

трансмиссионной теплоты, теряемой отапливаемым помещением, для нагрева инфильтрующегося наружного воздуха в межстекольном пространстве стеклопакета.

2. По теплотехническим показателям соотношение площади вентилируемого оконного стеклопакета  $F_{ок}$  к площади пола  $F_n$  отапливаемого помещения должно быть  $F_{ок}/F_n \geq 1/5$ , т.к. при этом полностью исключаются теплопотери через окна и снижается нагрузка на систему отопления.

3. Ориентация здания должна быть обращена коротким фасадом на север для большего использования природной составляющей солнечной радиации с целью дополнительного подогрева инфильтрующегося наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты, расположенные на фасадах здания, освещаемых солнцем.

#### Литература

1. Липко В. И. Вентиляция герметизированных зданий. Т.1 – Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2000 – 300 с, ил.
2. Липко В. И. Вентиляция герметизированных зданий. Т.2 – Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2000 – 246 с, ил.
3. Приточный вентиляционный оконный блок: пат. 947 Республики Беларусь, МПК (2002) E06B7/02, 7/10 В. И. Липко; заявитель – Полоцкий государственный университет - №420020379; заявл. 04.12.2002; опубл. 30.09.2003 // Афіцыйны бюл/ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці – 2003.
4. Юрков О. Эффективный способ сокращения теплопотерь через окна многоэтажных жилых зданий // Строительная наука и техника. – 2006. – №5(8).
5. СНБ 4.02.01-03. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.: Минстройархитектуры РБ.– Минск, 2004.

#### 4.15 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ АВТОНОМНОЕ ТЕПЛОВОЗДУХО-СНАБЖЕНИЕ МАЛОЭТАЖНЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ ЗДАНИЙ

**Липко В.И., Широкова О.Н., Липко С.В. (ПГУ, г. Новополоцк, Беларусь)**

*Представлена технологическая схема, дано описание теплофизических и аэродинамических процессов. Разработана математическая модель основных положений теории тепломассообмена при автономном тепловоздухоснабжении малоэтажных зданий коттеджного типа с ограждающими конструкциями повышенной теплозащиты и герметичности.*

*The technological scheme is presented, the description of thermophysic and aerodynamic processes is given. The basic-point mathematical model of heat-and-mass exchange theory applying to independent heat-and-air supplying cottage type low-rise buildings with raised heat-shield and airtight non-load-bearing constructions is developed*

#### Введение

Предлагаемая к реализации технология автономного тепловоздухоснабжения малоэтажных зданий коттеджного типа с индивидуальным котлом, рабо-

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,  
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

тающим на любом виде топлива (жидком, твердом, газообразном), представлена схематично на рисунке 1 [1].

Для примера рассмотрим трехэтажный жилой дом с мансардой и подвалом, где расположен котел, а наружные ограждающие конструкции принять с повышенными теплозащитными характеристиками и высокой степенью герметичности. Особенностью конструктивного исполнения предлагаемой разработки является не кирпичный отдельно стоящий газоход для отвода дымовых газов от котла, а вертикальная стальная труба, расположенная внутри воздухопроводящего канала. Таким образом, данная система превращается в кожухотрубный теплообменник, в котором греющий теплоноситель выходит из котла в виде газов с начальной температурой до 130 °С, проходит по стальной трубе газохода вертикально через все здание и при этом передает теплоту наружному приточному воздуху, поступающему через воздухозаборный патрубок снаружи в воздухопроводящий канал, в котором, контактируя с нагретой поверхностью газохода подогревается, под действием сил гравитации устремляется вверх и распределяется по вентилируемым помещениям, а охлажденные дымовые газы выбрасываются в атмосферу.

При использовании автономных котлов для целей отопления и горячего водоснабжения часть теплоты, выделяемой при сжигании топлива, затрачивается на подогрев наружного воздуха, необходимого для горения топлива, часть теплоты, как правило, основная затрачивается на подогрев воды, а значительная часть теплоты выбрасывается через газоход вместе с топочными газами в атмосферу.

По предлагаемой технологии тепловоздухоснабжения здания содержащаяся в дымовых газах теплота перед выбросом в атмосферу благодаря конструктивному исполнению в виде рекуперативного теплообменника утилизируется для нагрева наружного приточного воздуха, эффективно снижая затраты на тепловоздухоснабжение здания.

*Разработка основ теории и методики расчета рекуперативной системы тепловоздухоснабжения здания*

Рассмотрим газовоздушный рекуперативный теплообменник-утилизатор, работающий в прямоточном режиме по схеме «труба в трубе» (рисунок 2), где греющий теплоноситель проходит по внутренней трубе, а нагреваемый воздух в том же направлении проходит по межтрубному пространству.

Количество теплоты, Вт, передаваемой от нагретых газов через стенку  $F$  нагреваемому воздуху, определится по формуле

$$Q = K \cdot F \cdot t_{cp}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$F$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>;

$t_{cp}$  – средняя температура греющего теплоносителя, °С;

Поверхность теплопередачи через стенку газохода, м<sup>2</sup>, определится из выражения

$$F = \pi \cdot d_{нз} \cdot l, \quad (2)$$

Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,  
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды

где  $d_{нг}$  – наружный диаметр газохода, м;  
 $l$  – длина (высота) газохода в зоне контакта, м.

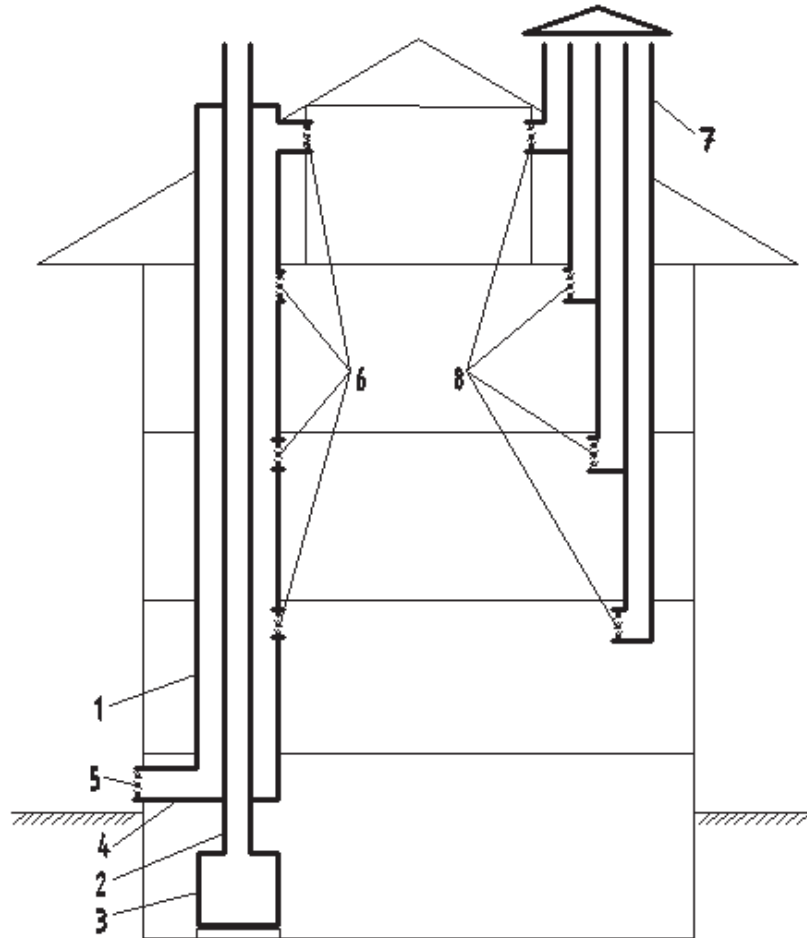


Рисунок 1 - Энергоэффективное устройство приточно-вытяжной вентиляции с рекуперативным подогревом приточного воздуха для малоэтажных зданий коттеджного типа:

- 1 - воздухопроводящий канал, 2 - газоход; 3 - котел; 4 - воздухозаборный патрубок;  
5 - воздухозаборная жалюзийная решетка; 6 - приточная регулируемая жалюзийная решетка;  
7 - вытяжные каналы; 8 - вытяжная регулируемая жалюзийная решетка.

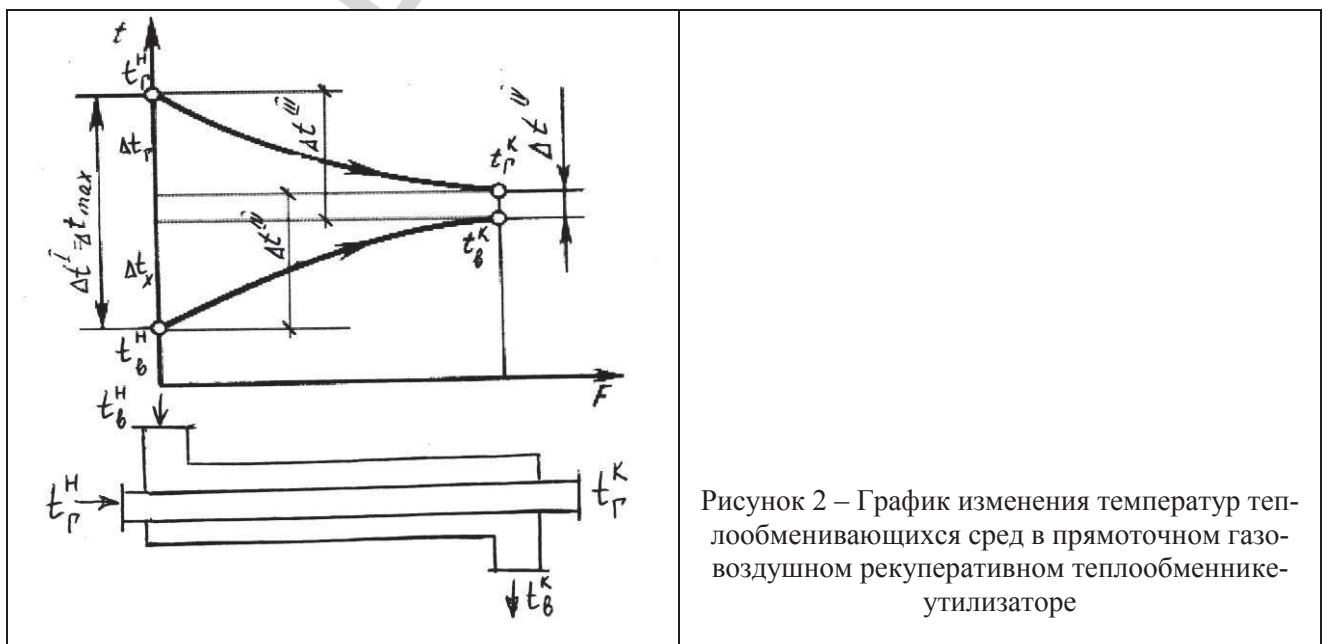


Рисунок 2 – График изменения температур теплообменивающихся сред в проточном газозудном рекуперативном теплообменнике-утилизаторе

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,  
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

Изменение температур теплоносителей при их движении вдоль поверхности теплообмена происходит нелинейно. Учитывая это обстоятельство, средняя разность температур определяется по логарифмическому уравнению

$$t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{m}}}, \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

где  $\Delta t_{\delta}$  - бóльшая разность температур греющего и нагреваемого теплоносителей,  $^{\circ}\text{C}$ , (рисунок 2);

$\Delta t_{m}$  - меньшая разность температур греющего и нагреваемого теплоносителей,  $^{\circ}\text{C}$ .

Коэффициент теплопередачи через стенку газохода определяется из выражения

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_1$  - коэффициент теплопередачи от греющего теплоносителя к внутренней поверхности стенки газохода,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки газохода к нагреваемому теплоносителю,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$\delta$  - толщина стенки газохода, м;

$\lambda$  - теплопроводность материала стенки газохода,  $\text{Вт}/\text{м }^{\circ}\text{C}$ .

В предлагаемом устройстве приточный наружный воздух подается в здание организованно естественным путем, а на его нагрев и перемещение не требуется дополнительной установки нагревательных приборов системы отопления и вентиляторов, что значительно снижает потребление тепловой и электрической энергии и стоимость строительства.

Как показали результаты расчета кожухотрубного теплообменника-рекуператора прямоточного действия, выполненного в соответствии с рекомендациями [2] при переменных режимах теплообмена с использованием данных, изложенных в работе [3], предлагаемое энергоэффективное устройство приточно-вытяжной вентиляции с рекуперативным подогревом приточного воздуха для малоэтажных зданий коттеджного типа, отапливаемых индивидуальными котлами, обеспечивает высокую энергоэффективность даже при низких температурах наружного воздуха. Как явствует из графиков изменения температур теплообменивающихся сред при расчетной наружной температуре  $t_n = -25^{\circ}\text{C}$  для наиболее холодной Витебской области температура подаваемого в вентилируемые помещения приточного воздуха, прошедшего через теплообменник-рекуператор соответствует нормативной температуре  $t_b = +18^{\circ}\text{C}$ , а при принимаемой за среднюю наружную температуру за весь отопительный период для Витебской области  $t_n = -2^{\circ}\text{C}$  - температура приточного вентиляционного воздуха составляет  $t_{пр} = 36^{\circ}\text{C}$ , что дает основание использовать избыточную теплоту для компенсации теплотерь зданий, т.е. использовать устройство в режиме воздушного отопления.

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,  
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

Эти расчеты наглядно иллюстрируются графиками, представленными на рисунке 3.

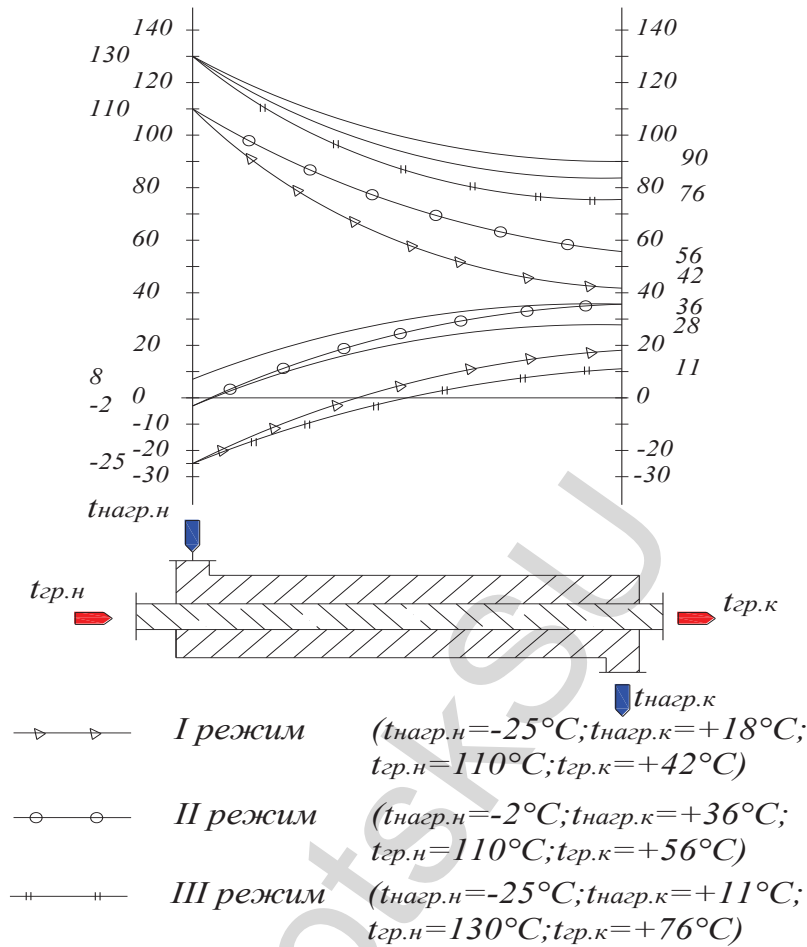


Рисунок 3 - График изменения температур теплообменивающихся сред в кожухотрубном теплообменнике-рекуператоре прямооточного действия

Поскольку количество теплоты, Вт, затраченной на нагрев наружного приточного воздуха, определяется уравнением

$$Q_{пр} = 0,28 \cdot L_{пр} \cdot \rho \cdot c (t_{пр} - t_{н \text{ в}}) \quad (5)$$

где  $L_{пр} = 3 \cdot F_{п}$  - расход нагреваемого наружного воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$F_{п}$  - площадь пола вентилируемых жилых помещений,  $\text{м}^2$ ;

$\rho$  - плотность наружного воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$c$  - теплоемкость воздуха,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$t_{пр}$  - температура приточного вентиляционного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{н \text{ в}}$  - температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ,

а количество теплоты, Вт, передаваемой от нагретых газов через стенку газохода нагреваемому воздуху определяется по формуле (1), то методика расчета температуры приточного воздуха сводится к решению уравнения тепловых балансов греющего и нагреваемого теплоносителей при переменных наружных температурах и фиксированных расходах наружного вентиляционного приточного воздуха, т.е.

$$Q_{гр} = Q_{пр} \quad (6)$$

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,  
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

ИЛИ

$$K \cdot F \cdot t_{cp} = 0,28 \cdot 3 \cdot F_{II} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_{np} - t_n \quad (7)$$

в котором все значения фиксированные, кроме искомой  $t_{np}$  и переменной  $t_n$ . Такое уравнение решается относительно  $t_{np}$ , задаваясь фиксированными значениями наружных температур  $t_n$  с определенным интервалом, например  $\Delta t_n = 10^\circ\text{C}$ , начиная с  $t_n = +5^\circ\text{C}$  для начала отопительного сезона до  $t_n = -25^\circ\text{C}$  и ниже расчетной наружной температуры отопительного периода.

В качестве примера решим это уравнение для I и II режимов, согласно рисунка 3, и конкретных условий;  $d_{\Gamma} = 0,15\text{ м}$ ,  $t_{\Gamma} = 110^\circ\text{C}$ ,  $t_n = -25^\circ\text{C}$ .

I режим.

II режим.

$F = \pi \cdot d_{\Gamma} \cdot l(h) = 3,14 \cdot 0,15 \cdot 12 = 5,65 \text{ м}^2.$ $t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}} = \frac{135 - 24}{\ln \frac{135}{24}} = 64,2 \text{ }^\circ\text{C}.$ $R = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{50} + \frac{1}{23} = 0,11 + 0,0002 + 0,043 = 0,1532 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт}.$ $K = \frac{1}{0,1532} = 6,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$ $Q_{cp} = K \cdot F \cdot t_{cp} = 6,5 \cdot 5,65 \cdot 64,2 = 2358 \text{ Вт}.$	$F = \pi \cdot d_{\Gamma} \cdot l(h) = 3,14 \cdot 0,15 \cdot 12 = 5,65 \text{ м}^2.$ $t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}} = \frac{112 - 20}{\ln \frac{112}{20}} = 53,5 \text{ }^\circ\text{C}.$ $R = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{50} + \frac{1}{23} = 0,11 + 0,0002 + 0,043 = 0,1532 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт}.$ $K = \frac{1}{0,1532} = 6,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$ $Q_{cp} = K \cdot F \cdot t_{cp} = 6,5 \cdot 5,65 \cdot 53,5 = 1965 \text{ Вт}.$
--	--

После подстановки значений

уравнение (7) примет вид

Для  $F_{II} = 80 \text{ м}^2$ .

Для  $F_{II} = 80 \text{ м}^2$ .

$$2358 = 0,28 \cdot 3 \cdot 80 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot \Delta t_{np} - t_n$$

$$1965 = 0,28 \cdot 3 \cdot 80 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot \Delta t_{np} - t_n$$

$$2358 = 94,1 \cdot t_{np} - 94,1 \cdot t_n$$

$$1965 = 94,1 \cdot t_{np} - 94,1 \cdot t_n$$

1)  $t_n = +5^\circ\text{C}$ ,  $t_{np} = \frac{2358 + 470}{94,1} = 30,0 \text{ }^\circ\text{C}.$

1)  $t_n = +5^\circ\text{C}$ ,  $t_{np} = \frac{1965 + 470}{94,1} = 25,9 \text{ }^\circ\text{C}.$

2)  $t_n = -25^\circ\text{C}$ ,  $t_{np} = \frac{2358 - 2353}{94,1} = 0 \text{ }^\circ\text{C}.$

2)  $t_n = -25^\circ\text{C}$ ,  $t_{np} = \frac{1965 - 2353}{94,1} = -4 \text{ }^\circ\text{C}.$

3)  $t_{cp} = -2^\circ\text{C}$ ,  $t_{np} = \frac{2358 - 188}{94,1} = 23,0 \text{ }^\circ\text{C}.$

3)  $t_{cp} = -2^\circ\text{C}$ ,  $t_{np} = \frac{1965 - 188}{94,1} = 18,9 \text{ }^\circ\text{C}.$

Расчет температур приточного воздуха для значений площадей  $F_n = 60 \text{ м}^2$ ,  $F_n = 100 \text{ м}^2$  и III-го режима (рисунок 3) выполнен аналогично.

Результаты выполненных расчетов сведены в таблицу 1, а характер зависимости  $t_{np} = f(\Delta t_n)$  представлен графически на рисунке 4.

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,  
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

Таблица 1-Результаты расчета температуры приточного воздуха

Режим работы	I			II			III		
	$t_{нагр.н} = -25 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{нагр.н} = -2 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{нагр.н} = -25 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
	$t_{зр.к} = +18 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{зр.к} = +36 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{зр.к} = +11 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
	$t_{зр.н} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C},$			$t_{зр.н} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{зр.н} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
	$t_{зр.к} = +42 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{зр.к} = +56 \text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{зр.к} = +76 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
$F_{п}, \text{ м}^2$	60	80	100	60	80	100	60	80	100
+5	38,4	30,0	25,1	32,8	25,9	21,7	58,8	45,4	37,3
0	33,4	25,0	20,1	27,8	20,9	16,7	53,8	40,4	32,3
-2	31,4	23,0	18,1	25,8	18,9	14,7	51,8	38,4	30,3
-5	28,4	20,0	15,1	22,8	15,9	11,7	48,8	35,4	27,3
-10	23,4	15,0	10,1	17,8	10,9	6,7	43,8	30,4	22,3
-15	18,4	10,0	5,1	12,8	5,9	1,7	38,8	25,4	17,3
-20	13,4	5,0	0,1	7,8	0,9	-3,3	33,8	20,4	12,3
-25	8,4	0,0	-5,0	2,8	-4	-8,3	28,8	15,4	7,3

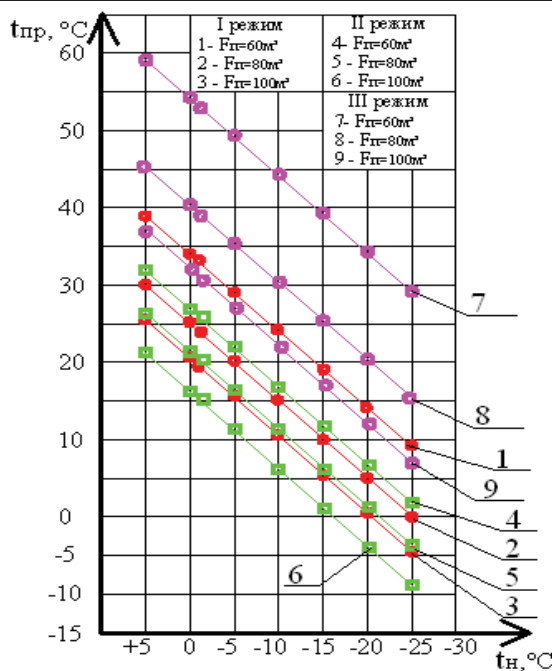


Рисунок 4 – Изменение температуры приточного вентиляционного воздуха  $t_{пр}, \text{ }^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от наружной температуры  $t_{н}, \text{ }^{\circ}\text{C}$ , при начальной температуре греющего теплоносителя  $t_{г} = 110,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  рекуперативного теплообменника-утилизатора и суммарной площади пола  $F_{п}, \text{ м}^2$ , жилых помещений

**Заключение**

1. Строительство малоэтажных зданий коттеджного типа с повышенными комфортными условиями проживания известно не только в развитых странах Западной Европы и Америки. Такие жилые здания за последние десятилетия нашли широкое распространение в спальных районах городов и агрогородках Беларуси, где централизованное теплоснабжение не всегда экономически обосновано из-за повышенной протяженности тепловых сетей и применение автономного теплоснабжения зачастую оправдывается за счет энерго- и ресурсосбережения.

Предлагаемое техническое решение также относится к автономному тепловоздухоснабжению малоэтажных жилых зданий и направлено на существенное снижение энергозатрат при эксплуатации в отопительный период, так

#### Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства, жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды

как позволяет не только полностью исключить затраты на нагрев приточного вентиляционного воздуха, но и значительно снизить затраты теплоэнергии на отопление путем перегрева в режиме воздушного отопления за счет утилизации и вторичного использования теплоты топочных газов перед выбросом в атмосферу.

2. Предлагаемая система энергоэффективного автономного тепловоздухознабжения с использованием вертикального кожухотрубного теплообменника-утилизатора исключает необходимость применения вентиляторов для перемещения вентиляционного воздуха, так как в теплогенераторе при нагреве под действием сил гравитации возникает мощный поток воздуха, который попадая в вентилируемые помещения создает избыточное давление, под действием которого отработанный воздух выдавливается через вытяжные каналы в атмосферу, что также способствует сбережению уже электрической энергии.

3. Снижение затрат тепловой энергии на тепловоздухознабжение здания при использовании автономных котлов по предлагаемой технологии дает существенное снижение расхода топлива для целей отопления и вентиляции до 70%, а остальное топливо возможно максимально использовать для целей горячего водоснабжения, обогрева бассейна или зимнего сада, что также способствует экономии топливно-энергетических ресурсов и снижению энергоемкости в жилищном секторе экономики.

#### Литература

1. Заявка на полезную модель «Энергоэффективное устройство приточно-вытяжной вентиляции с рекуперативным подогревом приточного воздуха для малоэтажных зданий коттеджного типа», получено положительное решение о выдаче патента от 03.10.2012г.

2. Теплоснабжение: Учебник для вузов/А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Браменков. Е.Н. Терлецкая; Под ред. А.А. Ионина.-М.: Стройиздат, 1982.-336с., ил.

3. Липко В.И. Энергоресурсоэффективное тепловоздухознабжение гражданских зданий. В 2-х томах. Том 1.- Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2004.-212с., ил.

#### 4.16 ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНОВЬ ВОЗВОДИМЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ БЛОКИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ

**Мартынов В.Л.** (КрНУ им. Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина)

*Для повышения энергоэффективности блокированных вновь возводимых зданий, сохранения биосферы разработан компьютеризованный способ оптимизации параметров энергоэффективных граничных блокированных зданий (параметров формы, сопротивления теплопередаче светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций каждой грани, площади окон на каждой грани здания) по критерию минимизации теплового баланса здания с окружающей средой за отопительный период. Данный способ возможно применять при проектировании как энергоэффективных, так и обычных зданий.*