

ЕВРОПЕЙСКИЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ

Часть 4. Предыдущие части в Данфосс INFO №3/4/2007, №1/2/2008 и №3/2008

Эффективность использования энергии системой отопления состоит в сбережении тепловой и электрической энергии. Эффект теплосбережения конструктивных решений системы мы рассмотрели в части 3 данной статьи, опубликованной в предыдущем номере журнала. Сейчас сосредоточим основное внимание на роли конструктивных решений системы в экономии электроэнергии, затрачиваемой на распределение теплоносителя по ветвям, стоякам... В этом нам поможет разобраться **prEN15316-2-3:2007 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 2–3: Space heating distribution systems** (Системы отопления зданий. – Метод расчета требуемой энергии и эффективности систем – Распределение систем центрального отопления). Нормативный отечественный аналог такой методики отсутствует.

Годовое потребление электроэнергии циркуляционным насосом системы отопления определяют по формуле:

$$W_{H,dis,aux,an} = \frac{P_{hydr,des}}{1000} t_{op,an} e_{dis} \beta_{dis} f_s f_{NET} f_{SD} f_{HB} f_{G,PM}$$

где:

$P_{hydr,des}$ – расчетная мощность насоса, Вт;

$t_{op,an}$ – продолжительность отопительного периода, час/год;

e_{dis} – коэффициент, учитывающий затраты энергии на управление циркуляционным насосом;

β_{dis} – коэффициент осреднения подачи насоса;

f_s – коэффициент, учитывающий вид температурного контроля теплоносителя;

f_{NET} – коэффициент, учитывающий вид разводки трубопроводов системы;

f_{CD} – коэффициент, учитывающий

геометрическое соответствие отапливаемой площади;

f_{HB} – коэффициент, учитывающий выполнение гидравлической настройки системы;

$f_{G,PM}$ – коэффициент, учитывающий способ управления насосом источника теплоты.

Данное уравнение в значительной степени отличается от отечественного подхода, где в учет принимались особенности насоса, выражаемые лишь его коэффициентом полезного действия. Теперь в учет принимают не только конструктивные особенности современных регулируемых насосов, но и конструктивные особенности автоматизированных систем. Сегодня системы стали с переменным гидравлическим режимом, что позволило получить дополнительную экономию электроэнергии на насосе. Эти влияющие факторы учтены в уравнении безразмерными коэффициентами.

Современные насосы – регулируемые насосы и, безусловно, потребление ими электроэнергии

напрямую зависит от способа регулирования и параметров регулируемой среды. Это учитывает комплексный коэффициент e_{dis} . Подробно на расчете коэффициента не будем останавливаться, лишь отметим, что он учитывает: соотношение электрической мощности насоса к развиваемому давлению теплоносителя в рабочей точке; соотношение электрической мощности насоса к развиваемому давлению теплоносителя при осредненной за отопительный период нагрузке; соотношение электрической мощности насоса в рабочих точках его нерегулируемой и регулируемой характеристик; вид

регулирования насоса (нерегулируемый, с постоянным перепадом давления, с пропорциональным изменением давления).

Следующее устройство, потребляющее энергию, – регулятор по погодным условиям в индивидуальном тепловом пункте здания. Его наличие принимается за базовый вариант при учете вида температурного контроля теплоносителя, поскольку это европейское требование является обязательным, как минимальное автоматическое оснащение теплового пункта. В этом случае – качественно-количественного контроля – принимают $f_s = 1$. По украинским нормам, так же как и по европейским, применение регулирования по погодным условиям обязательно в соответствии с п. 3.15 изм. № 2 к СНиП 2.04.05-91 и п. 9.8.3 ДБН В.2.5-39: 2008 «Теплові мережі». Для систем с постоянной температурой теплоносителя (т. е. без регулятора по погодным условиям) значение этого коэффициента изменяется от 0,97 при площади застройки здания 100 м² до 0,77 при 1000 м².

Наиболее интересным и существенным, с точки зрения сопоставления одно- и двухтрубных систем отопления, является влияние способа разводки трубопроводов. За базовый вариант принята двухтрубная периметральная разводка – $f_{NET} = 1$, как наиболее распространенная. Для других видов разводки значение этого коэффициента представлено в таблице 1.

По данным таблицы можно сделать следующие выводы:

- вертикальная двухтрубная разводка по сравнению с горизонтальной приводит к уменьшению потребления электроэнергии на 7...8 % вследствие меньшего гидравлического сопротивления узлов обвязки отопительных



Виктор Пырко

к.т.н., доцент,
зам. ген. директора
по научной работе
«Данфосс ТОВ»



Таблица 1. Коэффициент f_{NET}

Разводка трубопроводов	Односемейное здание	Многосемейное здание
Двухтрубная система		
Периметральная	1,0	
Лучевая	0,98	
Напольная	0,98	
Вертикальная	0,93	0,92
Однотрубная система		
Любая	$8,6k_{by} + 0,7$	

приборов в сравнении с горизонтальными ветвями, и, соответственно, большим влиянием гравитационного давления;

- среди горизонтальных двухтрубных систем несколько меньше затраты энергии (на 2 %) в системе с лучевой либо напольной разводкой из-за незначительного отличия гидравлического сопротивления циркуляционных колец;
- вертикальная двухтрубная разводка в многосемейном доме по сравнению с односемейным приводит к незначительному уменьшению затрат (на 1 %) электроэнергии из-за увеличения влияния гравитационного давления, вызванного увеличением высоты здания;
- **однотрубная разводка по сравнению с двухтрубной** приводит к значительному потреблению электроэнергии насосом – от **2,4 раза** при коэффициенте затекания в отопительный прибор $k_{by} = 0,2$ до **5 раз** при $k_{by} = 0,5$. Столь существенное энергопотребление является следствием квазипостоянного гидравлического режима однотрубной системы, не допускающим уменьшения подачи насоса.

Базовым условием влияния геометрических размеров отапливаемой площади принят вариант ее соответствия проектной тепловой мощности системы отопления – $f_{CD} = 1$. В противном случае, т. е. увеличении отапливаемой площади, – $f_{CD} = 0,96$. При увеличении площади возрастает длина (сопротивление) циркуляционных колец, что уменьшает расход теплоносителя и, соответственно, снижает потребление электроэнергии насосом.

Гидравлически сбалансированная система является базовым вариантом $f_{HB} = 1$. Отлаженной считают ту систему, в которой реальные расходы теплоносителя у конечных потребителей (радиаторов, калориферов...) соответствуют расчетным значениям. Наладка системы должна быть выполнена по **EN 14336:2004 Heating systems in buildings – Installation and commissioning of water-based heating systems** (Системы отопления зданий – Монтаж и наладка систем водяного отопления). **Отсутствие должной наладки системы оценивается увеличением затрат электроэнергии на 15 %**, т. е. $f_{HB} = 1,15$.

Для источника теплоты со встроенным насосом принимается за базовый вариант установленный на пол котел с управлением по погодным условиям – $f_{G,PM} = 1$. Для настенного котла с управлением по погодным условиям – $f_{G,PM} = 0,75$, а для настенного котла с регулированием температуры помещений – $f_{G,PM} = 0,45$. Таким образом, **наиболее экономичным** по потреблению электроэнергии (на 55 %) является **вариант с терморегулированием помещений**. Именно такой вариант обязателен к применению по п. 5.27 ДБН В.2.2-15-2005 «Жилые здания» и п. 3.14 изм. № 2 (украинские) **СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»** – терморегуляторы должны применяться у каждого отопительного прибора в зданиях, оборудованных индивидуальными котлами.

В системе с постоянным гидравлическим режимом подача (расход) теплоносителя насосом постоянна, поэтому однотрубная система принята за базовый вариант при определении коэффициента $\beta_{dis} = 1$. В двухтрубной системе с переменным гидравлическим режимом расход теплоносителя изменяется в течение отопительного периода. Однако изменение расхода на насосе в этой системе зависит от конструктивных особенностей насосного узла. Если уменьшение расхода теплоносителя в системе приводит к уменьшению расхода на насосе, то коэффициент осреднения нагрузки определяют

по формуле:

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,outan}}{\Phi_{em} t_{op,an}}$$

где:

$Q_{H,dis,outan}$ – годовое проектное потребление тепловой энергии;
 Φ_{em} – номинальная мощность примененных отопительных приборов при проектировании;
 $t_{op,an}$ – продолжительность отопительного периода, час/год.

Если у насоса установлен перепускной клапан, то вначале рассчитывают коэффициент по вышеприведенному уравнению, затем его корректируют

$$\beta'_{dis} = \beta_{dis} + (1 - \beta_{dis}) \frac{V_{min}}{V_{des}}$$

где:

V_{min} – минимальный расчетный объемный расход теплоносителя через перепускной клапан, м³/час;
 V_{des} – расчетный объемный расход теплоносителя в системе, м³/час.

Из этого уравнения следует, что уменьшение расчетного расхода через перепускной клапан приводит к экономии электроэнергии. **Максимум достигается при нулевом расходе через перепускной клапан, т. е. замене нерегулируемого насоса и перепускного клапана на насос с частотным регулированием.**

В соответствии с п. 3.59 изм. № 2 (украинские) **СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»** применение перепускного клапана является обязательным в тепловых пунктах или местных котельных для зданий любого назначения с двухтрубными системами отопления. В европейской норме **EN 15232:2007 Energy performance of building – Impact of Automation, Controls and Building Management** (Энергетическое исполнение зданий – Комплексное влияние автоматизации, контроля и управления) принят более современный подход: для зданий общественного назначения обязательно применение насосов с частотным регулированием; для жилых зданий класса энергоэффективности А и В – так же, а класса С – допускаются к применению насосы с контролем вкл./выкл.

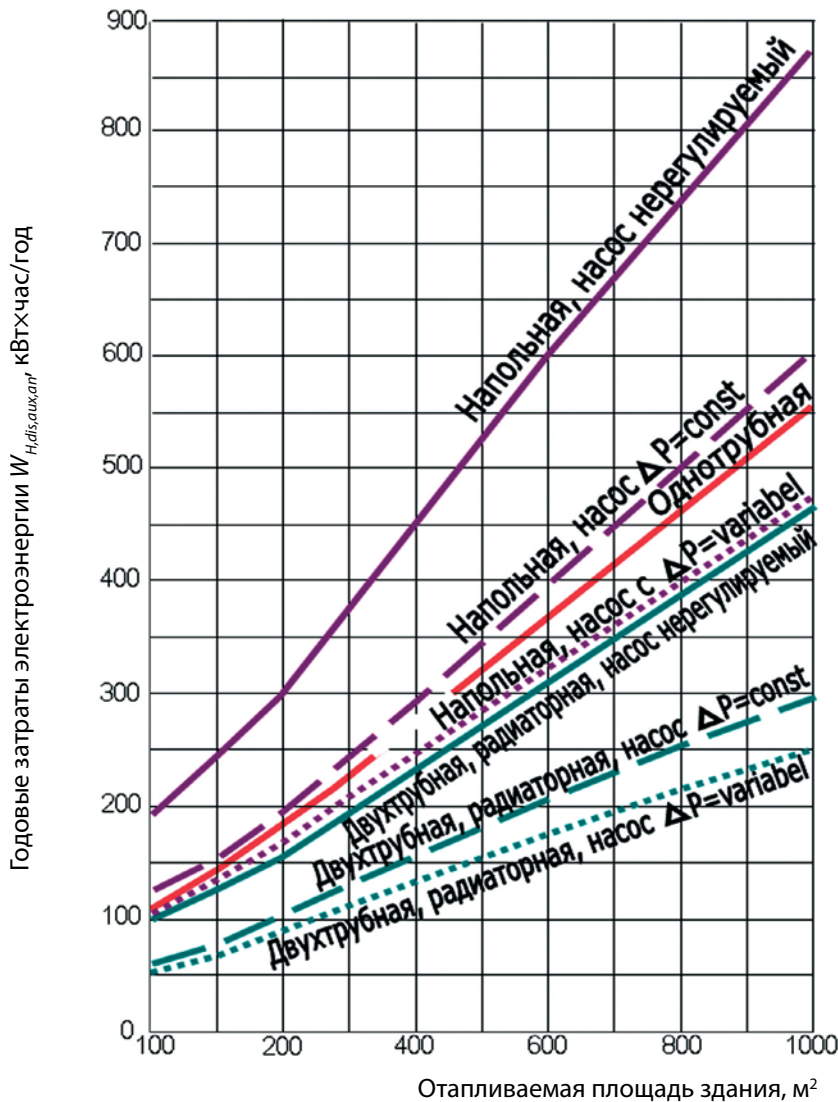


Рис. 1. Влияние конструктивного исполнения водяной системы отопления на потребление электроэнергии

Наряду с детальным расчетным методом, в prEN15316-2-3:2007 дан пример, позволяющий оценить совокупное итоговое влияние рассмотренных выше факторов. Так, на рис. 1 приведены данные для системы водяного отопления нового здания с высотой этажа – 3 м, удельными теплотерями 40 Вт/м² и продолжительностью отопительного периода 5000 час/год. При иной продолжительности $t_{op,an}$ необходимо применить коэффициент пересчета $f = t_{op,an}/5000$.

По приведенным данным на рис. 1 можно также оценить снижение электропотребления насоса при периодичном тепловом режиме здания (ночном снижении; снижении выходного дня). Для этого необходимо к $W_{H,dis,aux,an}$ применить коэффициенты пересчета:

- $f_{im} = 0,87$ для основного ежедневного недельного периода с 06:00 до 22:00 часов и $f_{im} = 0,69$ для остального (экономного) периода;
- $f_{im} = 0,87$ основного периода с 06:00 до 22:00 часов с понедельника по пятницу включительно и $f_{im} = 0,60$ для остального (экономного) периода.

Из приведенных данных на рис. 1 следует:

- **однотрубная радиаторная система отопления потребляет на 20 % больше электроэнергии, чем двухтрубная** даже при использовании нерегулируемого циркуляционного насоса;
- **применение насосов с частотным регулированием** в двухтрубной системе отопления существенно **сокращает электропотребление – на 55 %** при поддержании постоянного перепада давления и на

- 85 % при пропорциональном изменении перепада давления;
- **однотрубная радиаторная система отопления потребляет от 85 % до 122 % больше электроэнергии, чем двухтрубная** при использовании соответственно регулируемого циркуляционного насоса с постоянным перепадом давления либо с пропорциональным его изменением;
- напольная водяная система отопления лишь с регулируемыми насосами сопоставима по электропотреблению с одно- и двухтрубными радиаторными системами с нерегулируемыми насосами.

В prEN15316-2-3:2007 приведена также методика расчета теплопотерь системы отопления трубопроводами. Она в значительной степени не коррелирует с отечественной методикой, представленной в приложении 12 изменений № 1 к СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Недостатком отечественной методики, прежде всего, является неопределенность диаметров трубопроводов системы до гидравлического расчета, что требует применения метода последовательных приближений для нахождения теплопотерь трубопроводов в неотапливаемых помещениях при определении расчетной тепловой мощности системы отопления. Кроме того, не учтен переменный гидравлический режим системы отопления, который приводит к уменьшению теплопотерь в обратном трубопроводе, а также не учтены теплопотери от запорно-регулирующей арматуры, что имеет довольно существенное значение.

В методике расчета теплопотерь системы по prEN15316-2-3:2007 при известной разводке трубопроводов определяют общую их длину. Затем определяют теплопотери трубопроводов по удельному тепловому потоку от них, определенному для зданий постройки до 1980 г., с 1980 г. по 1995 г. и после 1995 г., при теплоизолированных либо нетеплоизолированных трубах, которые расположены у наружной теплоизолированной либо нетеплоизолированной стены. Приведена также

эквивалентная длина трубопровода, соответствующая теплопотерям в запорно-регулирующей арматуре. Например, теплопотери от клапана диаметром выше 100 мм аналогичны теплопотерям шести метров трубопровода того же диаметра (таблица 2).

применить коэффициент пересчета $f = t_{op,an}/5000$.

Из данных рис. 2 следует:

- теплопотери трубопроводов в неотапливаемой части здания примерно пропорционально умень-

части здания снижаются с уменьшением расчетной температуры теплоносителя – от 8,5 раз при 90/70 °С до 4, 6 раза при 35/28 °С (для 1000 м²).

Таким образом, дополнительного энергосбережения двухтрубной системой отопления можно достичь применением теплоносителя с расчетной температурой ниже 90/70 °С. При этом улучшается терморегулирование отапливаемых помещений (терморегулятором с радиатором) за счет снижения нерегулируемых теплопоступлений от трубопроводов, а также улучшается обеспеченность помещений тепловым потоком независимо от их удаления от источника теплоты.

Таблица 2. Эквивалентная длина клапана

Запорно-регулирующая арматура с фланцами включительно	Эквивалентная длина [м] трубопровода при диаметре клапана	
	Не более 100 мм	Более 100 мм
Нетепло-изолированная	4,0	6,0
Тепло-изолированная	1,5	2,5

Наряду с детальным расчетным методом, в prEN15316-2-3:2007 дан пример, позволяющий оценить влияние параметров теплоносителя на теплопотери трубопроводов. Так, на рис. 2 приведена зависимость теплопотерь трубопроводами двухтрубной вертикальной системы водяного отопления нового здания с высотой этажа – 3 м, удельными теплопотерями 40 Вт/м² и продолжительностью отопительного периода 5000 час/год. При иной продолжительности $t_{op,an}$ необходимо

шаются со снижением расчетной температурой теплоносителя – на 50 % при переходе с расчетной температуры 90/70 °С на 55/45 °С;

- теплопоступления от трубопроводов в отапливаемую часть здания значительно больше, чем теплопотери трубопроводов в неотапливаемой части здания – до 8,5 раз при 90/70 °С (для 1000 м²);
- теплопоступления от трубопроводов в отапливаемую часть здания и их отношение к теплопотерям трубопроводов в неотапливаемой

Опечатка: в журнале Данфосс INFO №3/2008 в статье «ЕВРОПЕЙСКИЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ» на стр. 14 оголовок таблицы 6 должен иметь вид:

Система отопления	η_{em}		Эффект
	Нагревательные приборы у наружных стен	Нагревательные приборы у внутренних стен	
1. Электрическая; высота помещений ≤ 4 м			

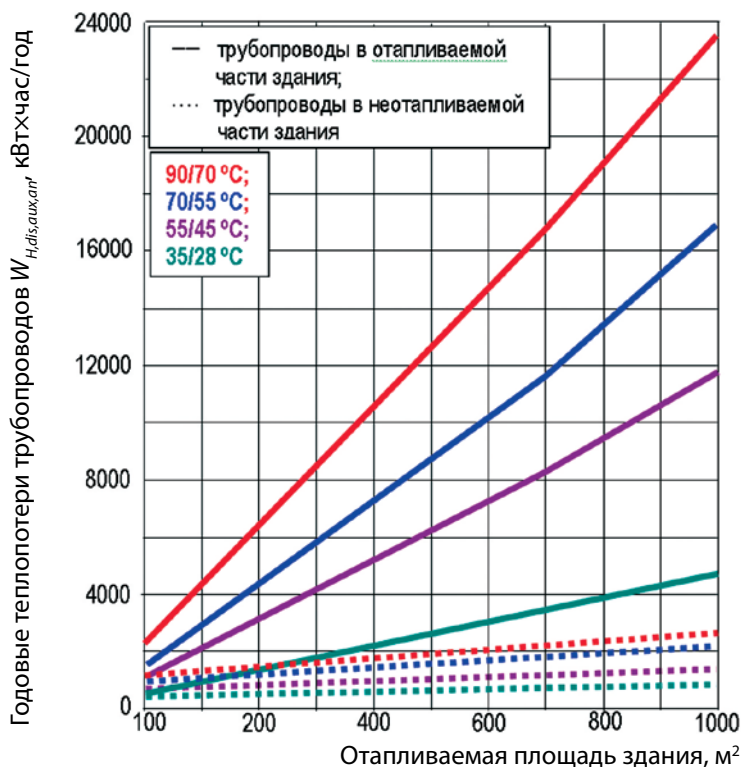


Рис. 2. Влияние расчетной температуры теплоносителя водяной системы отопления на теплопотери трубопроводов

Новости литературы

Уважаемые читатели, мы рады предложить Вам новые версии следующих изданий:

Книга «Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование»
Код для заказа VD.57.Q5.50

Брошюра «Пластинчатые теплообменники»
Код для заказа VB.JI.B2.02