

УДК 697.9: 628.87: 504.05

## Метод розрахунку теплового навантаження на систему кондиціонування повітря та опалення від вентиляційної системи з теплоутилізацією

М. І. Кордюков<sup>1</sup><sup>1</sup>асист. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, melco@ukr.net

*Анотація.* Сучасна нормативна документація вимагає застосування вентиляції з теплоутилізацією в житлових та громадських будівлях. Більшість виробників обладнання надають спрощену технічну документацію, яка не дає можливості точно розрахувати теплове навантаження від системи вентиляції на систему опалення та кондиціонування повітря. У житлових і громадських приміщеннях в літній час теплове навантаження на систему кондиціонування повітря (в зимовий час - на систему опалення) у значній мірі залежить від режиму роботи та використаної технології припливної вентиляції. У публікації надається метод розрахунку теплового навантаження для підбору обладнання систем опалення та кондиціонування повітря. Викладений метод розрахунку теплового навантаження не тільки дає можливість точно підібрати обладнання для системи опалення та кондиціонування повітря, а й виконати в декількох варіантах числове моделювання процесу витрати енергії на підтримання заданих параметрів мікроклімату та вибрати режим найбільшої енергоефективності. Даний метод дає можливість провести економічний аналіз капітальних витрат при підборі всього комплексу обладнання й отримати оптимальну конфігурацію. Наприклад, збільшення типорозміру припливної установки при фіксованій витраті веде до збільшення коефіцієнта теплоутилізації та зниженні вартості теплогенератора і кондиціонера, внаслідок зниження навантаження на них.

*Ключові слова:* вентиляція з теплоутилізацією, енергоефективність, енергозбереження, теплове навантаження на систему опалення, теплове навантаження на систему кондиціонування, тепловий розрахунок

**Вступ.** У житлових і громадських приміщеннях у літній час теплове навантаження на систему кондиціонування повітря (у зимовий час – на систему опалення) у значній мірі залежить від режиму роботи й використаної технології припливної вентиляції. Для наочності будемо розглядати варіант з літнім навантаженням, як більш складний, а зимовий варіант буде розраховуватись аналогічно. У зв'язку з жорсткістю вимог до енергоефективності будівель фактично відбувся перехід на використання комбінованої схеми вентиляції:

- 1 – постійна припливно-витяжна вентиляція з теплоутилізацією;
- 2 – періодична витяжна вентиляція без теплоутилізації з туалетів, ванних, кухонь і від технологічного обладнання.

**Формулювання цілей статті.** У цій статті пропонується метод розрахунку теплового навантаження на систему кондиціонування повітря та опалення від системи вентиляції з теплоутилізацією за різних режимів роботи.

**Основна частина.** Розрахункові параметри повітря приймаємо:

- зовнішнього відповідно до [1]  
 $t_{ext} = + 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{ext} = 30 \%$ ;
- внутрішнього відповідно до [2]  
 $T_{int} = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{int} = 40 \%$ .

Комбіновані (постійна припливно-витяжна та періодична витяжна) системи вентиляції ви-

користовуються як у житлових, так і в громадських будівлях. Режим роботи такої комбінованої системи наступний:

- припливно-витяжна вентиляція працює постійно у всіх обслуговуваних приміщеннях;
- витяжна вентиляція працює лише в період практичного користування, відповідно, приміщенням та обладнанням, яке вона обслуговує.

Необхідно визначити теплове навантаження для підбору обладнання опалення та кондиціонування повітря. При розрахунку енергоспоживання враховують, що використовується таймер зниження витрати повітря в нічний час. У даній роботі це не розглядається.

У загальному випадку теплове навантаження від системи вентиляції з теплоутилізацією обчислюється за формулою:

$$Q_{ym} = \frac{(1 - \eta_{ym})G(I_{int} - I_{ext})}{3,6}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

де  $Q_{ym}$  – кількість теплоти, потрібної для доведення параметрів повітря, що проходить через вентустановку з теплоутилізацією до параметрів повітря приміщення;  $\eta_{ym}$  – коефіцієнт теплоутилізації;  $G$  – масова витрата повітря через вентиляційну установку, кг/год;  $I_{int}$  – ентальпія повітря в приміщенні,

кДж/кг;  $I_{ext}$  – ентальпія зовнішнього повітря, кДж/кг.

У цій формулі значення  $\eta_{ym}$  зазвичай вибирається з документації виробника теплоутилізатора і, як правило, його значення завищено [3] в рекламних цілях. Далеко не всі виробники дають програми для підбору вентиляційних установок, які дозволяють урахувати всі особливості робочого режиму. Для отримання точного значення теплового навантаження від вентустановки введемо показник  $\eta_{pob}$  який будемо обчислювати:

$$\eta_{pob} = \eta_{ym} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2)$$

де:  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує зміну робочої витрати повітря в теплоутилізаторі порівняно з мінімальною;  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує дисбаланс припливного і витяжного повітря.

Введення коефіцієнта  $k_1$  пояснюється тим, що зазвичай виробники в документації наводять значення коефіцієнта теплоутилізації при мінімальній витраті повітря, а при підборі вентиляційної установки використовують робочу витрату, близьку до максимальної, з метою зниження капітальних витрат. Приклад для однієї з установок виробника ВЕНТС представлений на рис. 1:

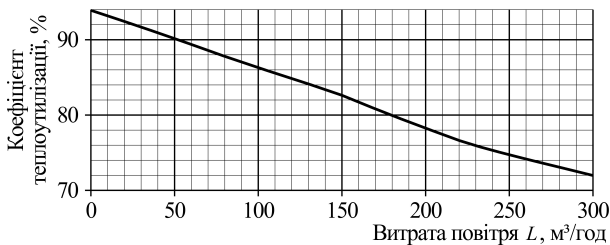


Рис. 1. Залежність коефіцієнта теплоутилізації для установки Вентс ВУЕ 270 В5Б ЕС за даними [4]

Зауважимо, що для установки, наведеної на графіку, мінімальна витрата становить 80 м³/год, а максимальна – 240 м³/год. ВЕНТС дає детальну технічну документацію на своє обладнання. У тих випадках, коли такої інформації немає, слід користуватися коефіцієнтом  $k_1$ . Його значення приймається за табл. 1, що побудована на підставі аналізу даних від різних виробників теплоутилізаторів.

Таблиця 1

**Коефіцієнт, що враховує зміну робочої витрати повітря в теплоутилізаторі**

Відсоток витрати від максимальної	0	30	50	75	100
$k_1$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Уведення коефіцієнта  $k_2$  пояснюється тим, що при роботі витяжної вентиляції виникає дисбаланс у припливно-витяжній вентиляції, що впливає на ефективність утилізації теплоти. При цьому припливно-витяжна вентиляція подає повітря ( $L_{in}$ , м³/год) більше, ніж видаляє ( $L_{out}$ , м³/год) відповідно до коефіцієнта дисбалансу

$$k = L_{el} / L_{in}. \quad (3)$$

Залежно від цього коефіцієнт теплоутилізації  $\eta$  змінюється в значній мірі. Наприклад, при  $k = 0,67$   $\eta = 55\%$ , а при  $k = 0,92$   $\eta = 64\%$  в режимі кондиціонування повітря.

Дані для табл. 2 взяті з розрахункової програми підбору припливно-витяжних установок DAIKIN «Ventilation Xpress 6.8.2» n.v. 23.02.2019 р. Цей виробник – один з небагатьох, хто дає можливість програмним шляхом розраховувати режим роботи установки з дисбалансом припливного і витяжного повітря. У технічних характеристиках обладнання не наводиться межове значення дисбалансу. Проте, при практичному використанні програми можна зрозуміти, що дисбаланс менше 75% виробником не рекомендується.

Тут слід зробити кілька важливих зауважень:

1. У комерційній документації (в каталогах обладнання), зазвичай, наводять рекламні значення показників ефективності теплоутилізації. Як правило, ці значення відносяться до режиму роботи на найменшій продуктивності і без дисбалансу. У табл. 2 розрахунок режиму проведений на найвищій продуктивності вентиляторів, на якій ефективність теплоутилізатора набагато нижча, ніж на низькій продуктивності.

2. У комерційній документації (в каталогах обладнання) зазвичай наводять показник термічної ефективності теплоутилізації в зимовому режимі. Він обчислюється без урахування конденсації вологи, яка видаляється з приміщень витяжним повітрям, тобто при температурі зовнішнього повітря + 7 °С. При більш низькій температурі відбувається конденсація вологи, що збільшує ефективність. При від'ємній температурі, °С, вимагається періодична дефростація інею, що випадає на теплообміннику. Це вимагає витрати енергії і часу, що суттєво погіршує показники ефективності теплоутилізації. У режимі кондиціонування повітря також зазвичай представляється термічна ефективність (тобто сухе охолодження повітря) в теплоутилізаторі.

Розрахунок ентальпійної (з урахуванням конденсації вологи) ефективності теплоутилізатора та коефіцієнта  $k_2$ 

№	Витрата повітря, м <sup>3</sup> /год, на		Дисбаланс $k$	Режим кондиціонування повітря			Режим опалення		
	приплив	витяжку		Коефіцієнт теплоутилізації		Коефіцієнт $k_2$	Коефіцієнт теплоутилізації		Коефіцієнт $k_2$
				розрахунковий	фактичний		розрахунковий	фактичний	
1	360	360	1,00	64,7	64,7	1,0	75,0	75,0	1,0
2	360	350	0,97	64,7	63,9	0,99	75,0	74,1	0,99
3	360	340	0,94	64,7	63,0	0,97	75,0	73,1	0,97
4	360	330	0,92	64,7	62,2	0,96	75,0	72,1	0,96
5	360	320	0,89	64,7	61,3	0,95	75,0	71,0	0,95
6	360	280	0,83	64,7	57,6	0,89	75,0	65,7	0,88
7	360	275	0,78	64,7	57,2	0,88	75,0	65,1	0,87

Припускається що висаджування надмірної вологи з припливного повітря відбувається в повітроохолоджувачі. У табл. 2 проведений розрахунок ентальпійної (з урахуванням відносної вологості повітря, %) ефективності теплоутилізації, яка фактично відбувається у вентиляційній установці.

При зменшенні аеродинамічного опору мережі (а увімкнення додаткової витяжної системи вентиляції може розглядатися як зниження опору припливної мережі) зростає витрата припливного повітря, в той час як витяжка через вентиляційну установку залишається незмінною. У різних типах приміщень можливо класифікувати три режими дисбалансу потоків повітря:

1. Короткочасне (до 20 % від загального часу роботи припливно-витяжної вентиляції) увімкнення витяжної вентиляції в об'ємі, що не перевищує 25 % від витрати припливно-витяжної вентиляції (режим, характерний для житлових приміщень, невеликих офісів і частини громадських будівель): у цьому випадку можливо не вживати ніяких заходів щодо компенсації дисбалансу: тепла інерція будівельних конструкцій не дозволить температурі в приміщеннях вийти із зони комфорту.

2. Постійна робота витяжної вентиляції в об'ємі 25..50 % від витрати припливно-витяжної вентиляції (режим, характерний для великих офісів, частини громадських приміщень): у цьому випадку слід передбачити окрему прямоплинну припливну установку, що забезпечує дисбаланс основний установки в межах 0..25%

від робочої витрати.

3. Постійна робота витяжної вентиляції в об'ємі понад 50 % від витрати припливно-витяжної (режим, характерний для технологічних приміщень): у цьому випадку слід передбачити на додаток до припливно-витяжної вентиляції окрему постійну припливно-витяжну з теплоутилізацією. Тип теплоутилізатора вибрати залежно від категорійності обслуговуваних приміщень. Найчастіше використовують теплоутилізатори з проміжним теплоносієм.

Відповідно, на цих трьох режимах по-різному повинно бути розраховане теплове навантаження від системи вентиляції на систему опалення та кондиціонування. Даний метод дає можливість провести економічний аналіз капітальних витрат при підборі всього комплексу обладнання й отримати оптимальну конфігурацію. Наприклад, збільшення типорозміру припливної установки за фіксованої витрати веде до збільшення коефіцієнта ефективності теплоутилізації та зниження вартості теплогенератора і кондиціонера внаслідок зниження навантаження на них.

**Висновки.** Викладений в статті метод розрахунку теплового навантаження не тільки дає можливість якісно підібрати обладнання для системи опалення та кондиціонування повітря, а й виконати в декількох варіантах числове моделювання процесу витрати енергії на підтримання заданих параметрів мікроклімату і вибрати режим найбільшої енергоефективності.

### Література

1. Кордюков М. І. Оцінка енергоспоживання систем вентиляції та кондиціонування повітря / М. І. Кордюков // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2016. – Вип. 20. – с. 46-53.
2. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT). – Чинні від 01.01.2013. – Київ: Укрархбудінформ, 2012. – 71 с.
3. Каталог теплоутилізаторів. Технічні дані [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ccktm.prom.ua/p555526033-plastinchatuj-teploutilizador-dlya.html>. Дата звернення 12.09.2018 р.
4. Приточно-вытяжные установки с рекуперацией тепла. Серия ВЕНТС ВУТ/ВУЭ 270 В5(Б) ЕС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vents.ua/uploads/download/vutvue270v5bec201905pagesrus.pdf>. – Дата обращения 01.03.2019.

### References

1. Kordiukov M. I. "Otsinka enerhospozhyvannia system ventyliatsii ta kondytsionuvannia povitria ." *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia: Naukovo-tekhnichniy zbirnyk*, Iss. 20, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, pp. 46-53.
2. *Rozrahunkovi parametry mikroklimatu prymishchen dlia proektuvannia ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel po vidnoshenniu do yakosti povitria, teplovoho komfortu, osviltennia ta akustyky (EN 15251:2007, IDT)*. DSTU B EN 15251:2011, Ukrarkhbuildinform, 2012.
3. "Kataloh teploutilizadoriv. Tekhnichni dani." [Electronic resource]. <https://ccktm.prom.ua/p555526033-plastinchatuj-teploutilizador-dlya.html>. Accessed 12 September 2108 p.
4. Pritочно-вытяжные установки с рекуперацией тепла. Serii VENTS VUT/VUE 270 V5(B) ES [Electronic resource]. Access mode: <https://vents.ua/uploads/download/vutvue270v5bec201905pagesrus.pdf>. – Accessed 01.03.2019.

УДК 697.9: 628.87: 504.05

## Метод расчёта тепловой нагрузки на систему кондиционирования воздуха и отопления от вентиляционной системы с теплоутилизацией

М. И. Кордюков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ассист. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, melco@ukr.net

*Аннотация. Современная нормативная документация требует применения вентиляции с теплоутилизацией в жилых и общественных зданиях. Большинство производителей оборудования дают упрощённую техническую документацию, которая не даёт возможность точно рассчитать тепловую нагрузку от системы вентиляции на систему отопления и кондиционирования. В жилых и общественных зданиях в летнее время тепловая нагрузка на систему кондиционирования воздуха (в зимнее время – на систему отопления) в значительной степени зависит от режима работы и использованной технологии приточной вентиляции. В публикации предоставляется метод расчёта тепловой нагрузки для подбора оборудования систем отопления и кондиционирования воздуха. Изложенный в статье метод расчёта нагрузки не только даёт возможность точно подобрать оборудование для системы отопления и кондиционирования воздуха, но и выполнить в нескольких вариантах численное моделирование процесса затраты энергии на поддержание заданных параметров микроклимата и выбрать режим наибольшей энергоэффективности. Данный метод даёт возможность провести экономический анализ капитальных затрат при подборе всего комплекта оборудования и получить оптимальную конфигурацию. Например, увеличение типоразмера приточной установки при фиксированной расходе ведёт к увеличению коэффициента теплоутилизации и снижению стоимости теплогенератора и кондиционера, вследствие снижения нагрузки на них.*

*Ключевые слова: вентиляция с теплоутилизацией, энергоэффективность, энергосбережение, тепловая нагрузка на систему отопления, тепловая нагрузка на систему кондиционирования, тепловой расчёт.*

UDC 697.9: 628.87: 504.05

## A Method of Calculating the Thermal Load on the Air-Conditioning and Heating from Ventilation with Heat Recovery

M. Kordiukov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> assistant professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, melco@ukr.net

*Abstract. Modern regulatory documentation requires the use of ventilation with heat recovery in residential and public buildings. Most manufacturers of equipment provide a simplified technical documentation that does not allow accurate calculation of the heat load from the ventilation system to the heating and air conditioning systems. The publication provides a method for calculating the thermal load for the design of heating and air conditioning equipment. In residential and public premises in the summer (in the winter time – on the heating system), the thermal load on the air conditioning system depends to a large extent on the mode of operation and the used technology of ventilation. For simplicity we will consider the variant with the summer load, as more complex, and the winter variant will be calculated similarly. Due to the stiffness of the requirements for energy efficiency of buildings, the transition to the use of a combined ventilation scheme has actually taken place: 1 – constantly operating general exchange combined extract and input ventilation with heat recovery; 2 – periodically running straight-line exhaust ventilation from the toilets, bathrooms, kitchens and local ventilation from the technological equipment. The method of calculation of heat load presented in the article not only gives the opportunity to precisely select the equipment for the heating and air conditioning system, but also perform in several variants a numerical modelling of the process of energy consumption to maintain specified microclimate parameters and choose the mode of greatest energy efficiency. This method makes it possible to conduct an economic analysis of capital costs when selecting the whole set of equipment and obtain the optimal configuration. An increase in the size of the fuel system at a fixed flow rate leads to an increase in the coefficient of recovery and a decrease in the cost of the heat generator and the air conditioner, due to a decrease in the load on them.*

*Keywords: ventilation with heat recovery, energy efficiency, energy saving, heat load on the heating system, heat load on the air conditioning system, heat calculations*

Надійшла до редакції / Received 06.12.2018