

## ЕВРОПЕЙСКИЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ

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



Виктор  
Пырко

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



Пожалуй, самой сложной частью проектирования является выбор проектного решения. Несмотря на то, что у каждого специалиста есть рецепты на все случаи жизни, обоснование энергоэффективности принятого решения чаще всего отсутствует. Особенно, если это касается системы в целом. Специалисты, как правило, оперируют конструктивными отличиями оборудования и системы, которые в большей мере отражают капитальные затраты и в меньшей – эксплуатационные. Расширить кругозор специалистов на стадии обоснования энергоэффективности выбранного проектного решения как оборудования, так и системы в целом дают возможность сегодня самые современные европейские нормы. Кроме того, они позволяют при проектировании определить время возврата инвестиций в систему отопления, что все чаще интересует заказчика.

Эффективность использования тепловой энергии системой отопления представлена в проекте европейской нормы **prEN15316-2-1:2007 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 2-1: Space heating emission systems** (Системы отопления зданий. Метод расчета требуемой энергии и эффективности систем. Системы центрального отопления). В ней рекомендованы два альтернативных расчетных метода:

- метод использования эффективности, адаптированный из немецкого стандарта DIN 18599;
- метод использования превышения внутренней температу-

ры воздуха, адаптированный из французского стандарта RT2005.

Сосредоточим внимание на методе использования эффективности, как наиболее охватывающем разнообразии проектных решений. В этом методе определена энергоэффективность значимых конструктивных особенностей системы отопления, выраженных через коэффициенты. По совокупности проектных решений (коэффициентов) определяют дополнительную тепловую энергию  $Q_{em,ls}$ , на которую необходимо подкорректировать расчетное теплотребление  $Q_H$ . За расчетный период теплотребления принимают календарный месяц, отопительный период и т. п. Результирующее уравнение методики рассмотрим в развернутом виде для упрощения его понимания и определения практических выводов:

$$Q_{em,ls} = \left( \frac{f_{huds} f_{im} f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) Q_H = [f_{huds} f_{im} f_{rad} (4 - \eta_{str} - \eta_{ctr} - \eta_{emb}) - 1] Q_H =$$

$$= \left[ f_{huds} f_{im} f_{rad} \left( 4 - \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2} - \eta_{ctr} - \frac{\eta_{emb1} + \eta_{emb2}}{2} \right) - 1 \right] Q_H,$$

где:

$f_{huds}$  – коэф. учета выполнения гидравлической балансировки системы;

$f_{im}$  – коэф. учета применения периодичного теплового режима помещения;

$f_{rad}$  – коэф. учета влияния лучистого теплообмена;

$\eta_{em}$  – обобщающий коэф. учета условий теплоотдачи системы, выражаемый через:

$\eta_{str}$  – коэф. учета влияния градиента (стратификации) температуры воздуха в помещении; для

некоторых систем является среднеарифметическим следующих коэффициентов:  $\eta_{str1}$  – учитывающего температуру теплоносителя, и  $\eta_{str2}$  – учитывающего условия расположения отопительного прибора;

$\eta_{ctr}$  – коэф. учета применяемого вида регулирования температуры воздуха в помещении;

$\eta_{emb}$  – коэф. учета обеспечения полезной теплоотдачи (непосредственно в отапливаемое помещение) встроенных элементов (для панельно-лучистых систем); для некоторых систем является среднеарифметическим следующих коэффициентов:  $\eta_{emb1}$  – учитывающего тип панельно-лучистой панели, и  $\eta_{emb2}$  – учитывающего степень теплоизоляции панели со смежным помещением.

При дальнейшем рассмотрении эффективности тех или иных проектных решений, следует учитывать, что в соответс-

твии с общепринятым подходом европейского нормирования в нормах указаны минимальные значения параметров, исходя из общего технического совершенства оборудования. Следовательно, приведенные ниже значения эффективности оборудования у высокотехнологичных производителей могут отличаться в большую сторону.

**Эффект теплосбережения и сокращения электропотребления от выполнения гидравлической балансировки**

**системы** является результатом осуществленной наладки системы в соответствии с **EN 14336:2004 Heating systems in buildings – Installation and commissioning of water based heating systems** (Системы отопления – Монтаж и наладка систем отопления). Эффект теплосбережения от гидравлической наладки системы в пределах ограничения ее тепловой мощности незначителен. Результатом гидравлической разбалансировки является перегрев одних помещений и недогрев других, что в целом сохраняет теплопотребление здания одинаковым, тем более, что оно ограничено в теплопотреблении. Однако, при этом происходит перераспределение теплопотребления между помещениями, приводящее к небезопасности тепловым комфортом, что относится в большей мере к санитарно-гигиеническому эффекту. И все же, для отлаженной системы с автоматическими регуляторами перепада давления ( $f_{huds} = 1,0$ ) на стояках или ответвлениях с восьмью и менее отопительными приборами (например, квартирная ветка или стояк восьми- и менее этажного здания) теплосбережение системы отопления составляет не менее **3 %** ( $f_{huds} = 1,03$  для неотбалансированной системы). Более значимым является сокращение электроэнергии на перекачку теплоносителя в отлаженной системе отопления – **15 % (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. Разводка системы центрального отопления), в отлаженной системе охлаждения – **25 % (pr EN15243:2007 Ventilation for buildings – Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditionings systems** (Вентили-

ция зданий. Расчет температуры помещений, нагрузки и энергии для зданий с системами кондиционирования).

Таким образом, при проектировании двухтрубных систем отопления с регуляторами перепада давления на квартирных ветках, кроме уже известных специалистам из наших публикаций множества преимуществ, определены еще два:

- сокращение теплопотребления;
- сокращение электропотребления.

**Эффект теплосбережения от применения периодичного теплового режима помещения** – результат индивидуального (местного) регулирования (временного снижения) температуры воздуха в помещении. В Украине этот эффект нормирован лишь для здания в целом. В соответствии с п. 4.9 **СНиП 2.04.07-86 Тепловые сети** снижение температуры в ночное и нерабочее время в зданиях общественного и производственного назначения следует осуществлять в тепловых пунктах. Эффект энергосбережения при этом, в соответствии с п. 6 приложения 12 изм. № 1 к **СНиП 2.04.05-91 «Отопление вентилиция и кондиционирование»**, составляет 20 %.

В **DRAFT prEN ISO 13790:2005 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling** (Тепловая характери-

ка зданий. Расчет потребляемой энергии для центрального отопления и охлаждения) этот эффект не имеет постоянного значения и определяется расчетным методом в зависимости от выбранного теплового режима здания. Так, например, если выбран режим регулирования выходного дня, то эффект теплосбережения определяют как разницу между теплопотреблением за месяц по расчетным условиям и теплопотреблением за десять выходных дней с пониженной температурой воздуха в помещениях (допускаемое снижение: не более чем на 4°C).

Эффект от индивидуально регулирования температуры воздуха в помещениях по **prEN15316-2-1:2007**, представленный в таблице 1, зависит от типа системы отопления и высоты обслуживаемых помещений.

**Из данных таблицы 1 следует:**

- эффект до **3 %** от регулирования терморегуляторов на радиаторах и панелях в ночное время и выходные дни, осуществляемое самостоятельно потребителями, имеет место в зданиях не выше 4 м;
- при использовании воздушной системы отопления, а также любой другой системы в высоких помещениях общественных либо производственных зданий, как правило, применяют центральное (системы в целом) снижение температуры в ноч-

**Таблица 1.** Эффект теплосбережения от применения местного периодичного теплового режима помещения

| Система отопления   | $f_{im}$ | Эффект. |
|---|----------|---------|
| 1. Водяная с радиаторами; высота помещений ≤ 4 м  | 0,97     | 3 %     |
| 2. Водяная либо электрическая, панельно-лучистая (напольная, стеновая, либо потолочная); высота помещений ≤ 4 м   | 0,98     | 2 %     |
| 3. Электрическая с отопительными приборами со встроенной обратной связью контроля температуры воздуха и установленными у наружной либо внутренней стены; высота помещений ≤ 4 м | 0,97     | 3 %     |
| 4. Воздушная; высота помещений ≤ 4 м  | 1,0      | 0       |
| 5. Водяная с радиаторами, воздушная, панельно-лучистая либо инфракрасная; высота помещений выше 4 м   | 1,0      | 0       |

ное время и выходные дни. Самостоятельное регулирование потребителями не осуществляется и, соответственно, не имеет эффекта.

**Эффект теплосбережения от влияния лучистого теплообмена** (для панельно-лучистых и лучистых систем – нагреваемые водой панели, светлые нагреватели, радиационные излучатели, напольные системы) возникает вследствие нагрева ограждающих конструкций здания за счет радиационного излучения элементов системы отопления. Он определен лишь для очень высоких помещений (выше 10 м) и равен **15 %** ( $f_{rad} = 0,85$ ). Безусловно, такая высокая эффективность однозначно предопределяет выгоду применения перечисленных систем в промзданиях и высоких помещениях общественных зданий.

**Эффект теплосбережения от условий теплоотдачи** системы представлен двумя способами. Для одних систем – более детально в виде совокупности составляющих: эффекта от влияния градиента температуры воздуха

(таблица 2 и 3), эффекта от применяемого закона регулирования температуры воздуха (таблица 4) и эффекта от теплоизоляции панельно-лучистой системы (таблица 5). Для электроотопления радиаторами и воздушного отопления – определен единым показателем (таблица 6).

В свою очередь, **эффект теплосбережения от влияния градиента температуры воздуха** определен двумя составляющими с возможностью различного сочетания: эффекта, учитывающего температуру теплоносителя, и эффекта, учитывающего условия расположения отопительного прибора, которые соответственно выражены через коэффициенты  $\eta_{str1}$  и  $\eta_{str2}$  в таблице 2 и 3.

**По данным таблицы 2 можно сделать следующие выводы:**

- традиционное проектирование систем отопления с теплоносителем 90/70 °С является наименее эффективным. Снизить энергопотребление здания на **5 %** можно за счет уменьшения температуры теплоносителя до 55/45 °С;

- применение традиционного стекла для окон является наименее энергоэффективным. Снизить энергопотребление здания на **3 %** можно за счет применения остекления с радиационной защитой;
- размещение отопительных приборов у внутренней стены приводит к энергетическому эффекту, в то же время не следует забывать, что такое решение ухудшает санитарно-гигиенические условия;
- все виды панельно-лучистого отопления (электрического либо водяного) потребляют значительно (на **16...22 %**) меньше энергии, чем традиционная радиаторная система отопления;
- наиболее энергоэффективной (**22 %**) является система напольного отопления.

Столь значительный эффект энергосбережения при использовании напольного отопления определяется прежде всего возможностью снижения температуры воздуха на несколько градусов. Такое снижение

**Таблица 2.** Эффект теплосбережения от влияния градиента температуры воздуха при высоте помещений не более 4 м

| Система отопления                                       | $\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2}$ |               | Эффект          |
|---|--|---------------|-----------------|
|   | $\eta_{str1}$                                      | $\eta_{str2}$ |                 |
| <b>1. Водяная с радиаторами</b>                         |  |               |                 |
| Температурный напор (при температуре воздуха 20 °С):    |  |               |                 |
| 60 °С (т. е. при температуре теплоносителя 90/70)       | 0,88**   |               |                 |
| 42,5 °С (т. е. – 70/55)                                 | 0,93   |               |                 |
| 30 °С (т.е. – 55/45)                                    | 0,95   |               |                 |
| Радиатор расположен                                     |  |               |                 |
| - у внутренней стены                                    |  | 0,87          | <b>3...8 %</b>  |
| - у наружной стены                                      |  |               |                 |
| • с остеклением без радиационной защиты                 |  | 0,83**        | <b>0...5 %</b>  |
| • с остеклением с радиационной защитой*                 |  | 0,88          | <b>3...8 %</b>  |
| • у обычной наружной стены                              |  | 0,95          | <b>8...14 %</b> |
| <b>2. Водяная либо электрическая, панельно-лучистая</b> |  |               |                 |
| - напольная   |  | 1,0           | <b>22 %</b>     |
| - стеновая  |  | 0,96          | <b>18 %</b>     |
| - потолочная  |  | 0,93          | <b>16 %</b>     |

\* Предотвращение не менее 80 % радиационных потерь через остекление.

\*\* Базовый вариант при определении эффективности вариантов проектных решений.

**Таблица 3. Эффект теплосбережения от влияния градиента температуры воздуха при высоте помещений более 4 м**

| Система отопления                                | $\eta_{str}$<br>при высоте помещения |      |      |       |      |      |      | Эффект      |
|--|--------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|-------------|
|  | 4 м                                  | 6 м  | 8 м  | 10 м  | 12 м | 15 м | 20 м |             |
| <b>Радиаторная</b>                               | 0,98                                 | 0,94 | 0,88 | 0,83* | –    | –    | –    | <b>0 %</b>  |
| <b>Воздушная без вертикальной рециркуляции</b>   |                                      |      |      |       |      |      |      |             |
| - горизонтальными струями                        | 0,98                                 | 0,94 | 0,88 | 0,83  | 0,78 | 0,72 | 0,63 | <b>0 %</b>  |
| - вертикальными струями                          | 0,99                                 | 0,96 | 0,91 | 0,87  | 0,84 | 0,78 | 0,71 | <b>5 %</b>  |
| <b>Воздушная с вертикальной рециркуляцией</b>    |                                      |      |      |       |      |      |      |             |
| - горизонтальными струями                        | 0,99                                 | 0,97 | 0,94 | 0,91  | 0,88 | 0,84 | 0,77 | <b>10 %</b> |
| - вертикальными струями                          | 0,99                                 | 0,98 | 0,96 | 0,93  | 0,91 | 0,88 | 0,83 | <b>12 %</b> |
| <b>Водяная панельно-лучистая</b>                 | 1,00                                 | 0,99 | 0,97 | 0,96  | 0,94 | 0,92 | 0,89 | <b>16 %</b> |
| <b>Лучистая трубчатая</b>                        | 1,00                                 | 0,99 | 0,97 | 0,96  | 0,94 | 0,92 | 0,89 | <b>16 %</b> |
| <b>Лучистая (светлая)</b>                        | 1,00                                 | 0,99 | 0,97 | 0,96  | 0,94 | 0,92 | 0,89 | <b>16 %</b> |
| <b>Напольная (высокий уровень теплоизоляции)</b> | 1,00                                 | 0,99 | 0,97 | 0,96  | 0,94 | 0,92 | 0,89 | <b>16 %</b> |

\* Базовый вариант при определении эффективности вариантов проектных решений.

допустимо отечественными нормами – см. прим. 2 к табл. 4 ДБН В.2.2-15-2005 Жилые здания. Основные положения и п. 2.2 ДБН В.2.5-24-2003 Электрическая кабельная система отопления. Это, во-первых, уменьшает теплотери через наружные ограждения, а во-вторых, снижает теплотери с удаляемым вентиляционным воздухом. Относительно второго компонента в

**EN 12831:2003 Heating systems in buildings – Design for water-based heating systems** (Системы отопления зданий. Проектирование водяных систем отопления) указано, что этот эффект следует учитывать, если теплотери с удаляемым вентиляционным воздухом, определяемые по нормированной температуре воздуха и по сниженной на несколько градусов, отличаются более чем на 5 %.

**Из данных таблицы 3 следует:**

- воздушная система отопления высоких помещений (до 10 м) при горизонтальном воздухо-распределении не имеет никаких преимуществ по сравнению с радиаторной системой. Эффект в **5 %** появляется с применением горизонтального воздухо-распределения;
- применение вертикальной рециркуляции воздуха в системах

**Таблица 4. Эффект теплосбережения от применяемого вида регулирования температуры воздуха**

| Система отопления  | $\eta_{str}$<br>при способах регулирования |   |   |                 |                      |                      |                  |  |
|--|--|---|---|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|--|
|  | Без местного регулирования                 | Без местного регулирования, с центральным качественным регулированием | Регулирование по характерному помещению | Двухпозиционное | П-регулирование (2К) | П-регулирование (1К) | ПИ-регулирование | ПИ-регулирование (с оптимизацией, т. е. самоподстраивающийся; наличие центрального управления) |
| <b>Радиаторная;</b><br>высота помещений не более 4 м   | –  | 0,80*   | 0,88                                    | –               | 0,93                 | 0,95                 | 0,97             | 0,99   |
| <b>Панельно-лучистая водяная;</b><br>высота помещений не более 4 м                           | 0,75                                       | 0,78  | 0,88                                    | –               | 0,93                 |                      | 0,95             | –  |
| <b>Панельно-лучистая электрическая;</b><br>высота помещений не более 4 м                     | –  | –   | –                                       | 0,91            | –                    | –                    | 0,93             | –  |
| <b>Радиаторная, воздушная, панельно-лучистая, лучистая;</b><br>высота помещений не более 4 м | 0,8  | –   | –                                       | 0,93            | 0,93                 | 0,95                 | 0,97             | 0,99   |
| <b>Эффект</b>  |  | <b>0 %</b>  | <b>10 %</b>                             |                 | <b>16 %</b>          | <b>19 %</b>          | <b>21 %</b>      | <b>24 %</b>  |

\* Базовый вариант при определении эффективности вариантов проектных решений радиаторной системы отопления.

воздушного отопления обеспечивает энергосбережение **7...10 %** в зависимости от схемы воздухо-распределения;

- наиболее эффективными системами отопления высоких помещений являются панельно-лучистые и лучистые, обеспечивающие **16 %** сокращение теплопотребления здания.

**Эффект теплосбережения от применяемого вида (закона) регулирования температуры воздуха в помещении (терморегулирования помещения)** является следствием работы терморегуляторов на отопительных приборах. В Украине он нормирован и имеет постоянное значение независимо от типа здания (его тепловой инерции), наличия теплопритоков и их доли в тепловом балансе. Так, по п. 6 приложения 12 изм. № 1 к **СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»** эффект энергосбережения от терморегулирования составляет **10 %**, если более **75 %** отопительных приборов здания оборудованы термостатическими клапанами. В международной

**Таблица 5. Эффект теплосбережения вследствие обеспечения полезной теплоотдачи встроенных элементов**

| Система отопления  | $\eta_{emb} = \frac{\eta_{emb1} + \eta_{emb2}}{2}$ |               | Эффект          |
|--|--|---------------|-----------------|
|  | $\eta_{emb1}$                                      | $\eta_{emb2}$ |                 |
| <b>1. Панельно-лучистая, высота помещений ≤ 4 м:</b>   |  |               |                 |
| Напольная  |  |               |                 |
| - в мокром помещении   | 0,93   |               | <b>-2...1 %</b> |
| - в сухом помещении  | 0,96*  |               | <b>0...4 %</b>  |
| - в сухом помещении с малой толщиной пола  | 0,98   |               | <b>5...7 %</b>  |
| Стеновая   | 0,93   |               | <b>-2...1 %</b> |
| Потолочная   | 0,93   |               | <b>-2...1 %</b> |
| Теплоизоляция отопительной панели  |  |               |                 |
| - не соответствует минимальным требованиям EN 1264   |  | 0,86*         |                 |
| - соответствует минимальным требованиям EN 1264  |  | 0,95          |                 |
| - 100 % теплоизоляция по EN 1264   |  | 0,99          |                 |
| <b>2. Панельно-лучистая напольная; пол с высоким уровнем теплозащиты; высота помещений ≥ 4 м</b> |  |               |                 |
| - нагревательные элементы встроены в пол   |  | 0,95          | <b>4 %</b>      |
| - нагревательные элементы термически не связаны с полом  |  | 1,0           | <b>10 %</b>     |
| <b>3. Все виды, кроме панельно-лучистой</b>  |  | 1,0           | <b>10 %</b>     |

\* Базовый вариант при определении эффективности вариантов проектных решений панельно-лучистого отопления.

**Таблица 6. Обобщающий эффект условий теплоотдачи системы**

| Система отопления   | $\eta_{str2}$                          | $\eta_{em}$                              | Эффект        |
|---|--|--|---------------|
| <b>1. Электрическая; высота помещений ≤ 4 м</b>   | Нагревательные приборы у наружных стен | Нагревательные приборы у внутренних стен |               |
| - прямая с П-регулированием (1К)  | 0,91                                   | 0,88                                     | <b>17 %</b>   |
| - прямая с ПИ-регулированием (с оптимизацией)   | 0,94                                   | 0,91                                     | <b>20,5 %</b> |
| - аккумуляторная нерегулируемая без зависимой от наружной температуры зарядки и статической/динамической разрядки   | 0,78*                                  | 0,75                                     | <b>0 %</b>    |
| - аккумуляторная с П-регулированием (1К) с зависимой от наружной температуры зарядки и статической/динамической разрядки                                  | 0,88                                   | 0,85                                     | <b>13 %</b>   |
| - аккумуляторная с ПИД-регулированием (1К) с оптимизацией с зависимой от наружной температуры зарядки и продолжительной статической/динамической разрядки | 0,91                                   | 0,88                                     | <b>17 %</b>   |
| <b>2. Воздушная** (не локальная); высота помещений ≤ 4 м</b>  | Низкий уровень контроля                | Высокий уровень контроля                 | <b>Эффект</b> |
| - с подогревом приточного воздуха (с доводчиками) и контролем   |  |  |               |
| • температуры воздуха помещения   | 0,82                                   | 0,87                                     | <b>6 %</b>    |
| • температуры воздуха помещения (многозвенное регулирование температуры приточного воздуха)   | 0,88                                   | 0,90                                     | <b>2 %</b>    |
| • температуры удаляемого воздуха  | 0,81                                   | 0,85                                     | <b>5 %</b>    |
| - с нагревом рециркуляционного воздуха (в распределителях, вентиляторах-конвекторах) и контролем температуры воздуха помещения                            | 0,89                                   | 0,93                                     | <b>5 %</b>    |

\* Базовый вариант при определении эффективности вариантов проектных решений электроотопления.

\*\* Определение эффективности воздушной системы отопления осуществлено по уровню контроля.

практике этот эффект определяют по **DRAFT prEN ISO 13790:2005 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling** (Тепловая характеристика зданий. Расчет потребляемой энергии для центрального отопления и охлаждения). Снижение теплотребления здания за счет терморегулирования помещений осуществляют по соотношению теплоступлений к теплотерям и по тепловой инерции здания с различными периодами непрерывного отопления в течение суток (более либо менее 12 часов). В **prEN15316-2-1:2007** эффект терморегулирования помещения детализирован по видам регулирования и представлен в табл. 4.

**Сопоставление данных таблицы 4 показывает:**

- терморегулирование помещений с водяной системой отопления позволяет экономить не менее **16...24 %**. Наибольший эффект достигается при использовании регуляторов

непрямого действия, осуществляющих пропорционально-интегральное регулирование с оптимизацией;

- влияние инерционности регулирования панельно-лучистой системы незначительно уменьшает энергоэффективность на **2...4 %** (сопоставление по ПИ-регулированию);
- в помещениях выше 4 м эффективность применяемого закона регулирования одинакова для любой системы отопления.

**По данным таблицы 5 можно сделать следующие выводы:**

- теплоступление в нижнее помещение при использовании напольного отопления в сухих помещениях будет меньше на **2...3 %**, чем во влажных помещениях;
- напольная система в сравнении с потолочной и стеновой при одинаковой теплоизоляции энергоэффективнее на **2...3 %**;
- максимального уменьшения теплового потока в смежные помещения достигают путем

уменьшения толщины пола либо применением нагревательных панелей, укладываемых на пол и термически с ним несвязанных.

**Из таблицы 6 следует:**

- по энергоэффективности современные аккумуляционные электронагреватели с оптимизированным автоматическим регулированием сопоставимы с калориферами прямого электронагрева;
- применение современных терморегуляторов с ПИ- и ПИД-регулированием при электронагреве повышает энергоэффективность примерно на **4 %**;
- увеличением уровня контроля температуры воздуха при воздушном отоплении сокращают теплотребление до **6 %**;
- системы электроотопления в помещениях до 4 м более эффективны, чем системы воздушного отопления.