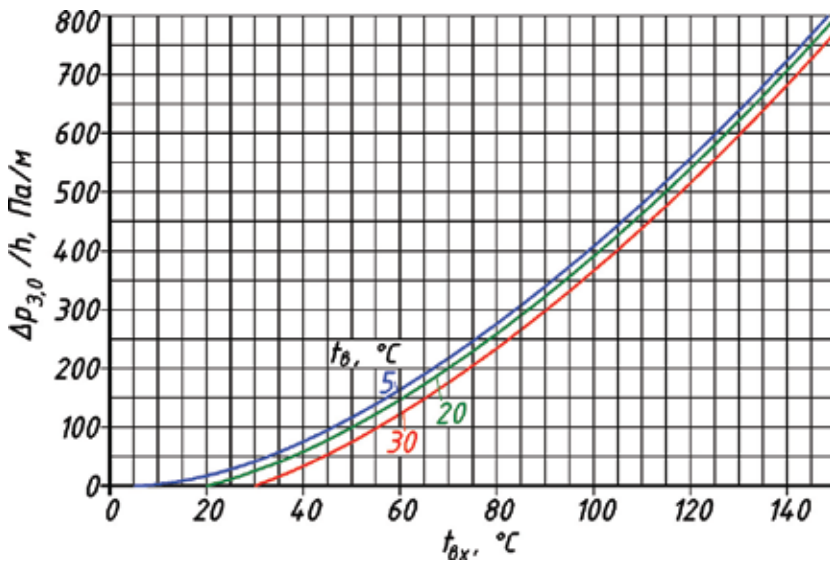


Рис. 13. Минимальные потери давления  $\Delta p_{3,0}$ , Па, в замыкающем участке длиной  $h$ , м, приборного узла при движении теплоносителя снизу-вверх, температуре теплоносителя на входе  $t_{вх}$ , °C, и температуре внутреннего воздуха  $t_{в}$ , °C, для исключения «подвисания» отопительных приборов

СНиП 2.04.05-91 [8]. Это приводит к экономически нецелесообразному перерасходу металла и повышенному риску засорения магистралей.

➤ балансировка стояков системы диаметрами трубопроводов приводит к неустраняемому и плохо прогнозируемому разрегулированию системы за счёт погрешностей расчёта потерь давления и их изменения в процессе эксплуатации. Балансировка ручными балансировочными вентилями позволяет устранить такое разрегулирование путём периодической дорогостоящей ручной балансировки, что значительно удорожает пусконаладочные работы и эксплуатацию системы отопления. И только автоматическая балансировка позволяет устранить влияние погрешностей расчёта и изменения со временем потерь давления без удорожания эксплуатации системы.

➤ балансировка стояков диаметрами трубопроводов в малоэтажных зданиях не допускается, поскольку приводит к непредсказуемой разрегулировке системы при работе автоматических терморегуляторов за счёт влияния естест-

венного давления;

➤ дросселирование замыкающего участка при движении теплоносителя сверху-вниз рекомендуется только в случае недостаточной поверхности отопительных приборов. При движении теплоносителя снизу-вверх замыкающий участок рекомендуется дросселировать с целью повышения устойчивости циркуляции теплоносителя, особенно, при малых расходах в стояке;

➤ при движении теплоносителя снизу вверх удельные потери давления в замыкающем участке при отключённом отопительном приборе должны быть не менее указанных на рис. 13 для исключения «подвисания» отопительного прибора при открытии терморегулятора;

➤ дросселирование замыкающего участка выполняется либо заводским дросселем либо диафрагмой (шайбой). Вваривание шиберирующей пластины в целевой пропил замыкающего участка не допускается.

В следующей работе будут даны практические рекомендации по устранению остаточной теплопередачи отопительного прибора

при полностью закрытой запорно-регулирующей арматуре (терморегулятор), установленной на верхней подводке. Остаточная теплопередача приводит к избыточному перегреву помещения до 40 % от расчётной теплопередачи отопительного прибора и вынужденной переплате потребителем за отопление.

## Литература

1. Милейковский В. А. Математическое моделирование переменного гидравлического режима однотрубных вертикальных систем водяного отопления // Данфосс INFO, №3-4, 2011. – С. 25-30.
2. Милейковский В. А. Математическое моделирование переменного гидравлического и теплового режимов приборных узлов однотрубных вертикальных систем отопления // Данфосс Info-№1-2 2012 г. – С. 15-27.
3. Константинова В. Е. Надёжность систем центрального водяного отопления в зданиях повышенной этажности. – М.: Стройиздат, 1986. – 183 с.
4. Отопление и вентиляция. Учеб. для вузов. В 2-х ч. Ч. I. Отопление. Изд. 3-е / П. Н. Каменев, А. Н. Сканава, В. Н. Богословский и др. – М.: Стройиздат, 1975. – 483 с.
5. Богословский В. Н., Сканава А. Н. Отопление. Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
6. Пырков В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. – К.: «Такі справи», 2010. – 304 с.
7. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3-х ч. Ч. I. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканава и др.; под ред. И. Г. Старовойра и Ю. И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
8. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование. С изм. № 1, № 2 и № 2 (міждержавні)/ Госстрой СССР, Держбуд України. – М.: АПП ЦИТП, 1992. – 64 с.