

## **ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З УТИЛІЗАЦІЄЮ**

Дешко В.І., Суходуб І.О., Попков А.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
м. Київ, Україна

**АННОТАЦІЯ:** Вплив непередбачених повітряних потоків у вентиляційній установці з рекуперацією тепла розглядається на основі однієї кімнати з встановленою вентиляційною установкою.

**АННОТАЦИЯ:** Влияние непредвиденных потоков воздуха в вентиляционной установке с рекуперацией тепла рассматривается на основе одной комнаты с установленной вентиляционной установкой.

**ABSTRACT:** The impact of unexpected air currents from ventilation systems with heat recovery is discussed on the basis of a single room with a ventilation unit.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** система вентиляції, утилізація теплоти, перетоки повітря, енергетична ефективність.

### **ВСТУП**

Теплові втрати систем вентиляції в будівлях можуть становити до 45% загальних втрат будівлі [1]. Для підвищення енергоефективності систем вентиляції застосовують теплоутилізатори різних видів. Завдяки простоті конструкції та легкості обслуговування значного поширення набули рекуперативні пластинчасті теплообмінники з перехресним плином теплоносіїв. Також за рахунок використання полімерних мембран і спеціально обробленого паперу деякі теплообмінники здатні здійснювати і вологообмін між витяжним і припливним повітрям [2, 3].

Нажаль, в залежності від конструктивного виконання утилізаційних установок в них можуть відбуватися ненавмисні перетоки повітря (особливо негативними є перетоки витяжного повітря у припливне), що може знижувати енергетичну ефективність установки, чи навіть робити її використання неефективним. Також відбувається нагрів повітря за рахунок вентиляторів, що також впливає на тепловий баланс установки в цілому.

Аналіз перетоків повітря в системах вентиляції з теплоутилізатором виконано в роботах [4-5] за допомогою методу вимірювання концентрації індикаторного газу. В роботі [6] проведено теоретичне та експериментальне дослідження подібних систем.

В даній роботі досліджено енергетичну ефективність системи вентиляції з теплоутилізатором повної теплоти з врахуванням внутрішніх перетоків та нагріву у вентиляторах.

### ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості об'єкта дослідження було обрано лабораторну кімнату, в якій встановлена система вентиляції з утилізацією явної та прихованої теплоти, витрата повітря в припливному та витяжному каналах коливається в межах 70...150 м<sup>3</sup>/год. в залежності від режиму роботи вентиляторів. Експериментальна установка також включає в себе повітропроводи, фільтри, анемостати, жалюзійні решітки, шибери та гільзи для вимірювання параметрів повітря. Конструктивну схему експериментальної установки зображено на рис. 1.

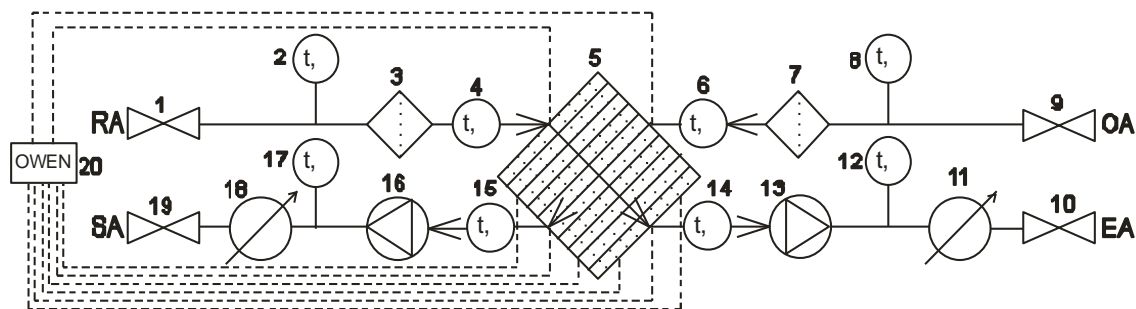


Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки:

1, 19 – анемостати витяжного і припливного повітря; 2, 8, 12, 17 – точки вимірювання температури і відносної вологості за допомогою testo 605; 3, 7 – фільтр; 4, 6, 14, 15 – точки вимірювання температури і відносної вологості за допомогою DS 1923-F5; 5 – рекуперативний теплообмінник; 9, 10 – жалюзійні решітки; 11, 18 – вимірювання швидкості повітря (testo 405); 13, 16 – витяжний та припливний вентилятори; 20 – прилад для обробки сигналів термопар ОВЕН; RA – повітря в приміщенні, OA – зовнішнє повітря, SA – припливне повітря, EA – викидне повітря

Температура і відносна вологість в точках 4, 6, 14, 15 вимірювалася термогігрометром Hygrochron DS 1923-F5 з можливістю накопичення даних, витрати повітря в точках 11, 18 – термоанемометром testo 405. Для перевірки точності вимірювання температури і вологості дані приладів порівнювалися з показниками термогігрометра testo 605 і термопар. При цьому максимальне розходження щодо температури та відносної вологості складає  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і  $\pm 5\%$  відповідно (збігається з паспортними даними похибок термогігрометра Hygrochron DS 1923-F5). Були використані 8 термопар для вимірювання температури: по 1 з боку повітря в приміщенні і зовнішнього і по 3 - з боку припливного і повітря, що викидається (для врахування нерівномірності розподілу температур при перехресному плинні). Дані по температурам припливного і витяжного повітря з приладів testo 605 відрізнялися від даних термопар і DS 1923-F5 на величину нагріву повітря у вентиляторах.

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Протягом 3 днів у січні 2014 року проводився моніторинг параметрів повітря в приміщенні, зовнішнього та припливного до та після теплоутилізатора.

Було розглянуто два перетоки повітря, котрі знижують продуктивність установки. Перший перетік  $m_5$ , коли частина припливного повітря потрапляє в витяжне повітря до теплообмінника та другий  $m_6$ , коли в припливне повітря до теплообмінника потрапляє частина витяжного повітря після теплообмінника (рис. 2). Такі перетоки повітря можуть зменшувати ефективність роботи рекуператора. Також температура припливного та витяжного повітря в установці підвищується за рахунок нагріву в вентиляторів.

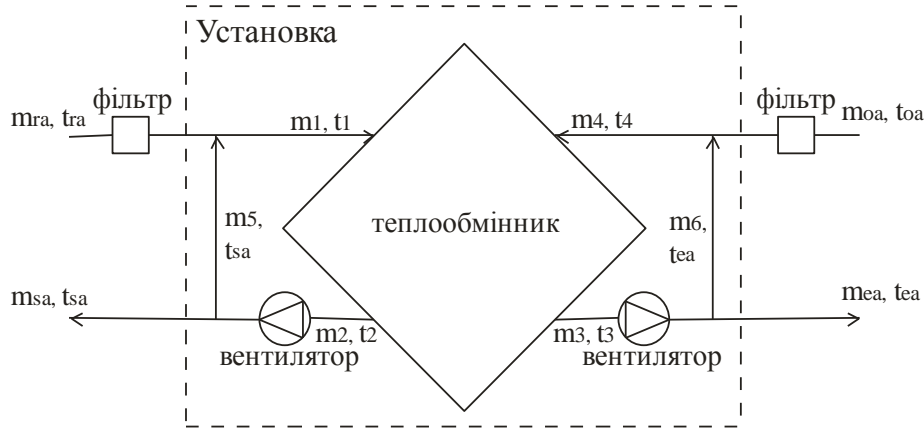


Рис. 2. Потоки повітря (основні та непередбачені) в утилізаційній установці

Витрати повітря  $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6$  розраховуються, застосовуючи закон збереження маси та енергії для повітря у відповідних вузлах:

$$m_1 = m_5 + m_{ra}, \quad (1)$$

$$m_{ra} \cdot c_p \cdot t_{ra} + m_{sa} \cdot c_p \cdot t_{sa} = m_1 \cdot c_p \cdot t_1, \quad (2)$$

$$m_2 = m_5 + m_{sa}, \quad (3)$$

$$m_3 = m_{ea} + m_6, \quad (4)$$

$$m_4 = m_{oa} + m_6, \quad (5)$$

$$m_4 \cdot c_p \cdot t_4 = m_{oa} \cdot c_p \cdot t_{oa} + m_6 \cdot c_p \cdot t_{ea}, \quad (6)$$

$$m_1 = m_3, \quad (7)$$

$$m_2 = m_4, \quad (8)$$

де  $c_p$  - ізобарна теплоємність вологого повітря.

Явний утилізований тепловий потік в теплообміннику розраховується за формулою:

$$Q_1 = m_1 \cdot c_p \cdot (t_1 - t_3), \quad (9)$$

$$Q_2 = m_2 \cdot c_p \cdot (t_2 - t_4). \quad (10)$$

Коефіцієнти внутрішніх перетоків розраховуються за наступними формулами:

$$\varepsilon_{int1} = \frac{m_5}{m_1}, \quad (11),$$

$$\varepsilon_{int2} = \frac{m_6}{m_4}. \quad (12)$$

Приклади отриманих результатів приведені в табл. 1 та 2.

Таблиця 1

## Результати експерименту

$t_{ra}, ^\circ\text{C}$	$t_{sa}, ^\circ\text{C}$	$t_{ea}, ^\circ\text{C}$	$t_{oa}, ^\circ\text{C}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$m_{sa}, \text{кг/с}$	$m_{ea}, \text{кг/с}$
23,1	22,5	13,8	2,8	23	21,2	12,3	7,2	0,032	0,037

Таблиця 2

## Результати розрахунків

$m_{ra}, \text{кг/с}$	$m_{oa}, \text{кг/с}$	$m_1, \text{кг/с}$	$m_2, \text{кг/с}$	$m_3, \text{кг/с}$	$m_4, \text{кг/с}$	$m_5, \text{кг/с}$	$m_6, \text{кг/с}$	$\varepsilon_{int1}$	$\varepsilon_{int2}$
0,044	0,024	0,053	0,040	0,053	0,040	0,009	0,016	0,167	0,400

Як видно з табл. 1 та 2 підмішування припливного повітря в витяжне  $m_5$  та витяжного повітря в припливне  $m_6$  зменшує максимальний перепад температур в теплообміннику з 20,3 до 15,8 $^\circ\text{C}$ , що значно знижує потенціал енергозбереження. При цьому явні теплові потоки за формулами (9-10) складають 0,581 та 0,572 кВт відповідно. По аналогії з балансами енергії для вузлів були записані масові баланси по вологовмісту та визначені вологовмісти повітря в приміщенні та зовнішнього безпосередньо перед теплообмінником. При цьому врахування перетоків повітря в установці зменшує відмінність між утилізованими тепловими потоками з 10 до 1,5% для явної теплоти та з 88 до 2,6% для повної. В першому випадку для розрахунків використовувалися температури та вологовмісти:  $t_{ra}, t_{ea}, t_{sa}, t_{oa}, d_{ra}, d_{ea}, d_{sa}, d_{oa}$ , витрати:  $m_{ea}, m_{sa}$ ; в другому –  $t_1, t_2, t_3, t_4, d_1, d_{ea}, d_{sa}, d_4, m_1 = m_3, m_2 = m_4$ .

Також подібні експериментальні дослідження та розрахунки були повторені для літнього режиму роботи. Ці результати мають схожий характер з зимовим режимом:  $\varepsilon_{int1} = 0,053$  та  $\varepsilon_{int2} = 0,333$ . В роботі [5] наводяться значення цих перетоків для трьох установок, максимальні значення перетоків 0,24 та 0,34 відповідно.

## ВИСНОВКИ

Було розглянуто та показано за допомогою експериментальних та розрахункових даних, що вентиляційна система має декілька витоків, які впливають на роботу рекуператора і установки в цілому. Також враховується нагрів повітря за рахунок роботи припливного та витяжного вентиляторів. Непередбачені перетоки повітря всередині установки можуть значно скоротити продуктивність вентиляційної установки з точки зору ефективності вентиляції.

В результаті проведення експерименту та розрахунків перетік припливного повітря в витяжне складає 16,7% та витяжного повітря в припливне 40%.

В роботі не враховуються можливі потоки повітря з приміщення в припливне повітря через нещільності у повітропроводах і фільтрі, що також в значній мірі можуть впливати на енергетичні показники роботи установки в цілому. Неврахування цих потоків може призводити до завищеного значення перетоку  $m_6$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гершкович В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий: пособие по проектированию [Электронный ресурс] / Гершкович В.Ф. // С.О.К., № 8. – 2006. <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/467/>.
2. Дешко В.І., Утилізація теплоти в системах вентиляції / В.І. Дешко, І.О. Крот // Нова Тема. – 2009. - №2. – С. 9-11.

3. Дешко В.І. Ефективність утилізації теплоти у рекуперативних теплообмінниках систем вентиляції / В.І. Дешко, І.О. Суходуб, С.О. Нагорна // Енергетика та електрифікація. – 2010, №12. – С. 37-43
4. Performance of single room ventilation units with recuperative or regenerative heat recovery / [H. Manz, H. Huber, A. Schälín and other] // Energy and Buildings. – 2000, № 32. – P. 37-47.
5. Manz H. Impact of air leakages and short circuits in ventilation units with heat recovery on ventilation efficiency and energy requirements for heating / H. Manz, H. Huber, D. Helfenfinger // Energy and buildings. – 2001, №33. – p. 133-139
6. Real heat recovery with air handling units / [C.-A. Roulet, F.D. Heidt, F. Foradini, M.-C. Pibiri] // Energy and buildings. – 2001, № 33. – P. 495-502.

#### REFERENCES

1. Hershkowitz V.F. Energy-efficient residential buildings: A guide to design [electronic resource] / V.F. Hershkowitz // C.O.K, № 8. - 2006.  
<http://www.c-o-k.com.ua/content/view/467/>.
2. Deshko V.I. Utilizatsiya warmth ventilation systems / V.I. Deshko, I.O. Mole // Nova Theme. - 2009. - № 2. - P. 9-11.
3. Deshko V.I. The efficiency of utilization of heat in a recuperative heat exchanger ventilation / V.I. Deshko, I.O. Sukhodub, SO Nagorny // Power and electrification. - 2010, № 12. - P. 37-43
4. Performance of single room ventilation units with recuperative or regenerative heat recovery / [H. Manz, H. Huber, A. Schälín and other] // Energy and Buildings. – 2000, № 32. – P. 37-47.
5. Manz H. Impact of air leakages and short circuits in ventilation units with heat recovery on ventilation efficiency and energy requirements for heating / H. Manz, H. Huber, D. Helfenfinger // Energy and buildings. – 2001, №33. – p. 133-139
6. Real heat recovery with air handling units / [C.-A. Roulet, F.D. Heidt, F. Foradini, M.-C. Pibiri] // Energy and buildings. – 2001, № 33. – P. 495-502.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2014 р.