

УДК 692.232

Новаковский Е.В., к.т.н.;  
Соломаха А.С., аспирант  
НТУУ «КПІ»

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ДЛЯ НУЖД ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*Утилизация тепла удаляемого воздуха один из методов энергосбережения, позволяющий сэкономить значительное количество первичных ресурсов без больших капиталовложений. Температурный потенциал такого тепла относительно небольшой, но постоянный круглый год. Количество тепла, которое можно отобрать от удаляемого воздуха, можно увеличить за счет применения тепловых насосов.*

*Утилізація тепла повітря, що видаляється один з методів енергозбереження, що дозволяє заощадити значну кількість первинних ресурсів без великих капіталовкладень. Температурний потенціал такого тепла відносно невеликий, але постійний круглий рік. Кількості тепла, яке можна відібрати від видаленого повітря, можна збільшити за рахунок застосування теплових насосів.*

*Exhaust air heat recovery is one of the methods of energy saving, enabling you to save a significant amount of primary resources without major investments. Temperature of the heat capacity is relatively small but constant all year round. Amount of heat that can be selected from the exhaust air can be increased through the use of heat pumps.*

**Введение.** Из мировой практики известно, что наиболее выгодные капиталовложения в энергетике, приходят именно на долю энергосберегающих технологий, а не на генерирующие мощности. Именно поэтому проблема рационального использования вторичных ресурсов становится актуальной. До 50 % отопительной нагрузки в городских многоквартирных домах и административных зданиях связано с вентиляцией помещений. Часть воздуха удаляется централизованными системами вентиляции при температуре 18-20<sup>0</sup>С. Предлагается утилизация тепла удаляемого воздуха за счет использования тепловых насосов «воздух-вода» [1,2].

**Постановка задачи.** Тепловые насосы типа «воздух-вода» используют воздух из системы вентиляции как низкопотенциальное тепло. При этом вырабатывают тепло более высокого потенциала в виде горячей воды с температурой 55-60<sup>0</sup>С. Вентиляционный воздух, который изымается из жилых помещений при температуре не менее +18<sup>0</sup>С, по

вентиляционным шахтам подается в теплообменник (испаритель) «теплового насоса», в котором происходит отбор теплоты с последующим выбросом использованного воздуха в окружающую среду, при этом температура воздуха может составлять от 5 °С и ниже.

В городских многоквартирных домах применяются системы естественной приточно-вытяжной вентиляции. Схема квартирного воздухообмена при этом выглядит следующим образом: отработанный воздух удаляется непосредственно из зон своего наибольшего загрязнения - из кухонь, ванных комнат и туалетов - через вытяжные отверстия естественной вентиляции. Замещение этих объемов происходит за счет разрежения, создаваемого вытяжкой, путем притока наружного воздуха через открытые форточки (створки) или не плотности окон, имеющих в квартире. Величина потока должна быть достаточной для комфортного пребывания в помещении людей и одновременно достаточно малой, чтобы поступающий воздух успевал нагреваться системой отопления.

Согласно [3,4] объем удаляемого воздуха из жилых помещений определяться одной из двух величин:

- суммарная норма вытяжки из туалетов, ванных комнат и кухни (зависит от типа кухонной плиты) - 110-140 м<sup>3</sup>/ч;
- норма притока - не менее 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилой площади.

Для расчета были, выбраны следующие серии домов: пятиэтажные дома - «Хрущевка», девятиэтажные дома серии «96» и шестнадцатиэтажные - серии «КТ», данный выбор обуславливается, прежде всего, тем, что эти серий и их модификация составляют основу жилого фонда Украины. В таблице 1 приведены характеристики жилых домов.

Таблица 1. Характеристики жилых домов

Параметры	Обозначения	«Хрущевка»	«96»	«КТ»
Количество этажей,	-	5	9	16
Количество парадных входов	-	2	2	2
Количество квартир на площадке	-	3	4	4
Количество квартир в доме	n <sub>д</sub>	30	72	128
Количество квартир в одном подъезде	n <sub>п</sub>	15	36	64
Масса отводимого воздуха за час, кг	786	2212	4762	

**Расчет количества получаемого тепла.** На основании эксплуатационных данных известно, что нормы по вентиляции соблюдаются не в полной мере, поэтому для практического расчета принимают расход воздуха

минимально возможный, численно он составляет один объем кухни и санузла в час.

Воздух из помещений удаляется при температуре  $+18^{\circ}\text{C}$ . Далее воздух охлаждается до температуры испарения фреона в испарителе теплового насоса. Проведем расчеты при разных температурах кипения фреона в испарителе  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $+5^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 1 представлена диаграмма фреона 407С, с графиками работы теплового насоса, построенная в программе Coolpack для работы теплового насоса со следующими параметрами:

Температура конденсации фреона  $60^{\circ}\text{C}$ , температура испарения фреона  $-5^{\circ}\text{C}$  (1),  $0^{\circ}\text{C}$  (2) и  $5^{\circ}\text{C}$  (3) соответственно.

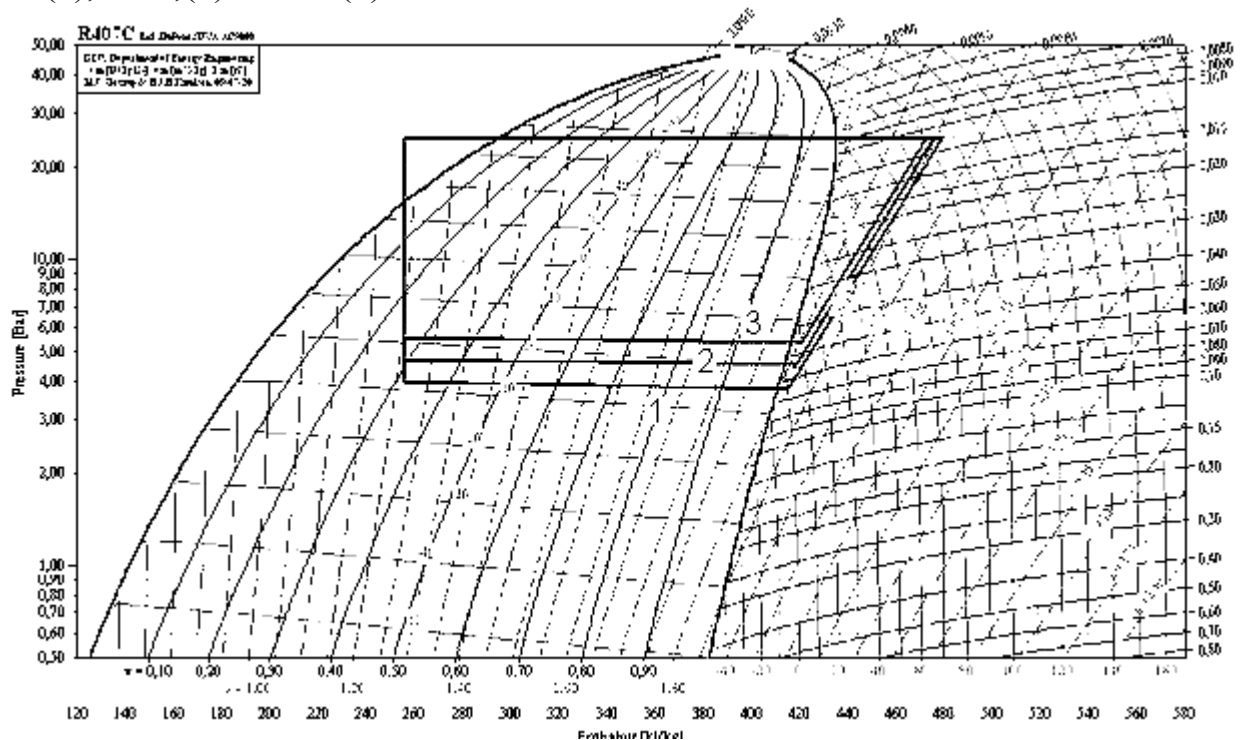


Рис.1 График работы теплового насоса при температуре конденсации фреона  $+60^{\circ}\text{C}$  и температура испарения фреона  $-5^{\circ}\text{C}$  (1),  $0^{\circ}\text{C}$  (2) и  $5^{\circ}\text{C}$  (3) соответственно.

При этом коэффициент трансформации тепла (отношение полученной энергии к затраченной) составляет 2,46, 2,79 и 3,17 соответственно.

Приведем расчет теплового потенциала удаляемого воздуха для одного подъезда пяти-этажного дома («хрущевка»).

Объем удаляемого воздуха в час:

$$V_{\text{воз}} = 655 \text{ м}^3/\text{час};$$

$$m_{\text{воз}} = \rho_{\text{воз}} V_{\text{воз}} = 1,2 \cdot 655 = 786 \text{ кг}/\text{час}$$

Утилизируемое тепло вентиляционного воздуха за счет теплового насоса за час:

$$1) Q_{\text{воз}}^{\text{III}} = m_{\text{воз}} c_{\text{воз}} (t_{\text{воз}_1} - t_{\text{воз}_2}) = 786 \cdot 1,007 \cdot 10^3 (18 - (-5)) = 18,204 \text{ МДж} = 5,05 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$2) Q_{\text{вoз}}^{\text{II}} = m_{\text{вoз}} c_{\text{вoз}} (t_{\text{вoз}_1} - t_{\text{вoз}_3}) = 786 \cdot 1,007 \cdot 10^3 (18 - 0) = 14,2 \text{ МДж} = 3,94 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$3) Q_{\text{вoз}}^{\text{I}} = m_{\text{вoз}} c_{\text{вoз}} (t_{\text{вoз}_1} - t_{\text{вoз}_2}) = 786 \cdot 1,007 \cdot 10^3 (18 - 5) = 10,3 \text{ МДж} = 2,86 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Затраты электроэнергии на работу компрессор с учетом коэффициента трансформации тепла за час

$$1) Q_{\text{эл}}^1 = 18,4 / (2,46 - 1) = 7,5 \text{ МДж} = 3,5 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$2) Q_{\text{эл}}^2 = 14,2 / (2,79 - 1) = 7,93 \text{ МДж} = 2,2 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$3) Q_{\text{эл}}^3 = 10,3 / (3,17 - 1) = 4,75 \text{ МДж} = 1,32 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Суммарное количество тепла выдаваемое тепловым насосом

$$Q = Q_{\text{вoз}} + Q_{\text{эл}}$$

$$Q_1 = 5,05 + 3,5 = 8,55 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$Q_2 = 3,94 + 2,2 = 6,14 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$Q_3 = 2,86 + 1,32 = 4,18 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Количество воды, которое можно нагреть утилизированным теплом:

$$Q_{\text{вoд}} = m_{\text{вoд}} c_{\text{вoд}} (t_{\text{вoд}_1} - t_{\text{вoд}_2}) = m_{\text{вoд}} c_{\text{вoд}} \Delta t_{\text{вoд}}$$

$$m_{\text{вoд}} = \frac{Q_{\text{вoд}}}{c_{\text{вoд}} \Delta t_{\text{вoд}}}$$

$\Delta t_{\text{вoд}} = (t_{\text{вoд}_1} - t_{\text{вoд}_2})$  – разность температур,  $t_{\text{вoд}_1} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура воды выхода из теплообменника,  $t_{\text{вoд}_2} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура воды, что подается в теплообменник,  $\Delta t_{\text{вoд}} = 43 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$1) m_{\text{вoд}}^{\text{II}} = \frac{Q_{\text{вoд}}^{\text{II}}}{c_{\text{вoд}} \Delta t_{\text{вoд}}} = \frac{8,55 \cdot 3600}{4,19 \cdot 43} \approx 171 \text{ л/час}$$

$$2) m_{\text{вoд}}^{\text{I}} = \frac{Q_{\text{вoд}}^{\text{I}}}{c_{\text{вoд}} \Delta t_{\text{вoд}}} = \frac{6,14 \cdot 3600}{4,19 \cdot 43} \approx 122 \text{ л/час}$$

$$3) m_{\text{вoд}}^{\text{I}} = \frac{Q_{\text{вoд}}^{\text{I}}}{c_{\text{вoд}} \Delta t_{\text{вoд}}} = \frac{4,18 \cdot 3600}{4,19 \cdot 43} \approx 83 \text{ л/час}$$

Удельные затраты электроэнергии на подогрев на 1 л горячей воды в тепловом насосе:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{Q_{\text{эл}}}{m_{\text{вoд}}}$$

$$1) \Delta \mathcal{E}_1 = 3,5 / 171 = 0,02 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$2) \Delta \mathcal{E}_2 = 2,2 / 122 = 0,018 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$3) \Delta \mathcal{E}_3 = 1,32 / 83 = 0,016 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Если учитывать, что в доме находится 20 квартир, по 3 человека в квартире, то в сутки на одного человека приходится

$$V_{\text{д}_\text{вoд}_\text{с}} = V_{\text{д}_\text{вoд}} \cdot 24 \text{ к} / (n_{\text{к}} \cdot n_{\text{ч}})$$

$n_{\text{д}}$  – количество квартир в доме,  $n_{\text{д}} = 15$ .

$n_{\text{ч}}$  – количество человек в квартире,  $n_{\text{ч}} = 3$ .

$V_{\text{д}_\text{вoд}_\text{с}}$  – среднесуточный объем горячей воды на квартиру

$k$  – коэффициент тепловых потерь (потери в баке аккумуляторе и трубопроводах)  $k=0,7$

$$1) V_{\partial\_вод\_c}^I = V_{\partial\_вод\_ч}^I \cdot 24 \cdot \frac{k}{(n_{ч} \cdot n_{\partial})} = 171 \cdot 24 \cdot 0,7 / (3 \cdot 15) = 63,85 \text{ л}$$

$$2) V_{\partial\_вод\_c}^{II} = V_{\partial\_вод\_ч}^{II} \cdot 24 \cdot \frac{k}{(n_{ч} \cdot n_{\partial})} = 122 \cdot 24 \cdot 0,7 / (3 \cdot 15) = 45,55 \text{ л}$$

$$3) V_{\partial\_вод\_c}^{III} = V_{\partial\_вод\_ч}^{III} \cdot 24 \cdot \frac{k}{(n_{ч} \cdot n_{\partial})} = 83 \cdot 24 \cdot 0,7 / (3 \cdot 15) = 31 \text{ л}$$

Если учитывать что среднесуточная норма горячей воды на человека составляет  $V_{норм}=50 \text{ л}$  [5], то можно посчитать коэффициент замещения, он равен:

$$k_{\partial\_з} = \frac{V_{\partial\_вод\_чел}}{V_{норм}}$$

$$1) k_{\partial\_з}^I = \frac{V_{\partial\_вод\_чел}^I}{V_{норм}} = \frac{63,85}{50} = 1,3$$

$$2) k_{\partial\_з}^{II} = \frac{V_{\partial\_вод\_чел}^{II}}{V_{норм}} = \frac{45,55}{50} = 0,91$$

$$3) k_{\partial\_з}^{III} = \frac{V_{\partial\_вод\_чел}^{III}}{V_{норм}} = \frac{31}{50} = 0,62$$

Расчеты для всех типов домов приведены в таблице 2

Таблица 2

Расчет количества утилизируемого тепла .

Параметры	«Хрущевка»			«96»			«КТ»		
Температура отбора воздуха из вентиляции, °С	18			18			18		
Температура выхода воздуха после теплообменника, °С	-5	0	5	-5	0	5	-5	0	5
Коэффициент трансформации тепла	2,46	2,79	3,17	2,46	2,79	3,17	2,46	2,79	3,17
Масса отводимого воздуха за час, кг	786			2212			4762		

Количество тепла утилизируемое из воздуха, мДж/час	18,19	14,23	10,28	51,19	40,06	28,93	110,19	86,24	62,28
Количество тепла утилизируемое из воздуха, кВт·час	5,05	3,95	2,86	14,22	11,13	8,04	30,61	23,95	17,30
Количество тепла (электроэнергии) добавляемое компрессором в цикл, кВт·час	3,46	2,21	1,32	9,74	6,22	3,70	20,96	13,38	7,97
Суммарное количество тепла производимое тепловым насосом, кВт·час	8,51	6,16	4,17	23,96	17,34	11,74	51,57	37,34	25,27
Σ объем горячей воды на дом за час, л	170,08	123,13	83,35	478,71	346,57	234,59	1030,50	746,04	504,99
Объем горячей воды за сутки, л	4082	2955	2000	11489	8318	5630	24732	17905	12120
среднесуточный объем горячей воды на человека за сутки, л	63,5	46,0	31,1	74,5	53,9	36,5	90,2	65,3	44,2
коэффициент замещения	1,3	0,9	0,6	1,5	1,1	0,7	1,8	1,3	0,9

**Выводы.** Применение систем утилизация тепла вентиляционного воздуха на базе тепловых насосов в коммунально-жилищном комплексе позволит покрыть потребности горячего водоснабжения на 60 -90 %, при коэффициенте трансформации тепла( КОП)=3. Такие системы горячего водоснабжения применимы в городах где наблюдается нехватка газа или эксплуатация водогрейных котельных круглый год по технико-экономическим причинам невозможна.

*Использованные источники информации:*

1.Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы.М.: Энергоиздат, 1982

2. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. Учеб. пособие для вузов. –2-е изд., перераб. –М.: Энергоиздат, 1981. –320 с, ил.
3. СНиПу 2.08.01-89 Жилые здания
4. СНиП 2.04.05-91\*У Отопление, вентиляция и кондиционирование.
5. СНиП 2.04.01-85 Нормы расхода воды потребителями.