

УДК 697.94

Оцінка енергоспоживання систем вентиляції та кондиціонування повітря

М. І. Кордюков¹

¹асист. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, melco@ukr.net

Анотація. Вимоги до сучасних систем кондиціонування повітря обов'язково передбачають розрахунок споживання ними енергії за весь теплий період. Виробники обладнання дають характеристику SEER, яка є індикативною величиною і не відображає фактичні витрати енергії системою кондиціонування повітря будівлі. Реальний розрахунок ускладнюється багатоваріантністю вихідних даних: змінна температура зовнішнього повітря і відносна вологість, тип системи кондиціонування повітря, тип системи вентиляції. Запропонований підхід до оцінки енергоспоживання дозволяє врахувати всі ці фактори й отримати об'єктивні показники енергоспоживання для порівняння різних варіантів вентиляції та кондиціонування повітря.

Ключові слова: споживання енергії системою кондиціонування повітря; енергоефективність системи кондиціонування повітря; техніко-економічне обґрунтування системи кондиціонування повітря; техніко-економічний розрахунок системи кондиціонування повітря.

Вступ. Однією з ключових характеристик систем кондиціонування повітря є показник споживання енергії за весь теплий період року. У ході техніко-економічного розрахунку різних систем кондиціонування повітря зазвичай порівнюють три величини: рівень комфортності, капітальні та експлуатаційні витрати. І якщо оцінка перших двох не викликає особливих труднощів, то обчислення споживання енергії при розрахунку експлуатаційних витрат стикається з низкою труднощів – необхідно враховувати значення температури й відносної вологості повітря в місці розташування установки та технологію кондиціонування повітря.

Актуальність дослідження. Запропонований автором підхід до оцінки енергоспоживання системою кондиціонування повітря дозволяє отримати розрахункове значення енергоспоживання системи кондиціонування повітря з підвищеним ступенем достовірності, що є актуальною задачею при виборі енергоефективних рішень забезпечення мікроклімату.

Останні дослідження та публікації. У рамках євроінтеграції в Україні йде процес гармонізації будівельних норм зі стандартами ЄС. За останні роки прийнято низку нових стандартів [1, 2, 3 тощо]. Аналіз ринку вентиляційного обладнання та систем показав, що в наш час базовими видами систем кондиціонування повітря є наступні [4]:

1. Центральна система кондиціонування повітря;
2. Система чилер-фанкойл з центральною припливною установкою;
3. Система з прямим розширенням холодоагенту в повітроохолоджувачі

(DX) зі змінним потоком холодоагенту і припливно-витяжною установкою з теплоутилізацією (розглядатимуться як теплоутилізатор з утилізацією тільки явної теплоти (HRV), так і теплоутилізатор [5] з утилізацією повної теплоти та вологи (ERV);

4. Спліт-системи та природна вентиляція приміщень.

Існують інші варіанти поєднань систем кондиціонування повітря з вентиляційними системами, які розглядаються за аналогією. Запропоновані комбінації таких систем кондиціонування повітря і вентиляції будемо називати VAC (вентиляція та кондиціонування повітря) система.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка підходу до оцінки споживання енергії системами вентиляції та кондиціонування повітря, який враховує склад систем та змінні погодні умови.

Основна частина. Для коректного порівняння різних варіантів VAC систем необхідно використати однакові умови. Такими умовами є: кількість і потужність споживачів енергії у складі систем вентиляції та кондиціонування повітря; режим роботи VAC; параметри мікроклімату в приміщеннях; параметри зовнішнього повітря.

Склад споживачів енергії. Для варіанту № 1 споживачі енергії, що приймаються в розрахунок, такі: привід вентилятора(ів) центрального кондиціонера; за наявності роторного теплоутилізатора – його привід; привід компресора холодильної машини; привід вентиляторів холодильної машини; привід циркуляційного насоса холодоносія. Для варіанту № 2 споживачі такі: привід вентилятора(ів); за наявності роторного теплоутилізатора – його привід; привід компресора холодильної машини; привід вентиляторів холодильної машини; привід циркуляційного насоса холодоносія; привід вентиляторів фанкойлів. Для варіанту № 3 споживачі енергії наступні: компресорно-конденсаторний блок; внутрішні блоки VAC системи; привід вентиляторів вентиляційної установки. Для варіанту № 4 споживачі енергії такі: зовнішній блок спліт-системи, внутрішній блок спліт-системи. Прийемо наступні припущення: знехтуємо нагріванням повітря при проходженні через вентилятор; знехтуємо нагріванням холодоносія при проходженні через циркуляційний насос; знехтуємо споживанням енергії приладами і виконавчими механізмами регулювальної автоматики.

Параметри мікроклімату в приміщеннях. Відповідно до [1] прийемо для приміщень другої категорії комфортності: температуру повітря $+26^{\circ}\text{C}$; повітрообмін 7 л/с ($25 \text{ м}^3/\text{год}$) на людину; відносну вологість повітря 45 %.

Параметри зовнішнього повітря. У великих містах погодні умови є неоднаковими в різних мікрорайонах, що унеможливує точний розрахунок нестаціонарного режиму роботи VAC. Для отримання найбільш достовірних результатів пропонується використовувати дані офіційних ресурсів фіксації погоди, наприклад, авіаційні. Архів даних узятий з сайту аеропорту Київ [6] за 5 років: з 2010 по 2015 р. включно, з 25 квітня по 25 вересня. Проведено сортування й усереднення даних по температурі та відносній вологості. У результаті отримана інформація про величину стояння різної температури в період кондиціонування повітря (табл. 1).

Таблиця 1

**Тривалість стояння температури в теплий період
і відповідні значення відносної вологості зовнішнього повітря в м. Києві**

Температура зовнішнього повітря, °C	+15	+20	+25	+30	+35
Відносна вологість зовнішнього повітря, %	68	62	50	40	30
Тривалість періоду, год	563	1381	765	332	117

Кожній температурі відповідає своя відносна вологість повітря. Для спрощення розрахунків вручну виділено 5 реперних значень температури, до яких усереднені дійсні параметри вологості.

Обробка зовнішнього повітря системою кондиціонування повітря. Зовнішнє повітря, що подається в приміщення системою вентиляції, проходить обробку в повітроохолоджувачах. При природній вентиляції суміш зовнішнього та внутрішнього повітря проходить обробку у внутрішньому блоці кондиціонера, що не змінює фізичну сутність процесу. У процесі тепломасообміну відбувається охолодження й осушення повітря. Залежно від типу припливно-витяжної установки, витрати холоду (енергії) на обробку повітря є різними. Найменше значення (відповідно, найкраща енергоефективність) витрат – в установках з ERV теплоутилізаторами, у яких припливне повітря не тільки охолоджується, а й осушується за рахунок внутрішнього повітря з низьким вологовмістом. Результати розрахунку витрати холоду на обробку 1100 м³/год зовнішнього повітря при різних типах теплоутилізаторів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Витрати холоду на обробку 1100 м³ / год при різних типах теплоутилізаторів

Температура зовнішнього повітря, °C	+15	+20	+25	+30	+35
Відносна вологість зовнішнього повітря, %	68	62	50	40	30
Витрата холоду, кВт, при типі теплоутилізаторі ERV	- 1,8	- 0,8	0	0,8	1,4
Те ж HRV	- 2,9	- 0,9	0	1,5	1,8
Витрата холоду, кВт, при природній вентиляції	- 6,2	- 2,6	0	2,6	4,4

Примітка: Негативне значення означає витрату теплоти, кВт, на підігрів зовнішнього повітря

Теплове навантаження на систему кондиціонування повітря. Теплонадходження трансмісією залежать від температури зовнішнього повітря. Внутрішні тепловиділення вважаються незалежними від типу систем забезпечення мікроклімату. Теплонадходження від сонячної радіації також однакові для всіх систем. Вони не залежать від зовнішньої температури, а залежать від типу та орієнтації скління, типу покриття, сонцезахисту, навколишнього затінення тощо. Це навантаження розраховується окремо. Для даного прикладу приймаємо будівлю з теплонадходженнями за табл. 3. Теплонадходження розраховані за стандартними методиками й у роботі не наводяться.

Таблиця 3

Теплонадходження до будівлі при максимальному тепловому навантаженні

Температура зовнішнього повітря, °C	+15	+20	+25	+30	+35
Відносна вологість зовнішнього повітря, %	68	62	50	40	30
Тривалість періоду, год	563	1381	765	332	117
Теплонадходження трансмісією, кВт	- 8,0	0	0	10,4	17,4
Теплонадходження від сонячної радіації, кВт	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9
Теплонадходження від людей, кВт	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Теплонадходження від техніки, кВт	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Теплонадходження від вентиляції, кВт	- 1,8	- 0,8	0	0,8	1,4
Загальні теплонадходження, кВт	8	17	18	29	37

Для стислості надалі розглянемо розрахунок для варіанта з вентиляцією з теплоутилізатором ERV та прямим розширенням холодоагенту (DX). Решта варіантів розраховуються аналогічно.

Підбір обладнання для системи кондиціонування повітря. Згідно з п. 5.16 ДБН В.2.5-67:2013 [2] параметри зовнішнього повітря для підбору обладнання в теплий період допускається приймати вищими за розрахункові [3]. Для Києва таке підвищення доцільне, зважаючи на занижені (+23 °C) дані [3] порівняно з даними архіву погоди [6]. З урахуванням даних табл. 1 виконаємо підбір обладнання для температури зовнішнього повітря + 32°C, тобто для холодопродуктивності 35 кВт (табл. 3). Приймаємо зовнішній блок продуктивністю 40 кВт і встановленою потужністю 11,7 кВт. Охолодження та споживана потужність будь-яких холодильних машин змінюється залежно від температури зовнішнього повітря. Конкретні значення приймають з технічної документації виробника. Допускається використовувати універсальну методику зміни споживаної потужності пропорційно продуктивності. Внутрішні блоки VAC системи підбираємо для максимального теплового навантаження кожного приміщення, при цьому враховуємо допустиму швидкість повітря в робочій зоні. Всього потрібно 9 блоків, загальним індексом продуктивності 370 одиниць. Перевантаження зовнішнього блоку до 106% від номінальної продуктивності не погіршить роботу системи, оскільки теплонадходження від сонячної радіації різні в різних приміщеннях протягом дня і, отже, загальне навантаження на VAC систему близьке до номінальної.

Для прикладу приймаємо офісну будівлю, в якій максимум внутрішніх теплонадходжень збігається з піком інсоляції і навантаженням від припливного повітря. Тому навантаження на холодильну машину в денний час близьке до максимального, а в нічний – мінімальне. Для інших типів будівель характер навантаження інший і має бути врахований окремо.

Розрахунок споживаної потужності VAC системою. Проводити розрахунок зручно в програмах електронних таблиць. Занесемо отримані дані (температури зовнішнього повітря, тривалість її стояння, потрібну кількість холоду, номінальну холодопродуктивність і споживану потужність холодильної машини, споживану потужність внутрішніх блоків і вентиляційної установки) у табли-

цю як вихідні дані (табл. 4).

Таблиця 4

Розрахунок споживання енергії VAC системою

Температура зовнішнього повітря, °C	+15	+20	+25	+30	+35
Тривалість періоду, год	563	1381	765	332	117
потрібно холоду на будівлю, кВт	8	17	18	29	37
Номінальна холодопродуктивність холодильної машини, кВт	40	40	40	40	40
Номінальна споживана. Потужність холодильної машини, кВт	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
Споживана потужність внутрішніх блоків, кВт	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Споживана потужність вентиляційної установки, кВт	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Робоча холодопродуктивність холодильної машини, кВт	52	54	51	48	46
Робоча споживана потужність холодильної машини, кВт	9,1	9,6	10,5	11,5	12,4
Коефіцієнт завантаження холодильної машини	0,15	0,31	0,35	0,6	0,8
Фактична споживана потужність холодильної машини, кВт	1,8	3,4	4,1	7,3	10,3
Споживання енергії VAC системою, кВт	2,6	4,2	4,9	8,1	11,1
Споживання енергії VAC системою за період, кВт·год	1464	5800	3749	2689	1299

Робочу холодопродуктивність і споживану потужність холодильної машини (зовнішнього блоку) приймаємо за документацією виробника. Ці параметри залежать від температури зовнішнього повітря й типу обладнання. Більшість виробників надають ці дані для максимального навантаження (100 % продуктивності) холодильної машини. Для обчислення фактичного енергоспоживання в умовах часткового завантаження холодильної машини (окремі виробники надають ці дані) скористаємося коефіцієнтом завантаження, який обчислимо як відношення потреби будівлі в холоді до максимальної холодопродуктивності VAC системи. Отриманий коефіцієнт показує, наскільки знизилася споживана потужність холодильної машини в умовах часткового навантаження. У даному прикладі холодильна машина завантажена на 80% при максимальній температурі зовнішнього повітря. Запас холодопродуктивності – це резерв, який дозволить VAC системі успішно підтримувати комфортні умови в обслуговуваних приміщеннях протягом усього терміну (приблизно 17 років) служби. Вибір менш потужної холодильної машини можливий. Це знизить капітальні вкладення, але призведе до незабезпеченості комфортних параметрів при пікових значеннях температури зовнішнього повітря.

Наступний етап - обчислення фактичного споживання енергії VAC системою: множення робочої споживаної потужності на коефіцієнт завантаження та додавання енергії, спожитої внутрішніми блоками і вентиляційною установкою. У даному прикладі розглянуто найпростіший випадок VAC системи, а у випадку системи чиллер-фанкойл доведеться враховувати енергію, спожиту циркуляційними насосами. Для центральної повітряної VAC системи необхідно враховувати можливість припинення циркуляції повітря в період відсутності людей в приміщеннях.

Отримане значення фактичної споживаної потужності для кожного температурного рівня множиться на тривалість стояння цієї температури. Отримані значення підсумовуються. У підсумку отримуємо розрахункове споживання енергії VAC системою за весь теплий період. У даному прикладі розрахункове споживання електроенергії VAC системою офісного приміщення за весь теплий період становить 15000 кВт·год.

Висновки. Запропоновано підхід до оцінки споживаної системою кондиціонування повітря електроенергії дозволяє швидко і з достатньою для практики точністю отримати важливу характеристику систем вентиляції та кондиціонування повітря, яка є основною статтею експлуатаційних витрат. На підставі отриманої інформації виконується техніко-економічний аналіз і обґрунтування застосування різних варіантів системи кондиціонування повітря для всіх типів будівель.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження спрямовані на застосування даної методики для різних типів об'єктів та систем вентиляції і кондиціонування повітря та розробку рекомендації щодо найбільш доцільних варіантів забезпечення мікроклімату.

Література

1. ДСТУ Б EN 15251:2013. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. – Чинні від 01.01.2013. – Київ: Укрархбудінформ, 2012. – 71 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Укрархбудінформ, 2013. – V, 141 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – Чинні від 01.11.2011. – Київ: Укрархбудінформ, 2011. – IV, 123 с.
4. Липа А. И. Кондиционирование воздуха: теоретические основы / А. И. Липа. – Одесса, ВМВ, 2010. – 607с.
5. Кордюков М.И. Особенности теплообмена в рекуперативных мембранных теплообменниках в летний период./ М. И. Кордюков, В. И. Дешко, И. О. Суходуб // Холодильная техника. – 2014. – № 147 – С. 24-25.
6. Архив погоды в Киеве / Жулянах (аэропорт) [Электронный ресурс] / ООО «Расписание Погоды». – Режим доступа: http://rp5.ua/archive.php?wmo_id=33345&lang=ru. – Заглавие с экрана. – Дата обращения 10.04.2016.

References

1. *Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen dlia proektuvannia ta ocinky en-erhetychnykh kharakterystyk budivel po vidnoshenniu do yakosti povitria, teplovoho komfortu, osvittlennia ta akustyky*. DSTU B EN 15251:2013, Ukrarkhbudinform, 2012.
2. *Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhbudinform, 2013.
3. *Budivelna klimatologiiia*. DSTU-N B V.1.1-27:2010, Ukrarkhbudinform, 2011.
4. Lipa A. I. *Konditsionirovanie vozduha: teoreticheskie osnovy*. BMB, 2015.
5. Kordiukov M.I. "Osobennosti teplomassoobmena v rekuperativnykh membrannykh teploobmennikakh v letnii period." *Kholodilnaia tekhnika*, no.147, 2014, pp.24-25
6. *Arhiv pogody v Kieve / Zhulianakh (aeroporti)*, http://tp5.ua/archive.php?wmo_id=33345&lang=ru. Accessed 10 April 2016.

УДК 697.94

Оценка энергопотребления систем вентиляции и кондиционирования воздуха

М. И. Кордюков¹

¹асист. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, melco@ukr.net

Аннотация. Требования к современным системам кондиционирования воздуха обязательно включают расчёт потребления ими энергии за весь тёплый период. Производители оборудования дают характеристику SEER, которая является индикативной величиной и не отображает фактический расход энергии системой кондиционирования воздуха здания. Реальный расчёт усложняется многовариантностью исходных данных: переменная температура наружного воздуха и относительная влажность, тип системы кондиционирования воздуха, тип системы вентиляции. Предложенный подход к оценке энергопотребления позволяет учесть все эти факторы и получить объективные показатели энергопотребления для сравнения различных вариантов вентиляции и кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: потребление энергии системой кондиционирования воздуха; энергоэффективность системы кондиционирования воздуха; технико-экономическое обоснование системы кондиционирования воздуха; технико-экономический расчёт системы кондиционирования воздуха.

UDC 697.94

Estimation of Energy Consumption of Ventilation and Air Conditioning Systems

M. Kordiukov¹

¹Assistant. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, melco@ukr.net

Abstract. Requirements for modern air conditioning systems must include a calculation of their power consumption for the entire summer. Manufacturer show characteristic SEER, which is an indicative value and does not reflect the actual energy consumption of air conditioning in buildings. The actual calculation is complicated by the multiplicity of input data: variable temperature and humidity of ambient air, the type of air conditioning system, the type of ventilation system. The proposed approach of estimation of the energy consumption takes into account all of these factors and provides objective indicators of energy consumption to compare different alternative designs of air conditioning.

Keywords: energy consumption of air conditioning system; energy efficiency of air conditioning systems; calculation energy consumption of air conditioning system.

Надійшла до редакції 27 квітня 2016 р.