

## Обеспечение горячей водой вне отопительного периода

Инженер Гюнтер Вагнер

### Краткое содержание

*Расчет среднегодового коэффициента использования и расхода топлива в соответствии с VDI 2067 с примерами расчетов для одноквартирного жилого дома и 24-квартирного жилого дома при использовании современного водогрейного котла с обеспечением горячей водой вне отопительного периода.*

### 1. Централизованная система горячего водоснабжения с современным жидкотопливным/газовым котлом и регулируемым аккумуляторным водонагревателем

Системное сравнение, только для частичного отрезка года эксплуатации, в соответствии с предписанием VDE 2067 совершенно недопустимо, так как результаты определены неправильно, не могут быть сравнимыми и могли бы, следовательно, ввести в заблуждение.

Расходы на обеспечение горячей водой вне отопительного периода могут обособленно становиться документальным свидетельством только в том случае, когда с целью сравнения одновременно указываются также эксплуатационные расходы для всего года эксплуатации.

Не следует особенно подчеркивать, что все представляемые для сравнения системы по своей конструкции и принципу действия должны соответствовать современному уровню техники, и что расчеты должны производиться с одинаковыми исходными данными.

Основой для расчетов является предписание VDI 2067, листы 1, 2 и 4, которое в первую очередь излагается здесь в основных выражениях. Поскольку здесь должна быть представлена только система, то может быть выбрано упрощенное и сокращенное изложение. Эксплуатационные параметры современных котлов нельзя, разумеется, получить из таблиц VDE 2067, так как низкотемпературные и, в частности особо

низкотемпературные котлы, по своим параметрам существенно превосходят табличные данные. Поэтому в расчетах используются результаты новейших стендовых испытаний (TÜV).

### 2. Основы расчета среднегодового коэффициента использования и расхода топлива

#### 2.1. среднегодовое потребление тепла для обогрева здания ( $Q_{Ha}$ )

$$Q_{Ha} = Q_h \cdot b_{VH} \quad \text{кВтчас/год} \quad (1)$$

$$b_{VH} = b_{VHZ} + b_{VHS} \quad \text{час/год} \quad (2)$$

$$b_{VHZ} = f \cdot f_H \cdot 24 \cdot z_z \cdot \frac{\vartheta_{im} - \vartheta_s}{20 - \vartheta_{amin}} \quad \text{час/год} \quad (3)$$

$$b_{VHS} = f \cdot f_H \cdot 24 \cdot z_z \cdot \frac{\vartheta_{im} - \vartheta_s}{20 - \vartheta_{amin}} \quad \text{час/год} \quad (4)$$

Обозначения:

$Q_h$  – потребность здания в тепле в кВт соответственно DIN 4701.

$b_{VH}$  – полные часы использования нагрева за год эксплуатации (час/год)

$b_{VHZ}$  – полные часы использования в отопительном периоде;  
 $b_{VHS}$  – полные часы использования отопления летом в час/год;  
 $f$  – общий коэффициент как произведение восьми поправочных коэффициентов;  
 $f_H$  – коэффициент времени нагрева;  
 $z_z$  – дней нагрева за время нагрева в дней/год.  
 $z_s$  – дней нагрева в летние месяцы в дней/год;  
 $\vartheta_{im}$  – средняя температура в здании в °С.  
 $\vartheta_z$  – среднесуточная наружная температура во время нагрева в °С;  
 $\vartheta_s$  – среднесуточная наружная температура летом в °С;  
 $\vartheta_{omin}$  – наименьшая расчетная наружная температура в °С.

В качестве грубого ориентировочного значения “ $b_{VH}$ ” для многоквартирного жилого дома в зависимости от установленного технического регулировочного оборудования можно использовать следующие величины:

Оборудование установки	$b_{VH}$
только ручной смеситель	2100 час/год;
только термостатические клапаны	1700 час/год;
только погодозависимое устройство управления (WS):	1700 час/год
WS и термостатические клапаны	1550 час/год.

## 2.2. Среднегодовой расход тепла на обеспечение горячей водой ( $Q_{WEA}$ )

### 2.2.1. Среднегодовой расход полезного тепла в водоразборной точке ( $Q_{WNa}$ )

$$Q_{WNa} = M_d \cdot n_p \cdot c_w \cdot (\vartheta_w \cdot \vartheta_k) \cdot n_a \quad \text{kWh/a} \quad (5)$$

Здесь:

$M_d$  – потребление горячей воды на человека и в день в кг/человек/день.  
 $n_p$  – количество людей, которые должны быть обеспечены.  
 $c_w$  – специфическое тепло воды в Вт·час/кг·К ( $c_w = 1,163$  Вт·час/кг·К).  
 $\vartheta_w$  – температура горячей воды в °С (в общем достаточно 50 °С).  
 $\vartheta_k$  – температура холодной воды в °С.  
 $n_a$  – количество дней в году использования обеспечения горячей водой в дней/год.  
 $\text{kWh/a}$  – кВт·час/год.

Расход горячей воды должен вводиться в виде средней величины около 50 кг/человеко·дней. Меньшие величины едва ли соответствуют гигиеническим привычкам нормального среднего европейца.

### 2.2.2. Тепловые потери распределительной сети горячей воды и коэффициент полезного действия распределителей

В циркуляционных распределительных системах в соответствии с Законом о экономии энергии циркуляция должна быть прекращена в ночное время (около 8 часов). Во время дневной циркуляции ( $b_z$ ) при этом происходит постоянная отдача тепла водопроводной сетью. С другой стороны, в ночное время система охлаждается до температуры окружающей среды; следовательно утром она должна снова нагреваться. В соответствии с этим следует специально рассчитывать циркуляционные потери и потери на нагревание.

Это должно учитываться обязательно. Во время дней отопления ( $Z_z + Z_s$ ) в качестве потерь может учитываться

только отдача тепла в подвале и, соответственно, в котельной. Теплоотдача проложенных, в целом, внутри стен стояков и распределительных трубопроводов идет полностью на пользу обогрева здания и, следовательно, может не оцениваться. В чисто летние дни общая теплоотдача трубопроводной сети должна рассматриваться, естественно, в качестве потери энергии.

По отдельности имеют место:

*Потери на нагрев в солнечные дни:*

$$q_{AS} = n_A \cdot W \cdot (\vartheta_w - \vartheta_i) \cdot n_s \quad \text{Wh/S} \quad (6)$$

Здесь:

$\text{Wh/S}$  – Вт·час/летние дни

*Циркуляционные потери в летние дни:*

$$q_{ZS} = \Sigma(K' \cdot L) \cdot b_z \cdot (\vartheta_w - \vartheta_i) \cdot n_s \quad \text{Wh/S} \quad (7)$$

*Потери на нагрев в дни отопления:*

$$q_{AZ} = n_A \cdot W'' \cdot (\vartheta_w \cdot \vartheta_i) \cdot n_z \quad \text{Wh/Z} \quad (8)$$

Циркуляционные потери в дни отопления:

$$q_{ZZ} = \Sigma(K'' \cdot L'') \cdot (\vartheta_w \cdot \vartheta_i) \cdot n_z \quad \text{Wh/Z} \quad (9)$$

Здесь:

$\text{Wh/Z}$  – Вт·час/дни отопления

$n_A$  – количество ежедневных нагревов (здесь  $n_A = 1$ ).

$W$  – теплоемкость всего циркуляционного трубопровода, включая объем воды, в Вт·час/К.

$W''$  –  $dto$ , но только трубопроводов, проложенных в подвалах и котельных.

$\vartheta_i$  – температура окружающей среды и, соответственно, температура помещения в °С.

$n_s$  – количество полностью летних дней в дней/год.

$n_z$  – количество дней отопления ( $Z_s + Z_z$ ) в дней/год.

$K'$  – число теплопередачи, отнесенное к длине трубопровода в Вт/мК.

$K''$  –  $dto$ , но только для линий, проложенных в подвале.

$L$  – длина трубопроводов в м.

$L''$  –  $dto$ , но только для линий, проложенных в котельной/подвале.

*Среднегодовой коэффициент полезного действия распределителя*

$$\eta_{VWa} = \frac{Q_{WNa}}{Q_{WNa} + q_{AS} + q_{ZS} + q_{AZ} + q_{ZZ}} \quad \text{Wh/a} \quad (10)$$

### 2.2.3. Среднегодовой коэффициент полезного действия аккумулятора

Теплопотери аккумулятора можно определить относительно просто. Если хотят, например, определить тепловые потери при температуре аккумулятора 55 °С, то достаточно измерить время, в течение которого эта температура падает от 55 °С до 45 °С.

При этом тепловые потери

$$q_{Sp} = \frac{M_W \cdot c_w \cdot (\vartheta_a - \vartheta_c)}{\Delta t_{(-)}} \quad W \quad (11)$$

$M_W$  – масса воды в аккумуляторе (содержание) в кг.

$\vartheta_a$  – температура в начале периода охлаждения.

$\vartheta_e$  – температура в конце периода охлаждения.  
 $\Delta t_{(.)}$  – измеренное время охлаждения в часах.

Среднегодовые потери аккумулятора

$$q_{spa} = q_{sp} \cdot n_a \cdot 24 \quad \text{Wh/a} \quad (12)$$

Среднегодовое потребление тепла на горячую воду от аккумулятора

$$Q_{wsp} = \frac{Q_{wNa}}{\eta_{vwa}} \quad \text{Wh/a} \quad (13)$$

Среднегодовой коэффициент полезного действия аккумулятора

$$\eta_{asp} = \frac{Q_{wsp}}{Q_{wsp} + q_{spa}} \quad (14)$$

(без генерирования тепла, которое учитывается среднегодовым коэффициентом полезного действия котла).

2.3. Среднегодовая подача тепла котлом для отопления и горячего водоснабжения

$Q_{Ha}$  и  $Q_{wNa}$  – это количества полезного тепла. Среднегодовая подача тепла котлом больше на величину потерь распределения и аккумулятора.

$$Q_{ak} = \frac{Q_{Ha}}{\eta_{vHa}} + \frac{Q_{wNa}}{\eta_{vwa} \eta_{asp}} \quad \text{Wh/a} \quad (15)$$

$\eta_{vHa}$  – среднегодовой коэффициент полезного действия распределения отопительной системы. (Если теплоизоляция выполнена в соответствии с Законом о экономии энергии и обеспечен скользящий режим работы, то коэффициент  $\eta_{vHa}$  следует принять равным 0,97...0,98).

2.4. Эксплуатационные данные котла при указанной выше номинальной мощности, измеренной соответственно DIN 4702 VDI 2067

2.4.1. Потери на отходящие газы ( $q_A$ )

При сгорании без копоти, сажи и СО потери на отходящие газы могут рассчитываться по формуле Зигера (Sieger):

$$q_A = f \cdot \frac{\vartheta_A - \vartheta_L}{CO_2} \quad \% \quad (16)$$

Здесь:

$\vartheta_A$  – температура отходящих газов в °С при номинальной мощности.

$\vartheta_L$  – температура воздуха на горелке в °С.

$CO_2$  – содержание  $CO_2$  в процентах, измеренное в отходящих газах.

$f$  - коэффициент топлива.

Для различных видов топлива коэффициент  $f$  равен:

Жидкое котельное топливо	$f = 0,59$ .
Природный газ (горелка с поддувом)	$f = 0,46$ .
Природный газ (горелка без поддува) <sup>1</sup>	$f = 0,42$ .
Городской газ (горелка с поддувом)	$f = 0,38$ .
Городской газ (горелка без поддува)	$f = 0,35$ .
Сжиженный газ	$f = 0,35$ .

<sup>1</sup> Измерено после отражателя отходящих в трубу дымовых газов.

2.4.2. Потери от излучения ( $q_s$ )

Под тепловыми потерями котла подразумеваются потери в трубопроводе, от излучения и конвекции, уровень которых зависит от его конструкции и качества теплоизоляции. Эта величина может быть определена достаточно корректно только на испытательном стенде. Потери от излучения указываются в процентах относительно мощности топки или также – номинальной нагрузки.

2.4.3. Коэффициент полезного действия котла при номинальной нагрузке ( $\eta_k$ )

Коэффициент полезного действия котла – это отношение отдаваемой полезной мощности к мощности топки. Разность между этими двумя величинами получается из-за потерь на отходящие газы и потерь от излучения.

$$\eta_k = 1 - \frac{q_A + q_s}{100} \quad (17)$$

2.4.4. Номинальная мощность котла ( $P_k$ )

Она соответствует отдаваемой котлом полезной мощности

$$P_k = B \cdot H_u \cdot \eta_k \quad \text{kW} \quad (18)$$

Здесь:

KW – кВт.

$B$  – расход топлива в кг, кВт·час/кг, л, м<sup>3</sup>.

$H_u$  – теплота сгорания в кВт·час/кг, л, м<sup>3</sup>.

2.4.5. Номинальная нагрузка котла или также мощность топки ( $P_a$  и, соответственно  $P_f$ )

$$P_B = B \cdot H_u \quad \text{kW} \quad (19)$$

или

$$P_B = \frac{P_k}{\eta_k} \quad \text{kW} \quad (20)$$

2.4.6. Расход топлива при номинальной мощности ( $B$ )

$$B = \frac{P_k}{H_u \cdot \eta_k} \quad \text{kg; l; m}^3/\text{h} \quad (21)$$

$$B = \frac{P_B}{H_u} \quad \text{kg; l; m}^3/\text{h} \quad (22)$$

2.4.7. Время полного использования котла ( $b_{ak}$ )

Это время работы за год с номинальной мощностью для среднегодовой подачи тепла ( $Q_{ak}$ ) в систему.

$$b_{ak} = \frac{Q_{ak}}{P_k} \quad \text{h/a} \quad (23)$$

Здесь: h/a – часов за год.

2.4.8. Время работы топки за год ( $b_{aF}$ )

$$b_{aF} = \frac{B_a}{B} \quad \text{h/a} \quad (24)$$

при:

$B_a$  – расход топлива за год в кг, л, м<sup>3</sup>/год.

Ни в коем случае нельзя путать ( $b_{ак}$ ) с временем работы топки ( $b_{аФ}$ ), которое, например, показывает счетчик часов работы после одного года работы.

#### 2.4.9. Тепловые расходы на поддержание готовности и, соответственно, величина $q_B$

Для правильно рассчитанного котла в установках без горячего водоснабжения время часов полного использования котла должно составлять приблизительно 1750 часов в год, а при горячем водоснабжении – приблизительно 2000 часов в год. (К сожалению на практике многие установки рассчитываются на значительно меньшее число часов, так как при расчетах котельных установок часто действуют с оглядкой; в настоящее время в соответствии с Законом о экономии энергии это более не допускается, за исключением низкотемпературных и особо низкотемпературных котлов).

Однако один год работы соответствует, по крайней мере для эксплуатируемых весь год котлов, времени работы ( $b$ ) около 8700 часов/год. В период разности во времени ( $b - b_{ак}$ ) расход тепла идет только на то, чтобы сохранить рабочую температуру котла. Этот расход тепла учитывается величиной  $q_B$  котла. Величина  $q_B$  может быть определена достаточно просто и в существующих установках. Для этого котел, который уже должен иметь рабочую температуру 80 °С, надо отключить от системы отопления и от системы горячего водоснабжения. Затем в течение периода времени около 48 часов этот котел следует удерживать при той же самой рабочей температуре при помощи горелки и регулировочного термостата котла. Затем измеряется расход топлива ( $B_V$ ), имеющий место за период испытаний ( $n_V$ ), или имевшее место время работы горелки ( $n_L$ ).

$$q_B = \frac{B_V}{B \cdot n_V} \quad (25)$$

или

$$q_B = \frac{n_L}{n_V} \quad (26)$$

В соответствии с DIN 4702 на испытательном стенде величина  $q_B$  измеряется при тяге дымоходной трубы (при неработающей горелке) 0,05 мбар, температуре котла 80 °С и температуре окружающей среды в помещении для испытаний 20 °С. Следовательно практически, например при более высокой тяге дымоходной трубы (установлен ограничитель тяги), при неплотно закрытых клапанах (установлен гравитационный тормоз) и из-за теплопроводности подключенных трубопроводов, эта величина может быть большей.

Если для испытаний выбирается меньшее время, то период испытаний всегда начинается и заканчивается автоматическим выключением горелки или также включением.

#### 2.4.10. Среднегодовой коэффициент использования котловой установки ( $\eta_{ак}$ )<sup>2)</sup>

Для подачи в систему необходимого годового количества тепла котел будет сначала работать со своим номинальным коэффициентом полезного действия.

В дополнение к этому для разницы времени ( $b - b_{ак}$ ) задается расход тепла на поддержание готовности.

В результате среднегодовой коэффициент к.п.д.

$$\eta_{ак} = \frac{Q_{ак}}{\frac{Q_{ак}}{\eta_{к}} + (b - b_{ак}) \cdot q_B \cdot \frac{P_{к}}{\eta_{к}}} \quad (27)$$

или

$$\eta_{ак} = \frac{b_{ак} \cdot B \cdot H_u \cdot \eta_{к}}{b_{ак} \cdot H_u \cdot B + (b - b_{ак}) \cdot q_B \cdot B \cdot H_u} \quad (28)$$

или

$$\eta_{ак} = \frac{\eta_{к}}{\left(\frac{b}{b_{ак}} - 1\right) \cdot q_B + 1} \quad (29)$$

Эксплуатационные данные современных котлов, измеренные в соответствии с DIN 4702 при температуре 80 °С, представлены на *рис. 1*.

#### 2.4.11. Среднегодовой расход топлива ( $B_a$ )

$$B_a = \frac{Q_{ак}}{\eta_{ак} \cdot H_u} \quad \text{kg; l; m}^3/\text{a} \quad (30)$$

Здесь:

kg; l; m<sup>3</sup>/a – кг; л; м<sup>3</sup>/год.

$H_u$  – теплота сгорания в кВт·час/кг; л; м<sup>3</sup>/год.

#### 2.4.12. Общий среднегодовой коэффициент полезного действия ( $\eta_{аg}$ )

$$\eta_{аg} = \frac{Q_{Ha} + Q_{WNa}}{B_a \cdot H_u}$$

### 2.5. Эксплуатационные данные особо низкотемпературных котлов

Чтобы предотвратить низкотемпературную коррозию, традиционные водогрейные котлы в течение всего времени работы ( $b$ ) должны находиться при температуре приблизительно 75 ... 80 °С.

В особо низкотемпературных котлах температура без всяких температурных ограничений может снижаться вплоть до температуры котельной. Вместе с понижающейся температурой котла происходит улучшение всех эксплуатационных данных:

При этом уменьшается температура отходящих газов, а в результате – и потери от излучения. Поскольку одновременно потери от излучения становятся меньше, возрастает коэффициент полезного действия и в дополнение к этому явно уменьшаются потери на поддержание готовности. Увеличение массы комбинированной ребристой поверхности нагрева (биферральная поверхность нагрева) приводит, после включения горелки, к замедленному нарастанию температуры отходящих газов. Максимальное установившееся значение практически достигается только, приблизительно, через 15 минут. Поскольку при снижающейся тепловой нагрузке время работы горелки становится все меньше, то, следовательно, получается, по сравнению с котлами с гладкими поверхностями нагрева, дальнейшее уменьшение средней температуры отходящих газов, определяющей потери на отходящих газах. На *рис. 2* показан результат серии измерений на испытательном стенде особо низкотемпературного котла относительно обычной отопительной установки 90/70. В расчет особо низкотемпературного котла введены эксплуатационные данные, отнесенные к средней

<sup>2)</sup> Dittrich, A.: Der Jahresnutzungsgrad von Wärmeverbrauchsanlagen als Grundlage von Energieeinsparungsrichtlinien. Kongreßbericht XXI. Internationaler Kongreß für technische Gebäudeausrüstung 1980 in Berlin. Recknagel/Sprenger, Taschenbuch für Heizungs- und Klimatechnik, Ausgabe 79/80. R. Oldenbourg Verlag GmbH, München.

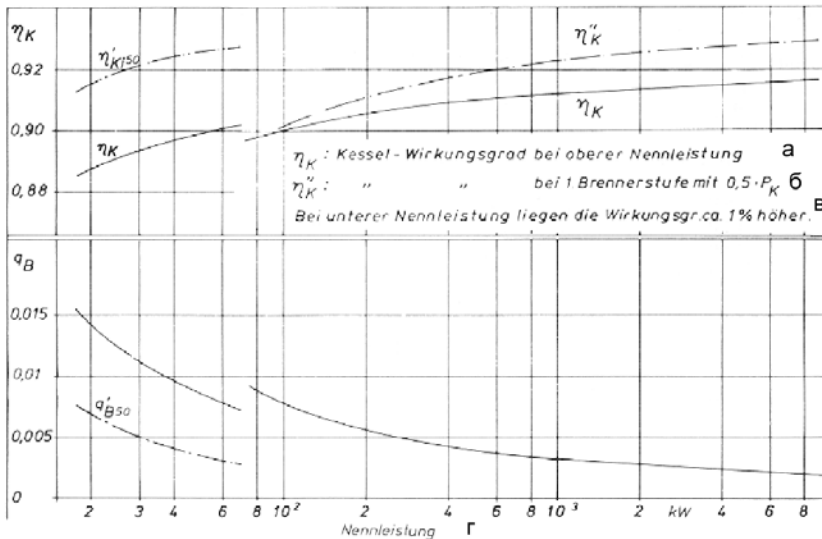


Рис. 1. Эксплуатационные данные современного жидкотопливного/газового водогрейного котла:  
 а – коэффициент полезного действия котла при верхней номинальной мощности;  
 б – коэффициент полезного действия котла при 1 ступени горелки с  $0,5 \cdot P_K$ .  
 в – при нижней номинальной мощности к.п.д. выше приблизительно на 1 %;  
 г – номинальная мощность.

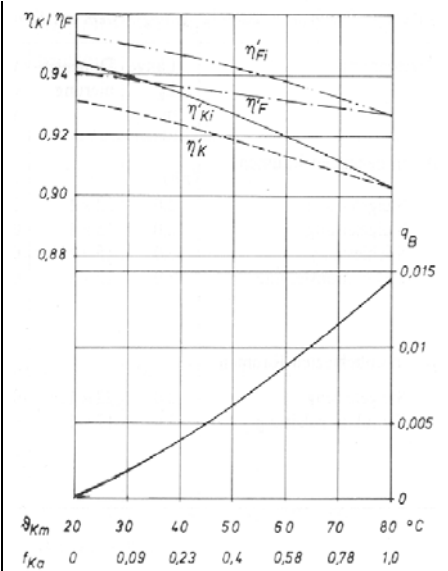


Рис. 2. Эксплуатационные данные особо низко-температурного котла, Viessmann Vitola – b – e, 22/27 кВт,  $CO_2 = 13\%$ , измеренные при мощности 22 кВт, отопительная установка  $90^\circ C/70^\circ C$

температуре котла, зависящей от тепловой нагрузки, температуры и времени. Эту среднюю рабочую температуру надо применить для котла с замкнутой системой горячего водоснабжения для периода отопления с температурой около  $50^\circ C$ , если предполагается установка 90/70 и смеситель с зависящим от наружной температуры устройством управления.

При этом учтено, что котел выводится из скользящего режима для дозагрузки аккумулятора.

В чисто летние дни температура котла вновь повышается приблизительно до  $70^\circ C$  для дозагрузки аккумулятора; следовательно, теперь коэффициент  $\eta'_{Ki}$  должен соотноситься со средней температурой котла около  $70^\circ C$ . Когда температура аккумулятора достигает заданное значение, горелка выключается, а загрузающий насос снова включается таймером на 4 минуты, чтобы температура котла понизилась до  $12 \dots 15 K$ , то есть приблизительно до  $55 \dots 58^\circ C$ . Однако имеющееся в котле избыточное тепло не может теперь быть передано в отопительную систему для использования. Благодаря хорошей теплоизоляции и незначительным потерям на поддержание готовности температура котла в последующем хотя и падает, но очень медленно. Измеренная через 8 часов температура была около  $10 K$ , и через 8 часов, как правило, требуется следующая дозаправка аккумулятора. Таким образом для чисто летних дней величина  $q'_B$  также должна вводиться равной около  $50^\circ C$ .

### 3. Метеорологические данные для района Берлин-Далем

Среднее количество дней отопления:  
 В отопительный сезон  $Z_z = 252,4$  дней/год.  
 Летом  $Z_s = 23,2$  дней/год.

Средняя температура воздуха для всех дней отопительного сезона:

В отопительный сезон  $\theta_z = 4,9^\circ C$ .  
 Летом  $\theta_s = 13,4^\circ C$ .  
 Чисто летние дни  $n_s = 90,0$  дней/год

Среднее градусное дневное число:

В отопительный сезон  $G\theta_z = 3809,0$   
 Летом  $G\theta_s = 155,0$

## 4. Пример расчета для одноквартирного дома

### 4.1. Исходные данные

Потребность в тепле (DIN 4701)	$Q_h = 22,0$ кВт.
Количество людей	$n_p = 4$
Потребление горячей воды	$M_d = 50,0$ л/на человека в день
Время полного использования	$b_{vH} = 1550,0$ часов/год.
Номинальная мощность котла	$P_K = 22,0$ кВт.

Предусматривается применение современного особо низко-температурного котла (эксплуатационные данные соответственно рис. 2).

### 4.2. Среднегодовое потребление тепла для отопления

$$Q_{Ha} = 22,0 \cdot 1550,0 = 34100,0 \text{ кВт}\cdot\text{час/год}$$

### 4.3. Среднегодовое потребление тепла на горячую воду

4.3.1. В отопительный сезон (275,6 дней в год; около 6600 часов в год)

$$Q_{WNz} = 50,0 \cdot 4,0 \cdot 1,163 \cdot (50 - 10) \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 2559,0 \text{ кВт}\cdot\text{час/год}$$

4.3.2. Летом (90 дней в год, соответственно 2160 часов в год)

$$Q_{WNs} = 50,0 \cdot 4,0 \cdot 1,163 \cdot (50 - 10) \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 838,0 \text{ кВт}\cdot\text{час/год}$$

### 4.4. Коэффициент полезного действия в отопительном сезоне ( $Z_z + Z_s$ )

4.4.1. Потери на нагрев (табл. 1):

$$q_{Az} = 1,0 \cdot 37,5 \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 10,3 \text{ кВт}\cdot\text{час/год}$$

4.4.2. Циркуляционные потери (табл. 1)

$$q_{zz} = 33,3 \cdot 16 \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 146,5 \text{ кВт}\cdot\text{час/год}$$

Таблица 1. Распределительная система горячей воды с самотечной циркуляцией

Обозначения	Длина L <sub>R</sub> М	Размеры	Теплоемкость C <sub>R</sub> Вт·час/Км	L <sub>R</sub> · C <sub>R</sub> · Δθ (Δθ = 30,0 К) Вт·час	K' Вт/МК	L <sub>R</sub> · K' · Δθ (Δθ = 30,0 К) Вт	
А. В отапливаемых помещениях							
Стояк	2,0	22 x 1	0,4336	Δθ ≈ 30 К	0,234	Δθ ≈ 30 К	
Стояк	2,0	15 x 1	0,1999	26,0		14,0	
Тупиковая линия	5,0	15 x 1	0,1999	12,0		0,223	13,4
Циркуляционная линия	5,0	12 x 1	0,1278	30,0		0,223	33,5
				19,2		0,214	32,1
				87,2		93,0	
В неотапливаемых помещениях							
Стояк	2,0	22 x 1	0,4336	26,0	0,234	14,0	
Циркуляционная линия	3,0	12 x 1	0,1278	11,5	0,214	19,3	
				37,5		33,3	

4.4.3. Коэффициент полезного действия распределительной системы (отопительный сезон)

$$\eta_{vwz} = \frac{2559,0}{2559,0 + 10,3 + 146,5} = 0,9422$$

4.4.4. Коэффициент полезного действия аккумулятора

Температурные потери аккумулятора были замерены при его средней температуре 50 °С при 0,40 к/час. При емкости аккумулятора 130 литров тепловые потери во время отопительного сезона:

$$Q_{sp} = 130 \cdot 1,163 \cdot 0,4 \cdot 275 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 399,0 \text{ кВт·час/год}$$

$$Q_{wsp} = \frac{2559,0}{0,9422} = 2715,9 \text{ кВт час/год}$$

$$\eta_{spz} = \frac{2559,9}{2715,9 + 399} = 0,872$$

4.4.5. Среднегодовая подача тепла:

$$Q_{ak} = \frac{34100}{0,97} + \frac{2559,0}{0,94220,872} = 38269,0 \text{ кВт·час/год}$$

4.4.6. Время полного использования котла:

$$b_{ak} = \frac{38269,0}{22,0} = 1739,0 \text{ часов/год}$$

4.4.7. Коэффициент полезного действия котла во время отопительного сезона

$$\eta_{zk} = \frac{0,926}{\left(\frac{6600}{1739} - 1\right) \cdot 0,006 + 1} = 0,9107$$

4.4.8. Общий коэффициент полезного действия отопительной системы

$$\eta_{zh} = \eta_{zk} \cdot \eta_{vHz} = 0,9107 \cdot 0,97 = 0,8834$$

4.4.9. Общий коэффициент полезного действия системы горячего водоснабжения:

$$\eta_{zw} = \eta_{zk} \cdot \eta_{sp} \cdot \eta_{vw} = 0,9107 \cdot 0,872 \cdot 0,9422 = 0,748$$

4.5. Расход топлива и стоимость топлива

Цена котельного топлива: 0,75 DM за литр; теплота сгорания H<sub>u</sub> = 10 кВт·час/л.

4.5.1. Только для отопления:

$$V_{zh} = \frac{34100,0}{10,0 \cdot 0,8834} = 3860,0 \text{ л/год}$$

$$K_B = 3860,0 \cdot 0,75 = 2895,- \text{ DM/год}$$

4.5.2. Только для горячего водоснабжения:

$$V_{zw} = \frac{2559,0}{10,0 \cdot 0,748} = 342,1 \text{ л/год}$$

$$K_{BW} = 342,1 \cdot 0,75 = 256,6 \text{ DM/год}$$

Таблица 2. Результаты для одноквартирного дома

А. Отопительный сезон	
Коэффициент полезного действия котла	η <sub>zk</sub> = 91,07 %
Коэффициент полезного действия аккумулятора	η <sub>sp</sub> = 87,2 %
Коэффициент полезного действия распределительной системы	η <sub>vwz</sub> = 94,2 %
Общий коэффициент полезного действия	η <sub>gz</sub> = 87,24 %
Потребление жидкого топлива для отопления л/год.	V <sub>zh</sub> = 3860,0
Потребление жидкого топлива для горячего водоснабжения л/год.	V <sub>zw</sub> = 342,1
Стоимость жидкого топлива на отопление DM/год.	K <sub>BH</sub> = 2895,0
Стоимость жидкого топлива для горячего водоснабжения DM/год.	K <sub>BWz</sub> = 256,6
Стоимость энергии для м <sup>3</sup> горячей воды (50 °С) DM/м <sup>3</sup> .	K <sub>Wz</sub> = 4,74
В. Летом	
Коэффициент полезного действия котла	η <sub>sk</sub> = 73,0 %
Коэффициент полезного действия аккумулятора	η <sub>sp</sub> = 88,75 %
Коэффициент полезного действия распределительной системы	η <sub>vws</sub> = 81,3 %
Общий коэффициент полезного действия	η <sub>gs</sub> = 52,6 %
Потребление жидкого топлива для горячего водоснабжения л/год.	V <sub>zw</sub> = 160,0
Стоимость жидкого топлива для горячего водоснабжения DM/год.	K <sub>BWs</sub> = 120,0
Стоимость энергии для м <sup>3</sup> горячей воды (50 °С) DM/м <sup>3</sup> .	K <sub>Ws</sub> = 6,75
Стоимость энергии в среднем за год DM/год.	K <sub>Wa</sub> = 5,24
Инвестиции <sup>1)</sup>	K <sub>i</sub> = 2900,0 DM
Капитальные затраты (ежегодный платеж 12,41 %)	K <sub>K</sub> = 360,- DM/год
Техническое обслуживание и поддержание (2 %)	K <sub>u</sub> = 55,- DM/год.
Общая стоимость м <sup>3</sup> (60 °С)	K <sub>w</sub> = 10,96 DM/м <sup>3</sup> .

1) Без арматуры водоразборных точек и без трубопроводов холодной воды.

Специфическая стоимость топлива на м<sup>3</sup> горячей воды с температурой 50 °С при потреблении 55 м<sup>3</sup> за отопительный сезон.

$$K_{\text{BWW}} = \frac{256,6}{55} = 4,66 \text{ DM/m}^3$$

4.5.3. Общий коэффициент полезного действия:

$$\eta_{\text{zg}} = \frac{34100,0 + 2559,0}{(3860,0 + 342,1) \cdot 10,0} = 0,8724$$

включая потери при распределении отопительной системы (3 %).

4.6. Коэффициент полезного действия в чисто летнем режиме

$$q_{\text{As}} = 1 \cdot (87,2 + 37,5) \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 11,22 \text{ kWh/a}$$

$$q_{\text{Zs}} = 16 \cdot (33,3 + 93,0) \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 181,9 \text{ kWh/a}$$

$$\eta_{\text{Vws}} = \frac{838}{838 + 11,22 + 181,9} = 0,8127$$

$$q_{\text{sp}} = 130,0 \cdot 1,163 \cdot 0,4 \cdot 90 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 130,6 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{wsp}} = \frac{838,0}{0,8127} = 1031,0 \text{ kWh/a}$$

$$\eta_{\text{sp}} = \frac{1031,0}{1031,0 + 130,6} = 0,8875$$

$$Q_{\text{ak}} = \frac{838,0}{0,8127 \cdot 0,8875} = 1162,0 \text{ kWh/a}$$

$$b_{\text{ak}} = \frac{1162,0}{22,0} = 52,8 \text{ h/a}$$

$$\eta_{\text{sk}} = \frac{0,905}{\left(\frac{2160}{52,8}\right) \cdot 0,006 + 1} = 0,73$$

$$\eta_{\text{sw}} = \eta_{\text{sk}} \cdot \eta_{\text{sp}} \cdot \eta_{\text{Vws}} = 0,73 \cdot 0,8875 \cdot 0,8127 = 0,526$$

Здесь:

KWh/a - кВт·час/год

4.7. Расход топлива и его стоимость

$$B_{\text{sw}} = \frac{838,0}{10,0 \cdot 0,526} = 159,21 \text{ l/a}$$

$$K_{\text{BW}} = 159,2 \cdot 0,75 = 119,4 \text{ DM/a}$$

$$K_{\text{BWW}} = \frac{120}{18,0} = 6,67 \text{ DM/m}^3$$

Здесь:

l/a – л/год; а – год

4.8. Общий среднегодовой коэффициент полезного действия

$$\eta_{\text{ag}} = \frac{34100,0 + 2559,0 + 838,0}{10 \cdot (3860,0 + 159,2 + 342,1)} = 0,86$$

## 5. Пример расчета для 24-квартирного дома

5.1. Исходные данные

Потребность в тепле (DIN 4701)	$Q_n = 200,0 \text{ кВт}$
Количество людей	$n_p = 72,0$
Потребление горячей воды	$M_d = 40,0 \text{ л/человек дней}$
Время полного использования	$b_{\text{vH}} = 1550,0 \text{ часов/год}$
Номинальная мощность котла	$P_k = 200, \text{кВт}$

Условием поддержания постоянной рабочей температуры является применение современного жидкотопливного или газового котла.

5.2. Годовое потребление тепла на отопление

$$Q_{\text{на}} = 200 \cdot 1550 = 310000,0 \text{ кВт·час/год}$$

5.3. Годовое потребление тепла на горячую воду

5.3.1. Во время отопительного сезона

$$Q_{\text{wNz}} = 40,0 \cdot 72 \cdot 1,163 \cdot (50 - 10) \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 36844,0 \text{ кВт·час/год}$$

5.3.2. Летом

$$Q_{\text{wNs}} = 40,0 \cdot 72 \cdot 1,163 \cdot (50 - 10) \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 12058,0 \text{ кВт·час/год}$$

5.4. Коэффициент полезного действия в отопительный период

$$q_{\text{Az}} = 1,0 \cdot 3222,0 \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 886,0 \text{ kWh/a}$$

$$q_{\text{Zz}} = 1139 \cdot 16 \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 5011,6 \text{ kWh/a}$$

$$\eta_{\text{vwz}} = \frac{36844,0}{36844,0 + 886,0 + 5011,6} = 0,862$$

Здесь:

KWh/a - кВт·час/год

Коэффициент полезного действия аккумулятора:

Принимаются в качестве условия 2 аккумулятора из легированной стали емкостью по 500 литров. Температурные потери аккумулятора были измерены при его средней температуре 60 °С при 0,25 К/час (длительная производительность 2600 л/час при 60 °С).

$$q_{\text{spz}} = 1000 \cdot 1,163 \cdot 0,25 \cdot 275 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 1919,0 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{wsp}} = \frac{36844,0}{0,862} = 42743,0 \text{ kWh/a}$$

$$\eta_{\text{spz}} = \frac{42743,0}{42743,0 + 1919,0} = 0,957$$

$$Q_{\text{ak}} = \frac{310000,0}{0,97} + \frac{36844,0}{0,862 \cdot 0,957} = 364250,0 \text{ kWh/a}$$

$$b_{\text{ak}} = \frac{364250,0}{200,0} = 1821,0 \text{ h/a}$$

$$\eta_{\text{zk}} = \frac{0,905}{\left(\frac{6600}{1821} - 1\right) \cdot 0,0055 + 1} = 0,8921$$

$$\eta_{\text{zH}} = 0,8921 \cdot 0,97 = 0,86536$$

$$\eta_{\text{zw}} = 0,8921 \cdot 0,957 \cdot 0,862 = 0,7359$$

Здесь:

KWh/a - кВт·час/год; h/a – часов/год

5.5. Потребление топлива и его стоимость

$$B_{\text{zH}} = \frac{310000,0}{10,0 \cdot 0,8656} = 35825,01 \text{ l/a}$$

$$K_{\text{B}} = 35825,0 \cdot 0,75 = 26868,0 \text{ DM/a}$$

Здесь:

l/a – л/год; а – год

Таблица 3. Распределительная система горячей воды для 24-квартирного дома

Обозначения	Длина L <sub>R</sub> М	Размеры	Теплоемкость C <sub>R</sub> Вт·час/Км	L <sub>R</sub> · C <sub>R</sub> · Δθ Вт·час	K'	L <sub>R</sub> · K' · Δθ Вт
<b>А. В отапливаемых помещениях</b>						
Стояки	42,0	28 x 1,5	0,6998	882,0	0,244	308,0
	17,0	22 x 1	0,4336	222,0		0,234
Тупиковые линии	145,0	15 x 1	0,1999	870,0	0,223	970,0
Циркуляционные линии	59,0	15 x 1	0,1999	354,0	0,223	395,0
				2328,0		1793,0
<b>В неотапливаемых помещениях</b>						
Распределительные линии	15,0	42 x 1,5	1,5870	952	0,250	150,0
	20,0	35 x 1,5	1,0974	878,0	0,248	198,0
	25,0	28 x 1,5	0,6998	700,0	0,244	244,0
Циркуляционные линии	15,0	22 x 1	0,4336	260,0	0,234	140,0
	20,0	18 x 1	0,2894	232,0	0,229	184,0
	25,0	15 x 1	0,1999	200,0	0,223	223,0
				3222,0		1139,0

Только для горячего водоснабжения:

$$B_{zW} = \frac{36844}{10,0 \cdot 0,7359} = 5007,01/a$$

$$K_{BW} = 5007,0 \cdot 0,75 = 3755,0 \text{ DM/a}$$

$$K_{BWW} = \frac{3755,0}{792,0} = 4,74 \text{ DM/m}^3$$

$$\eta_{zg} = \frac{310000,0 + 36844,0}{(35825,0 + 5007,0) \cdot 10,0} = 0,849$$

Здесь:  
l - литр; а – год

5.6. Коэффициент полезного действия в чисто летний период

$$Q_{As} = 1 \cdot (2328,0 + 3222,0) \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 500,0 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{Zs} = 16 \cdot (1793,0 + 1139,0) \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 4222,0 \text{ kWh/a}$$

$$\eta_{VWz} = \frac{12058,0}{12058,0 + 500,0 + 4222,0} = 0,7186$$

$$Q_{sp} = 1000 \cdot 1,163 \cdot 0,25 \cdot 90 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 628,0 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{Wsp} = \frac{12058,0}{0,7186} = 16780,0 \text{ kWh/a}$$

$$\eta_{sp} = \frac{16780,0}{16780,0 + 638,0} = 0,9639$$

$$Q_{sK} = \frac{12058,0}{0,7186 \cdot 0,9639} = 17408,0 \text{ kWh/a}$$

$$b_{sK} = \frac{17408,0}{200} = 87,0 \text{ h/a}$$

$$\eta_{sK} = \frac{0,905}{\left(\frac{2160}{87} - 1\right) \cdot 0,0055 + 1} = 0,80$$

$$\eta_{sw} = 0,80 \cdot 0,9639 \cdot 0,7186 = 0,554$$

$$B_{sW} = \frac{12058,0}{10,0 \cdot 0,554} = 2175,01/a$$

$$K_{BW} = 2175,0 \cdot 0,75 = 1632,0 \text{ DM/a}$$

$$K_{BWW} = \frac{1632,0}{259,2} = 6,30 \text{ DM/m}^3$$

$$\eta_{ag} = \frac{310000,0 + 48902,0}{(35825,0 + 5007,0 + 2175,0) \cdot 10,0} = 0,8345$$

Здесь:  
KWh/a - кВт·час/год; h/a – часов/год; l/a – литров/год; а – год

Таблица 4. Результаты для 24-квартирного дома

<b>А. Отопительный сезон</b>		
Коэффициент полезного действия котла		η <sub>зк</sub> = 89,21 %
Коэффициент полезного действия аккумулятора		η <sub>сп</sub> = 95,66 %
Коэффициент полезного действия распределительной системы горячего водоснабжения		η <sub>VWz</sub> = 86,2 %
Общий коэффициент полезного действия		η <sub>зз</sub> = 84,9 %
Потребление жидкого топлива для отопления л/год.		B <sub>zH</sub> = 35825,0
Потребление жидкого топлива для горячего водоснабжения		B <sub>zW</sub> = 5007,0 л/год.
Стоимость жидкого топлива на отопление DM/год.		K <sub>BH</sub> = 26869,0
Стоимость жидкого топлива для горячего водоснабжения DM/год.		K <sub>BWz</sub> = 3755,0
Стоимость энергии для м <sup>3</sup> горячей воды (50 °C)		K <sub>Wz</sub> = 4,82 DM/m <sup>3</sup> .
<b>В. Летом</b>		
Коэффициент полезного действия котла		η <sub>зк</sub> = 80,0 %
Коэффициент полезного действия аккумулятора		η <sub>сп</sub> = 96,4 %
Коэффициент полезного действия распределительной системы		η <sub>VWz</sub> = 71,86 %
Общий коэффициент полезного действия		η <sub>зз</sub> = 55,4 %
Потребление жидкого топлива для горячего водоснабжения		B <sub>zW</sub> = 2175,0 л/год.
Стоимость жидкого топлива для горячего водоснабжения DM/год.		K <sub>BWz</sub> = 1632,0
Стоимость энергии для м <sup>3</sup> горячей воды (60 °C)		K <sub>Wz</sub> = 6,38 DM/m <sup>3</sup> .
Стоимость энергии в среднем за год		K <sub>Wa</sub> = 5,21 DM/год.
Инвестиции <sup>1)</sup>		K <sub>i</sub> = 24900,0 DM
Капитальные затраты (ежегодный платеж 12,14 %)		K <sub>k</sub> = 3023,- DM/год
Техническое обслуживание и поддержание (2 %)		K <sub>u</sub> = 498,- DM/год.
Общая стоимость м <sup>3</sup> горячей воды		K <sub>w</sub> = 8,55 DM/m <sup>3</sup> .

1) Без арматуры водоразборных точек и без трубопроводов холодной воды.

\* Включая стоимость электроэнергии для горелки.



Таблица 5. Стоимость энергии для 1000 литров горячей воды при температуре 50 °С

1	Нагрев горячей воды жидким топливом с регулируемым центральным аккумулятором горячей воды (стоимость жидкого топлива 0,75 DM/л)	$K_{Wa} = 5,28$ DM/м <sup>3</sup>
2	Электрический проточный подогреватель мощностью 21 кВт, децентрализованный	$K_{Sr} = 0,108$ DM/кВт·час
3	Электрический аккумулятор, децентрализованный	$K_{Sr} = 0,102$ DM/кВт·час
4	Электрический аккумулятор, централизованный	
	Равенство стоимости при цене электрического тока:	
	А. Отопительный сезон	$K_{Sr} = 0,079$ DM/кВт·час
	Б. Летом	$K_{Sr} = 0,105$ DM/кВт·час
5	Электрический аккумулятор, централизованный	
	Равенство стоимости при цене электрического тока:	
	А. Отопительный сезон	$K_{Sr} = 0,078$ DM/кВт·час
	Б. Летом	$K_{Sr} = 0,104$ DM/кВт·час
	Электрический ток по низкому тарифу	

## 6. Выводы

При использовании современных особо низкотемпературных котлов среднегодовые коэффициенты полезного действия котельных установок можно было еще значительно увеличить. Высокие требования Закона о экономии энергии (предписание о системах отопления) к теплоизоляции трубопроводов и к рабочим температурам в свою очередь также привели к очевидному снижению потерь при распределении.

Общий среднегодовой коэффициент полезного действия около 86 % может рассматриваться как *очень хороший* и даже отдельно подтвержденный коэффициент полезного действия для лета величиной около 53 % может рассматриваться как вполне приемлемый.

В такой взаимосвязи следует упомянуть, что TÜV Рейнской области в установке с также рассматривавшемся здесь котлом *Vitola-b* измерил еще более хороший к.п.д. Таким образом, результаты расчетов подтверждаются. Выполненное на самом современном уровне достижений техники центральное горячее водоснабжение с применением современного особо низкотемпературного жидкотопливного или газового котла и работающего с ограничением температуры аккумулятора воды является высокоактуальным. За исключением отдельных случаев, например при очень незначительном потреблении горячей воды, система по стоимости энергии и эксплуатационным расходам оказывается не слишком дорогой, и тем более - не по ее производительности, так как наряду с емкостью аккумулятора в распоряжении пользователя всегда есть возможность дополнительного отопления высокого уровня (котел).

Показанная в таблицах стоимость технического обслуживания имеет, впрочем, больше теоретический характер. При температуре аккумулятора и трубопроводной сети 50 °С практически нет сведений о образовании твердых отложений. Тогда для чего нужно техническое обслуживание? Стоимость технического обслуживания котла, напротив, не зависит от подключаемой системы горячего водоснабжения.

Система, кроме того, надежна и в будущем.

Так относительно просто могут подключаться тепловой насос для обогрева помещений и система горячего водоснабжения; возможно также использование солнечной энергии.

Таким же образом в любой момент можно включить в систему работающий на твердом топливе котел. И последнее, разумеется, и при децентрализованном горячем водоснабжении можно было бы предложить фактически новую установку отдельных ванных колонок.

*Anschr. d. Verf.: Postfach 10, 3559 Allendorf/Eder  
c/o Viessmann-Werke GmbH & Co.*

Адрес автора: абонентский почтовый ящик 3559, Аллендорф "Viessmann-Werke GmbH & Co"

