

## Теплопередача и гидравлическая балансировка в системах отопления

Профессор и доктор технических наук Райнер Хиршберг, дипломированный инженер Ханс-Юрген Хайгль\*

Отсутствие гидравлической балансировки и недостаточные температуры на поверхности в связи с низкими температурами систем отопления постоянно становятся причинами дефектов распределения и передачи тепла при осуществлении отопления. Легко реализуемая на практике гидравлическая балансировка, а также увеличение доли излучения при работе плоских радиаторов отопления на неполную мощность могут исправить ситуацию и повысить эффективность передачи и распределения тепла. Поэтому в настоящем докладе будет представлен приближенный метод, при котором с помощью предварительно настроенных в заводских условиях термостатических клапанов может осуществляться гидравлическая регулировка систем отопления с размером отапливаемой площади 1000 м<sup>2</sup>. Дополнительная экономия энергии, кроме того, достигается в результате конструктивного увеличения доли теплоты излучения плоских радиаторов отопления.

Основой всех методов оценки энергоэффективности систем отопления, как правило, является ориентированный на потребление подход, который в качестве существенного критерия учитывает создание термического комфорта помещений как отправную величину. Одним из этих критериев комфорта является «оперативная» или «воспринимаемая» температура помещения.

Она складывается из температуры излучения ограждающих поверхностей, в том числе поверхностей отопления, а также

температуры воздуха.

Улучшенная тепловая защита нынешних зданий приводит в совокупности к снижению отопительных нагрузок. Так как при расчете внутренние источники тепла во внимание не принимаются, в ходе эксплуатации это дополнительно приводит к тому, что используемые сегодня радиаторы отопления в основном работают на неполную

мощность – с соответственно более низкими температурами поверхностей и долями излучения. При этом критерии комфорта в соответствии с DIN EN ISO 7730\*\* (Описание условий теплового комфорта) с трудом поддаются соблюдению. Конструктивное улучшение доли излучения поверхностей отопления и, следовательно, теплового комфорта при работе на

неполную мощность может быть конструктивно достигнуто за счет схемы последовательного включения панелей отопления.

### Оптимизация теплопередачи за счет последовательной схемы

Поверхности отопления в настоящее время на протяжении более чем 90 % времени работы отопления функционируют на неполную мощность с малыми объемными потоками. В связи с сокращением расхода теплоносителя температура на поверхности радиаторов отопления даже при работе отопления в непрерывном режиме падает до значений ниже 40 °С, в результате чего доля излучения поверхности отопления оказывается очень низкой. Вследствие возникающего дефицита теплоты излучения у пользователя зачастую складывается впечатление, что отопление не работает. В этом случае тепловой комфорт является недостаточным.

Конструкция распространенных на рынке плоских радиаторов отопления в многослойном исполнении такова, что теплоноситель протекает через них параллельно. При этом объемный поток распределяется равномерно между передней и задней панелями.

Производитель «Керми» в случае с многослойными плоскими радиаторами отопления типа «Therm-X2» идет другим путем. На этих моделях передняя панель включается последовательно с расположенной позади нее панелью, и теплоноситель, таким образом, сначала протекает через переднюю панель. Эта мера улучшает динамические характеристики радиатора отопления, благодаря чему продолжительность фазы разогрева в среднем сокращается. Исследования и расчеты моделей показали, что по сравнению с плоскими радиаторами отопления с параллельным протеканием теплоносителя достигается сокращение фазы нагрева

\*) Профессор и доктор технических наук Райнер Хиршберг, институт в Ахене; дипломированный инженер Ханс-Юрген Хайгль, продукт-менеджмент отопительной техники компании «Керми ГмБХ»

\*\*) Стандарт DIN EN ISO 7730 имеет международное происхождение и описывает метод прогнозирования тепловых ощущений человека в условиях умеренного климата помещения. Стандарт устанавливает краевые условия климата помещений, которые должны приводить к достижению у пользователя ощущения теплового комфорта.

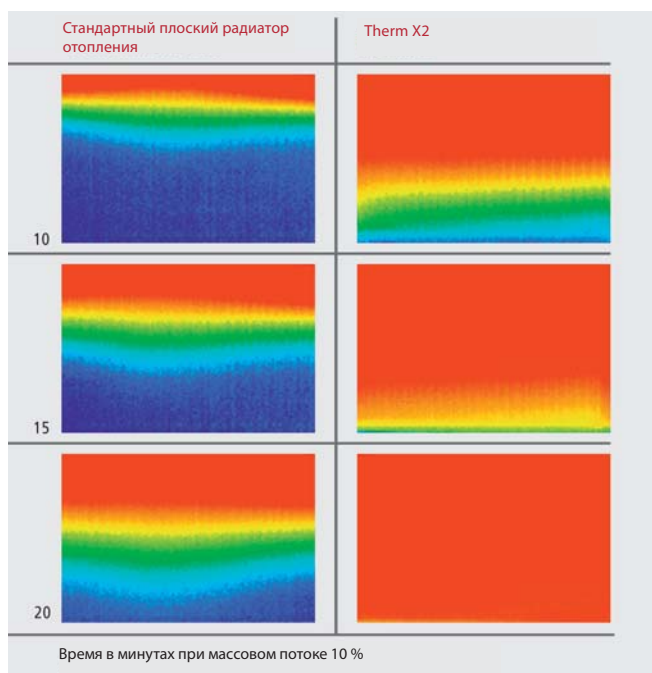
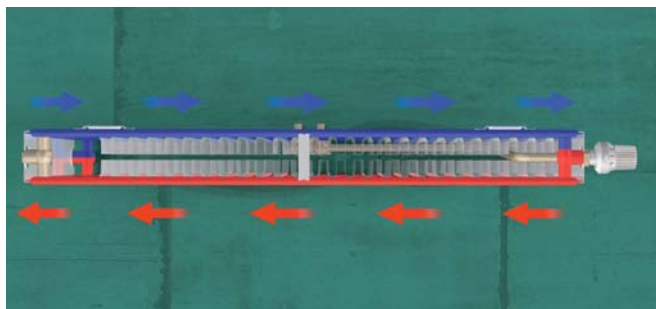


Рисунок 1: Фазы разогрева в сравнении: слева – характеристики стандартного плоского радиатора отопления, справа – значительно быстрее достигнутая, более равномерная картина варианта исполнения с последовательным протеканием теплоносителя.



**Рисунок 2:** В нормальном режиме сначала нагревается вся передняя панель плоского радиатора отопления с последовательным протеканием теплоносителя. Задняя, холодная панель отопления на данном этапе обеспечивает дополнительное экранирование от наружной стены.

приблизительно на 25 % [1]. В результате установления более высокой температуры поверхности достигается значительно более высокая доля излучения при теплопередаче. В расчетном случае (работа на полную мощность) увеличение доли излучения передней панели составляет до 10 %, в то время как в режиме работы на неполную мощность рост составляет до 100 %. Одно-

временно с этим в результате установления более низкой температуры задних панелей достигается сокращение лучистого теплообмена приблизительно того же порядка, что и у традиционных экранов защиты от излучения перед остекленными площадями.

Как показали исследования с использованием статических и динамических моделей расчета, за счет этой

последовательной схемы можно добиться общего сокращения расхода энергии величиной от 6 до 10 % [1] [2].

### Упрощенная гидравлическая балансировка

Вторая проблема заключается в передаче тепла помещению в зависимости от его потребности в таковом, что имеет предпосылкой предоставление необходимого объемного потока и необходимой температуры теплоносителя. Поэтому гидравлическая балансировка трубопроводной отопительной сети является обязательным условием надлежащего функционирования системы отопления. На практике же этот аспект по-прежнему весьма недостаточно принимается во внимание.

По этой причине несбалансированные трубопроводные отопительные сети представляют собой также и самую распространенную причину рекламационных заявлений. Во многих случаях на практике балансировка не предпринимается, поскольку для определения дифференцированных значений предварительной настройки термостатических клапанов требуется детальный расчет трубопроводной сети, а также осуществление согласованной с ним индивидуальной настройки на местах.

Эта ситуация может быть исправлена с помощью предварительно настроенных в заводских условиях термостатических клапанов. При этом настройка термостатических клапанов для гидравлической балансировки в основном зависит от топографической конструкции трубопроводной сети. Трубопроводные сети с большой горизонтальной протяженностью имеют гораздо большее влияние на необходимое значение  $k_v$  на термостатическом клапане и обеспечиваемую степень воздействующей способности клапана по сравнению с трубопроводными сетями со звездообразным распре-

лением.

В трубопроводных сетях с большой горизонтальной протяженностью доля переменного перепада давления меняется в результате сопротивления в трубах и фитингах. Поэтому такие сети представляют собой самый неблагоприятный для рассмотрения вариант. Если же ограничить отапливаемую полезную площадь до разумного значения около 1000 м<sup>2</sup>, то длина труб и, следовательно, их доля в переменном перепадае давления варьируется незначительно.

В одном из исследований [3] были варьированы ключевые параметры влияния для отапливаемых площадей от 100 до 1000 м<sup>2</sup> и рассчитаны необходимые значения  $k_v$  для радиаторов отопления, находящихся как вблизи насоса, так и вдали от него. Кроме того, в эти расчеты были включены различные конструкции генераторов тепла с их соответствующими значениями гидравлического сопротивления, а также различные расчетные температуры.

В результате удалось указать широкий диапазон размеров радиаторов отопления в сопряжении с предварительно настроенными термостатическими клапанами, настройка которых имеет допустимое отклонение от рассчитанных дифференцированным путем значений настройки.

С учетом дросселируемых перепадов давления на расположенных вблизи насоса и вдали от него радиаторах отопления могут быть указаны необходимые диапазоны значений  $k_v$  для предварительно настраиваемых термостатических клапанов. На рис. 5 представлен примерный график диапазона отапливаемой площади до 1000 м<sup>2</sup>. Здесь же были дополнительно варьированы значения мощности радиаторов отопления, а также расчетные температуры. Видно, что необходимые значения  $k_v$  по всей рассматриваемой площади

### Динамические характеристики

**Пример:** Тип 22, конструктивная высота 600, конструктивная длина 1000  
 От состояния покоя до необходимой тепловой производительности при массовом потоке 100 %.

Время в сек.



Стандартный плоский радиатор отопления

Клапан открыт полностью 800 с  
 Производительность = 1158 Вт (70 °C / 55 °C)

$T_o$  после 200 с = 43,5 °C  
 $T_r$  после 800 с = 42 °C

$T_o$  = средняя температура поверхности  
 $T_r$  = температура обратного потока

\* Источник: Исследовательский доклад профессора и доктора технических наук Райнера Хиршберга «Динамические характеристики и энергозатраты плоского радиатора отопления с последовательной схемой включения панелей».

Плоский радиатор отопления

Керми Therm X2

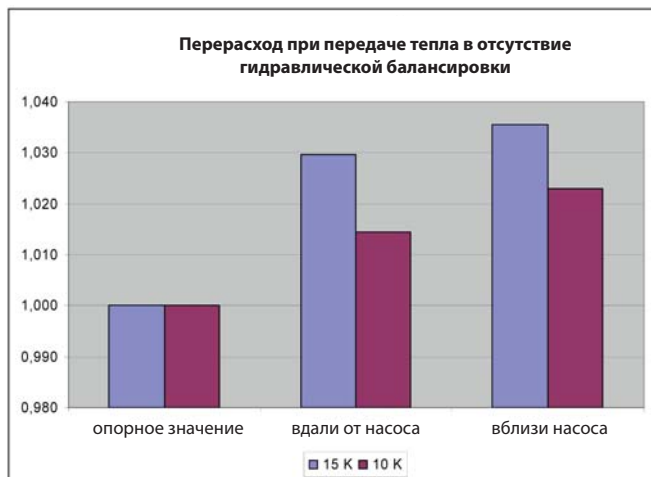
Клапан открыт полностью 600 с

Производительность = 1158 Вт (70 °C / 55 °C)

$T_o$  после 200 с = 50 °C  
 $T_r$  после 600 с = 36 °C

Благодаря принципу двусторонней конструкции (X2) сокращение времени выхода радиатора отопления Therm X2 на уровень его необходимой производительности составляет до 25 %

**Рисунок 3:** В одинаковых краевых условиях при использовании панелей отопления с последовательным протеканием теплоносителя достигается сокращение времени разогрева величиной до 25 %.



**Рисунок 4:** Энергетическая оценка теплопередачи в отсутствие гидравлической балансировки свидетельствует в зависимости от конкретных условий эксплуатации о перерасходе тепла величины 2,5 - 3,5 %.

серьезно друг от друга не отличаются, так что проводимая в заводских условиях предварительная настройка позволяет осуществить гидравлическую балансировку с достаточной точностью.

#### Числовое моделирование для оценки гидравлической балансировки

Для получения возможности оценить влияние отсутствия гидравлической балансировки и влияние качества регулирования используемых предварительно настроенных клапанов проведено

множество расчетов динамических моделей. При этом было осуществлено воспроизведение помещения с его свойствами и сопряжение круга воздействий термостатического клапана с датчиком, предварительной настройки клапанов и переменной доли трубопроводной сети в качестве модели систем здания.

В результате оказалось, что трубопроводная сеть, сбалансированная посредством предварительно настроенных в заводских условиях термостатических клапанов,

по теплопередаче имеет в среднем дополнительные термические затраты величиной около 0,5 % по сравнению с системой, имеющей идеальную гидравлическую балансировку. При ограничении предварительной настройки под размер трубопроводных сетей для отопления приблизительно 1000 м<sup>2</sup> проведенная в заводских условиях предварительная настройка клапанов может рассматриваться непосредственно как гидравлическая балансировка. С предварительной настройкой клапанов в заводских условиях в результате сопряжения с последовательно включенными подразделениями распределения и генерирования достигается экономия тепловой энергии величиной от 5 до 6 % по сравнению с несбалансированными трубопроводными сетями.

#### Возможность экономии 20 % электроэнергии

В трубопроводной сети, не имеющей гидравлической балансировки, в режиме работы на неполную мощность на радиаторах отопления, расположенных как вдали от насоса, так и вблизи него, происходит значительное увеличение массовых пото-

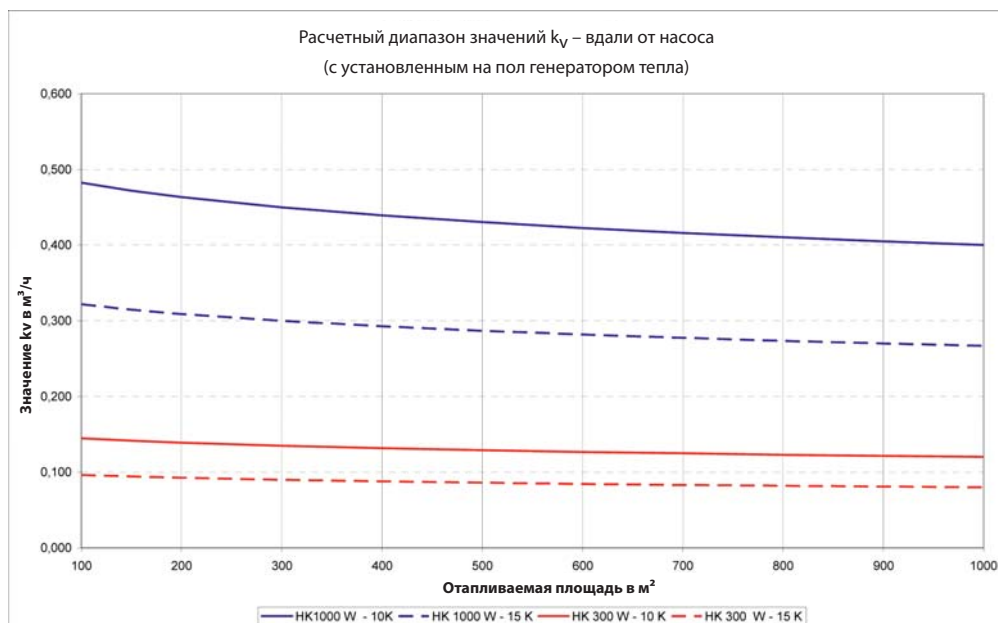
ков, которое в дальнейшем ведет к повышенному падению давления. Более высокий расход теплоносителя приводит к тому, что качество регулирования страдает из-за инертности датчика. При этом уже не может быть достигнуто теоретическое сокращение времени включения и отключения, и в результате этого в отопительном контуре наблюдается увеличение массового потока.

С учетом всех исследуемых параметров выявляется среднее увеличение массового потока приблизительно на 8 % по сравнению с номинальным значением, что в результате одновременного квадратичного роста перепада давления приводит к увеличению затрат электричества на циркуляцию величиной около 25 %.

По сравнению с трубопроводными сетями, идеально отрегулированными в гидравлическом отношении, проведенные расчеты параметров, при условии использования предварительно настроенных в заводских условиях термостатических клапанов, свидетельствуют о среднем увеличении массового потока всего на 1,5 %, что соответственно приводит к дополнительным затратам электричества на циркуляцию величиной 4,5 %. Таким образом, по сравнению с трубопроводными сетями, не имеющими гидравлической балансировки, возможно сокращение затрат электричества приблизительно на 20 %.

#### Заключение

Плоские радиаторы отопления с последовательным протеканием теплоносителя в режиме работы на неполную мощность позволяют значительно улучшить комфорт для пользователя благодаря тому, что учитываются также и его субъективные ощущения. По сравнению с традиционными плоскими радиаторами отопления время разогрева сокращается приблизительно на 25 %. При этом энергоза-



**Рисунок 5:** Для рассматриваемого диапазона отапливаемой площади до 1000 м<sup>2</sup> на основании результатов расчета модели никаких существенных изменений значений  $k_v$  не обнаруживается. Таким образом, упрощенная балансировка возможна с помощью предварительно настроенных в заводских условиях термостатических клапанов.

траты с учетом таких компонентов системы, как распределение и генерирование, сокращаются приблизительно на 6 %.

Проводимая в заводских условиях предварительная настройка радиаторов отопления в соответствии с простыми расчетными критериями значительно облегчает гидравлическую балансировку трубопроводных отопительных сетей, если область их применения ограничивается полезной площадью не более 1000 м<sup>2</sup>. В этом случае заводская настройка может рассматриваться непосредственно как гидравлическая балансировка, так как дополнительные затраты по сравнению с идеально сбалансированными трубопроводными сетями составляют около 0,5 %. Это отклонение сопоставимо с расчетной точностью дифференцированных методов расчета.

Достижимая экономия тепловой энергии по сравнению с несбалансированными трубопроводными сетями составляет приблизительно от 5 до 6 %, сокращение затрат электричества около 20 %, что в совокупности позволяет вскрывать значительные потенциалы экономии.

В результате энергетических преимуществ теплопередачи, при последовательном протекании теплоносителя через многослойные плоские радиаторы отопления, а также с предварительной настройкой в заводских условиях значений  $k_v$  на термостатических клапанах, может достигаться суммарная экономия энергии до 11 %.

Изображения: «Керми ГмБХ»,  
Платтлинг

#### Литература:

[1] Профессор и доктор технических наук Райнер Хиршберг, исследовательский доклад «Динамические характеристики и энергозатраты плоского радиатора отопления с последовательной схемой включения панелей».

[2] Технический университет Дрездена, исследовательский доклад «Оценка радиаторов отопления «Therm X2» путем моделирования».

[3] Профессор и доктор технических наук Райнер Хиршберг, исследовательский доклад «Предварительная настройка клапанов – диапазоны настройки, гидравлическая балансировка и энергетическая оценка».

@ Информация в Интернете:  
[www.kermi.de](http://www.kermi.de)