

УДК 696/697

**А. В. Овсянник, Д. С. Трошев**

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», пр. Октября, 48, г. Гомель, Республика Беларусь, 246000

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА ПОСЛЕ ТЕРМОРЕНОВАЦИИ**

*В данной работе произведена оценка влияния снижения температурного графика зданий после реновации на повышение КПД конденсационных котлов, повышение коэффициента преобразования тепловых насосов. Произведен расчет эффективности внедрения тепловых насосов и конденсационных котлов по сравнению с традиционными котлами для систем индивидуального теплоснабжения зданий при снижении температурного графика систем отопления после термореновации.*

**Ключевые слова:** теплоснабжение; конденсационные котлы; тепловые насосы; снижение температурного графика.

**А. В. Овсянник, Д. С. Трошев**

Установа освіти «Гомельський державний технічний університет імені П.О. Сухого», пр. Октября, 48, м. Гомель, Республика Білорусь, 246000

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДИНКІВ ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФІКА ПІСЛЯ ТЕРМОРЕНОВАЦІЇ**

*У даній роботі проведено оцінку впливу зниження температурного графіка будівель після реновації на підвищення ККД конденсаційних котлів, підвищення коефіцієнта перетворення теплових насосів. Проведено розрахунок ефективності впровадження теплових насосів і конденсаційних котлів в порівнянні з традиційними котлами для систем індивідуального теплопостачання будівель при зниженні температурного графіка систем опалення після термореновації.*

**Ключові слова:** теплопостачання; конденсаційні котли; теплові насоси; зниження температурного графіка.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### **ВВЕДЕНИЕ**

Термореновация зданий приводит к значительному снижению расхода тепловой энергии на отопление. При этом возникает возможность снижения температурного графика системы отопления, так как отопительные приборы выбраны по расходу теплоты на компенсацию теплопотерь до утепления [1]. Более низкий температурный график дает возможность установки конденсационных котлов или конденсационных экономайзеров и, как следствие, полезно использовать теплоту конденсации водяных паров, образующихся при сжигании топлива. При этом значительно возрастает КПД котлоагрегата и снижается удельный расход топлива на выработку тепловой энергии. Также снижение температурного графика позволит повысить коэффициент преобразования (КОП) при использовании в качестве источни-

ка теплоснабжения тепловых насосов. В статье приведен расчет экономии энергоресурсов от перехода на более низкий температурный график, полезного использования теплоты конденсации водяных паров и повышения КОП тепловых насосов.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Для начала необходимо определить, насколько снизится расход тепловой энергии на отопление здания после термореновации. В качестве примера рассчитывается расход теплоты на отопление здания длиной 45 м, шириной 20 м и высотой 10 м (три этажа) согласно строительным нормам до 1994 г. и по новым требованиям после реконструкции [2]. Расчет ведется согласно [3]. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

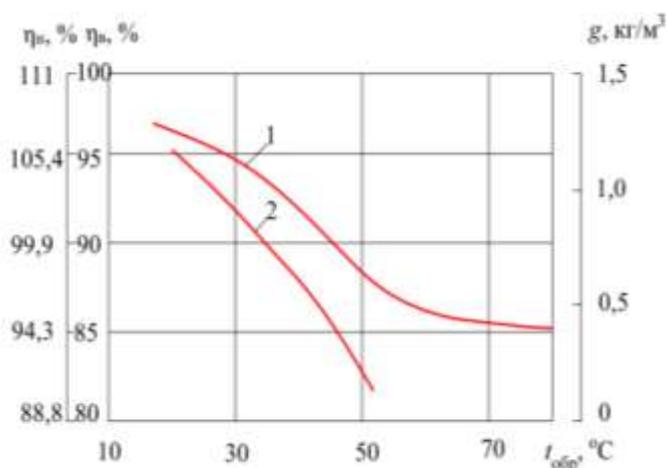
Таблиця 1 – Расчет теплотерь зданий до и после термореновации

Величина	Формула	Источ-ник	Значение	
			До	После
Длина здания $a$ , м	-	задано	45	45
Ширина здания $b$ , м	-	задано	20	20
Высота здания $c$ , м	-	задано	10	10
Процент остекления $k_{ок}$ , %	-	задано	20	20
Требуемое сопротивление теплопередаче (стены) $R_{ст}^{тр}$ , $M^2 \cdot ^\circ C / Bт$	-	[2]	1,11	3,2
Требуемое сопротивление теплопередаче (пол), $R_{пол}^{тр}$ , $M^2 \cdot ^\circ C / Bт$	-	[2]	0,9	2,5
Требуемое сопротивление теплопередаче (крыша), $R_{кр}^{тр}$ , $M^2 \cdot ^\circ C / Bт$	-	[2]	1,65	6
Требуемое сопротивление теплопередаче (оконные проемы), $R_{ок}^{тр}$ , $M^2 \cdot ^\circ C / Bт$	-	[2]	0,4	1
Коэффициент добавочных потерь $\beta$	-	[3]	0,1	0,1
Количество работающих человек $n$ , чел	-	задано	200	200
Расход наружного воздуха на человека $m$ , $m^3/ч$	-	[3]	30	30
Нормативная воздухопроницаемость световых проемов $G_{стн}^{ст}$ , $кг/(M^2 \cdot ч)$	-	[2]	0,5	0,5
Нормативная воздухопроницаемость стен $G_{стн}^{ст}$ , $кг/(M^2 \cdot ч)$	-	[2]	10	10
Средняя температура за отопительный период для Гомеля $t_{ср}^{от}$ , $^\circ C$	-	[4]	-1	-1
Продолжительность отопительного периода для Гомеля $n^{от}$ , сут	-	[4]	188	188
Годовой расход теплоты на нагрев воздуха на вентиляцию $Q_v$ , Гкал	$0,28 \cdot L_v \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{вн} - t_{ср}^{от}) \cdot k$	[3]	53,46	53,46
Годовой расход теплоты на компенсацию теплотерь $Q_{от}$ , Гкал	$\Sigma(F/R_j) \cdot (t_{вн} - t_{ср}^{от})$	[3]	230,72	80,65
Суммарный расход теплоты на отопление и вентиляцию $Q_{\Sigma}$ , Гкал	$Q_i + Q_v + Q_{от}$	[3]	322,02	171,96
Коэффициент снижения расхода теплоты на отопление за счет термореновации $k_{сн}$	$Q_{\Sigma}^{после} / Q_{\Sigma}^{до}$	-	0,534	
Потери теплоты на нагрев воздуха, Гкал		-	91,30	91,30
Потери теплоты через поверхности здания, Гкал		-	230,72	80,65

Таким образом после проведения термореновации есть возможность снижения расчетного температурного напора в системе отопления с 64,5 до 34,5 $^\circ C$  (при условии линейной зависимости плотности теплового потока от температурного напора). Разница температур в подающем и обратном трубопроводах систем отопления должна составлять от 10 до 25 $^\circ C$ . При этом чем меньше перепад, тем выше расход и лучше гидравлика системы. Однако это ведет к повышенным расходам электроэнергии на перекачку теплоносителя. В европейских странах перепад температур между подающим и обратным трубопроводом может достигать 10 $^\circ C$ .

Для повышения эффективности использования конденсационных котлов в системе отопления необходимо как можно больше снизить температуру воды в обратном трубопроводе, а температура в подающем не имеет определяющего значения, поэтому принимается температурный график для рассчитанного здания 65/40 с температурным напором 34,5  $^\circ C$  и температурным перепадом 25  $^\circ C$ . Тогда средняя температура в обратном трубопроводе за отопительный период (при линейной зависимости теплоотдачи от температурного напора) составит порядка 30 $^\circ C$ . Средняя температура в подаче за отопительный период составит (при линейной зависимости теплоот-

дачи от температурного напора) 37°C. В [5] представлений графік залежності КПД і образования конденсата от температури обратної лінії опілення (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Залежність КПД і кількості образуючого конденсату в залежності от температури обратної води в конденсаційному котлі [5]  
1 – залежність КПД; 2 – залежність кількості конденсату.

Таким образом, зниження температурного графіка дозволить використовувати для нужд опілення конденсаційний котел з середнім КПД за опітельний сезон 105 %. Удельний расход на вироботку теплової енергії міні-котельної складе:

$$b_{уд}^{выр} = 142,86 / \eta_n \quad (1)$$

Для традиційного котла з  $\eta_n = 92 \%$ :  $b_{уд}^{выр} = 142,86 / 0,92 = 155,3$  кг у.т./Гкал.

Для конденсаційного котла з  $\eta_n = 105 \%$ :  $b_{уд}^{выр} = 142,86 / 1,05 = 136,1$  кг у.т./Гкал.

С учетом расхода теплоты на собственные нужды 2% удельные расходы топлива на отпуск теп-

ловой энергии составят для традиционного котла 158,5 кг у.т./Гкал, для конденсаційного 138,9 кг у.т./Гкал. В случае использования температурного графика 95/70 средняя температура в обратнй лінії складе порядка 43 °C,  $\eta_n = 101,5 \%$   $b_{уд}^{выр} = 142,86 / 1,015 = 140,7$  кг у.т./Гкал. Удельный расход топлива на отпуск теплової енергії складе 143,6 кг у.т./Гкал. Таким образом, зниження температурного графіка дасть додаткову економію от внедрения конденсаційного котла в размере 2,9 кг у.т./Гкал. Суммарное снижение удельного расхода топлива на отпуск теплової енергії міні-котельної складе 17,8 кг у.т./Гкал.

Економія условного топлива от использования конденсаційного котла или конденсаційного економайзера может быть определена по формуле, т у.т.:

$$\Delta B = Q_{отп} \cdot (b_{уд}^{т.к} - b_{уд}^{к.к}) / 1000, \quad (2)$$

где  $Q_{отп}$  – годовое количество отпущенной теплоты, Гкал/год;  $b^{т.к}$ ,  $b^{к.к}$  – удельный расход условного топлива на отпуск теплової енергії традиційним и конденсаційным котлом соответственно кг у.т./Гкал.

После проведения термомодернізації зданий их теплова нагрузка снижается, что приводит к недогрузке котлов и снижению их КПД. При проведении реконструкции міні-котельной возможны 2 варианта: установить традиційный котел меньшей мощности или конденсаційный котел. Стоимость традиційных котлов малой и средней мощности составляет 21-42 у.е./кВт, в расчетах принимается среднее значение 30 у.е./кВт. Стоимость конденсаційных котлов малой средней мощности составляет 35-85 у.е./кВт, в расчетах принимается среднее значение – 60 у.е./кВт. Разница в стоимости в среднем составляет 30 у.е./кВт установленной мощности. Годовой экономический эффект от внедрения конденсаційных котлов по сравнению с традиційными приводится в таблице 2.

**Таблица 2** – Расчет технико-экономических показателей внедрения конденсаційных котлов при реконструкции по сравнению с традиційными

$t, ^\circ\text{C}$	КПД конденсаційного котла, %	Удельный расход топлива на отпуск теплової енергії традиційными котлами, кг у.т./Гкал	Удельный расход топлива на отпуск теплової енергії конденсаційными котлами, кг у.т./Гкал	Годовая экономия условного топлива, кг у.т./(год·кВт)	Годовой экономический эффект, у.е./(год·кВт)	Срок окупаемости мероприятия, лет
30	105	155,3	138,83	28,90	6,36	4,72
35	104	155,3	140,17	26,56	5,84	5,13
40	103	155,3	141,53	24,17	5,32	5,64
45	100	155,3	145,78	16,72	3,68	8,16
50	98	155,3	148,75	11,50	2,53	11,86
55	96,5	155,3	151,06	7,44	1,64	18,33

Анализируя данные таблицы 5 можно сделать следующие выводы:

1. При реконструкции мини-котельной здания, прошедшего термореновацию, установка конденсационного котла экономически оправдана, срок окупаемости по сравнению с традиционными котлами составит 4,72 года (при коэффициенте снижения расхода теплоты 0,534 можно снизить температурный график до 65/40°C).

2. Замена существующих котлов, не выработавших свой ресурс, на конденсационные экономически нецелесообразна (срок окупаемости свыше 10 лет) даже при снижении температурного графика после термореновации.

3. При строительстве нового здания необходимо предусматривать низкотемпературные системы отопления, что позволит применять энергоэффективные конденсационные котлы в качестве источника теплоснабжения с максимальным эффектом (вплоть до 28,9 кг у.т./кВт уст. мощности).

Также рассмотрим эффективность установки теплового насоса для нужд отопления здания, прошедшего термореновацию. Снижение температурного графика приведет к повышению коэффициента преобразования, определяемому как [6]:

$$\mu_{\text{ПТН}} = Q_{\text{п}} / Q_{\text{к}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – произведенная теплота, кВт;  $Q_{\text{к}}$  – мощность в тепловом эквиваленте, затраченная на привод компрессора, кВт.

Действительный коэффициент преобразования реально цикла можно рассчитать по формуле [6]:

$$\mu_{\text{ПТН}} = \mu_{\text{ид}} \cdot \varphi, \quad (4)$$

где  $\mu_{\text{ид}}$  – коэффициент преобразования идеального цикла Карно;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий реальные процессы, осуществляемые рабочим телом в ПТН.

$$\mu_{\text{ид}} = T_{\text{к}} / (T_{\text{к}} - T_{\text{о}}), \quad (5)$$

где  $T_{\text{к}}$  и  $T_{\text{о}}$  – температура кипения и конденсации рабочего тела, К.

$$T_{\text{к}} = 273 + (t_{\text{w}2} + (5 \dots 10)), \text{ К}; \quad (6)$$

$$T_{\text{о}} = 273 + (t_{\text{s}2} - (2 \dots 4)), \text{ К}. \quad (7)$$

Здесь  $t_{\text{w}2}$ ,  $t_{\text{s}2}$  – температуры горячего источника теплоты (нагреваемой воды) на выходе из конденсатора и холодного источника теплоты (охлаждаемой воды) на выходе из испарителя ПТН.

Практические значения  $\varphi$  составляют 0,55–0,70, при этом более низкие значения соответствуют более крупным агрегатам [6]. Для тепловых насосов малой и средней мощности принимается  $\varphi=0,6$ . В качестве источника низкпотенциальной теплоты рассмотрим грунт. Для глубинных зондов с глубиной свыше 20 м температура грунта является постоянной и составляет от 5 до 10 °С. Принимается в расчетах 5 °С.

На эффективность теплового насоса значительное влияние будет оказывать температура в подающем трубопроводе. Чем она ниже, тем выше КОП. При этом для здания после термореновации, как указано ранее, средний температурный напор в отопительных приборах должен составлять не менее 34,5 °С, а разница температур в подающем и обратном трубопроводах от 10 до 25 °С. Таким образом возможно применение следующих температурных графиков: 57,5/47,5; 60/45; 62,5/42,5; 65/40 °С. При этом чем меньше разница температур, тем выше КОП, но выше и расход электроэнергии на перекачку теплоносителя.

Расход электроэнергии на перекачку теплоносителя равен, кВт·ч/Гкал:

$$w_{\text{п}} = 9,8 \cdot g_{\text{п}} \cdot \Delta H / (3600 \cdot \eta_{\text{п}}), \quad (8)$$

где  $g_{\text{п}}$  – удельный расход воды на перекачку 1 Гкал тепловой энергии, т/Гкал;  $\Delta H$  – потери напора в системе отопления, м;  $\eta_{\text{п}}$  – КПД насоса.

$$g_{\text{п}} = 1000 / (\tau_{\text{п}} - \tau_{\text{о}}). \quad (9)$$

Потери напора в системе отопления зданий составляют 5-10 м вод. ст. С учетом сопротивления теплообменников и запорно-регулирующей арматуры принимается  $\Delta H = 25$  м вод. ст. КПД правильно подобранного насоса в среднем составляет около 0,5.

Аналогично определяется расход электроэнергии на перекачку хладоносителя, кВт·ч/Гкал:

$$w_{\text{х}} = 9,8 \cdot g_{\text{х}} \cdot \Delta H / (3600 \cdot \eta_{\text{х}}), \quad (10)$$

где  $g_{\text{х}}$  – удельный расход хладоносителя на перекачку 1 Гкал тепловой энергии, т/Гкал;  $\Delta H$  – потери напора в контуре хладоносителя, м;  $\eta_{\text{х}}$  – КПД насоса.

$$g_{\text{х}} = 4190 / (c_{\text{х}} \cdot \Delta t_{\text{х}}), \quad (11)$$

где  $c_{\text{х}}$  – теплоёмкость хладоносителя, ккал/(кг·К);  $\Delta t_{\text{х}}$  – перепад температур хладоносителя, обычно принимают 3-4°C.

В качестве теплоносителя первичного контура рекомендуется использовать 25-процентный раствор гликоля. В расчетах следует учесть, что его теплоемкость при температуре 0°C составляет  $c_{\text{х}}=3,7$  кДж/(кг·К). При использовании антифриза потери давления в трубах в 1,5 раза больше, чем при циркуляции воды. Сопротивление контура циркуляции хладоносителя принимается 5 м вод.ст.

Удельный расход электроэнергии на выработку тепловой энергии в тепловом насосе составит, кВт·ч/Гкал (без пикового догрева):

$$w_{\text{выр}} = 1163 / \mu_{\text{ПТН}}, \quad (12)$$

где 1163 – переводной коэффициент из Гкал в кВт·ч.

Расход условного топлива на отпуск тепловой энергии парокompрессионного теплового насоса (ПТН) составит, кг у.т./Гкал:

$$b_{\text{ПТН}} = (w_{\text{выр}} + w_{\text{п}} + w_{\text{х}}) \cdot 0,26 \quad (13)$$

где 0,26 – переводной коэффициент для РБ из кВт·ч в кг у.т.

Удельный общий расход условного топлива на отпуск тепловой энергии мини-котельной составит, кг у.т./Гкал:

$$b_{\text{кот}} = b_{\text{отп}} + w_{\text{отп}} \cdot 0,26 \quad (14)$$

Результаты расчета удельных расходов условного топлива на отпуск тепловой энергии ПТН приведены в таблице 3.

**Таблица 3** – Расчет удельных расходов условного топлива на отпуск тепловой энергии ПТН

$\tau_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{о}}, ^\circ\text{C}$	$\mu_{\text{ПТН}}^{\text{р}}$	$N_{\text{к}}, \text{кВт/Гкал}$	$\tau_{\text{п}}^{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{о}}^{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{к}}, \text{K}$	$T_{\text{о}}, \text{K}$	$\mu_{\text{ид}}$	$\mu_{\text{ПТН}}$	$g_{\text{п}}, \text{T/Гкал}$	$w_{\text{п}}, \text{кВт}\cdot\text{ч/Гкал}$	$w_{\text{х}}, \text{кВт}\cdot\text{ч/Гкал}$	$w_{\text{выр}}, \text{кВт}\cdot\text{ч/Гкал}$	$b_{\text{ПТН}}, \text{кг у.т./Гкал}$
95	70	2,38	0,299	52,8	41,2	331	279	6,39	3,83	86,2	7,04	10,28	303,5	83,42
65	40	3,22	0,221	39,3	28	317	279	8,28	4,97	88,5	7,23	10,28	234,0	65,38
62,5	42,5	3,32	0,214	38,1	29,1	316	279	8,52	5,11	111,1	9,07	10,28	227,5	64,18
60	45	3,44	0,207	37	30,2	315	279	8,75	5,25	147,1	12,01	10,28	221,5	63,39
57,5	47,5	3,56	0,200	35,9	31,3	314	279	8,99	5,40	217,4	17,75	10,28	215,5	63,32

Проанализировав таблицу 6 можно сделать следующие выводы:

1. Снижение температурного графика системы отопления позволяет значительно повысить эффективность применения теплового насоса грунт-вода (до 24 %).

2. Наиболее оптимальными из возможных к применению температурных графиков являются 60/45 и 57,5/47,5 °С.

3. Удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии составляет порядка 65 кг у.т./Гкал, что значительно ниже, чем для традиционных и конденсационных котлов.

Экономический эффект и срок окупаемости от внедрения теплового насоса на теплоснабжение здания со сниженным температурным графиком после терморенновации:

- капвложения в тепловой насос грунт-вода составляют около 400 у.е./кВт;

- на выработку 1 Гкал тепловой энергии при температурном графике 57,5/47,5 мощность теплового насоса составит 0,2 кВт/Гкал;

- приведенные капзатраты составят 80 у.е./Гкал;

- годовой приведенный экономический эффект равен  $(160,5-63,32) \cdot 220/1000=21,38$  у.е.;

- простой срок окупаемости установки ПТН составит порядка  $80/21,38=3,74$  года.

## ВЫВОДЫ

1. Термореновация зданий позволит снизить температурный напор в системе отопления с 64,5 до 34,5°С (при условии линейности зависимости теплового потока от температурного напора).

2. Снижение температурного напора позволит использовать график теплоснабжения 65/40 или 57,5/47,5°С.

3. При применении соответствующих температурных графиков возможна установка конденса-

ционных котлов с средним КПД за сезон до 105% по нижней теплоте сгорания и тепловых насосов грунт-вода с средним КОП за сезон достигающим 5,4.

4. Снижение температурного графика системы отопления позволяет значительно повысить эффективность применения теплового насоса грунт-вода (до 24%).

5. Техничко-экономические расчеты показали эффективность установки конденсационных котлов и тепловых насосов в качестве индивидуальных источников теплоснабжения. Причем установка тепловых насосов при больших начальных капзатратах дает больший экономический эффект и имеет более низкий срок окупаемости.

6. Установка теплового насоса грунт-вода для нужд отопления здания со сниженным температурным графиком является оптимальным решением с точки зрения экономии топливно-энергетических ресурсов и максимального экономического эффекта.

7. Переход на индивидуальное теплоснабжение от тепловых насосов для зданий, прошедших терморенновацию и имеющих возможность снизить температурный график является приоритетной задачей в области экономии ТЭР, особенно в связи с будущим вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС и необходимостью загрузки ее мощностей, в особенности, в ночное время.

8. Для определения максимальной эффективности внедрения тепловых насосов на нужды отопления необходимо учесть теплоаккумулирующую способность зданий и возможность максимальной загрузки теплового насоса в ночное время в период минимума электрических нагрузок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трошев Д. С. Возможность снижения температурного графика систем отопления зданий после термореновации/ Трошев Д.С., Овсянник А.В.// Энергоэффективность №12, с. 22-24.

2. ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. (с изм. 2009г.) Минск, 2007 г.- Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь – 36 с.
3. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Минск, 2004 г. - Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь – 36 с.
4. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология (изм. №1). Минск, 2007 г. - Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь – 35 с.

5. **Аронов И. З.** Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. – 2-е изд., доп. и перераб. – Л.: Недра, 1990 г. – 280 с.

6. **Проценко В. П., Радченко В. А.** Коэффициент преобразования парокompрессионных тепловых насосов./ В.П. Проценко // Теплоэнергетика – 1998 – №8, С. 32-42.

---

Отримана в редакції 29.07.2016, прийнята до друку 08.09.2016

**A. V. Ovsyannik, D. S. Troshev**

Educational establishment «Gomel State Technical University named after P.O.Sukhoi»,  
48 Ocyabrya str., Gomel, Republic of Belarus, 246000

## INCREASE INDIVIDUAL HEATING BUILDINGS ENERGY EFFICIENCY BY REDUCING THE TEMPERATURE GRAPHIC AFTER THERMORENOVATION

*The effect of lowering the temperature chart of buildings renovated to improve the efficiency of condensing boilers, as well as the increase of heat pumps conversion factor are evaluated in the paper. Calculation of heat pumps and condensing boilers implementation efficiency compared to traditional boilers for individual heating systems in buildings at reducing the temperature graph of heating after thermorenovation has been carried out.*

**Keywords:** Heating; Condensing Boilers; Heat Pumps; Reducing the Temperature Chart

### REFERENCES

1. **Ovsyannik, A. V., Troshev, D. S.** (2015). Vozmozhnost snizheniya temperaturnogo grafika sistem otopeniya zdaniy posle termorenovatsii. *Energoeffektivnost*, No.12, 22-24.
2. ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) Stroitel'naya teplotekhnika. Stroitel'nyie normyi proektirovaniya. (s izm. 2009). Minsk, 2007. Ministerstvo arhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus, 36 p.
3. SNB 4.02.01-03 Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozduha. Minsk, 2004. Ministerstvo arhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus, 36 p.

4. SNB 2.04.02-2000 Stroitel'naya klimatologiya (izm. No.1). Minsk, 2007. Ministerstvo arhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus, 35 p.

5. **Aronov, I. Z.** (1990). Kontaktnyy nagrev vody produktami sgoraniya prirodnogo gaza. 2-e izd., dop. i pererab. L.: Nedra, 280 p.

6. **Protsenko, V. P., Radchenko, V. A.** (1998). Koeffitsient preobrazovaniya parokompresionnyih teplovyih nasosov. *Teploenergetika*, No.8, 32-42.

---

Received 29 July 2016  
Approved 08 September 2016  
Available in Internet 30 October 2016