
УДК 697.94

Задоянний Олександр Васильович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції,

ORCID: 0000-0001-6781-9756

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Євдокименко Юрій Миколайович

Аспірант кафедри теплогазопостачання і вентиляції, ORCID: 0000-0002-1697-0816

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ПРОЦЕСУ ПОВІТРООБМІНУ В ПРИМІЩЕННІ**

***Анотація.** В роботі подано результати теоретичних досліджень щодо особливостей складання ексергетичних балансів для визначення ефективності повітрообміну в кондиціонованих приміщеннях. Наведено ексергетичні баланси для основних характерних процесів повітрообміну для теплого й холодного розрахункових періодів року та залежності для визначення ексергетичної ефективності повітрообміну.*

***Ключові слова.** Системи кондиціонування повітря; ексергетичний аналіз; повітрообмін в приміщеннях; ексергетичні баланси основних потоків; коефіцієнти ексергетичної ефективності повітрообміну.*

Постановка проблеми

Системи забезпечення мікроклімату в великих комерційних й промислових будівлях є найбільшими споживачами енергії, частка якої за даними [1] сягає 70%. Серед них домінують системи кондиціонування повітря (СКП). Технічні принципи енергозбереження з визначення кількості енергії відповідно до основної вимоги «економія енергії» згідно з [2] передбачають визначення коефіцієнта корисної дії при проектуванні й експлуатації СКП. Відповідний показник має бути присутнім й в паспорті обладнання, яке забезпечує мікроклімат приміщень в будівлях і спорудах. Крім того до технічних принципів енергозбереження відносяться фактори споживання енергії будівлями (приміщеннями як складовими елементами будівлі) – енергетичні потреби. Енергетичні потреби окремих приміщень і будівлі в цілому обумовлюють відповідну продуктивність і, як наслідок, - енерговитрати обладнанням, яке задовольняє ці потреби. Співвідношення енергетичних потреб приміщення та енергоспоживання відповідним обладнанням для створення й підтримки мікроклімату певною мірою характеризує клас енергоспоживання об'єкту [3]. Однак забезпечення енергопотреб приміщення в багатьох випадках не може бути цілком адекватним до відповідної розрахункової продуктивності. Наприклад неправильне розташування опалювальних приладів,

або невірно вибрана схема повітророзподілення [4] не забезпечують з одного боку розрахункові (комфортні) параметри мікроклімату, а з іншого – потребують більших енерговитрат ніж за розрахунками енергоспоживання. З цієї точки зору показник енергоспоживання за оцінкою [3] не може бути єдиним для коректної оцінки енергоощадності будівлі, або він, як це вказано в нормативах за посиланням, характеризує лише ступінь енергоспоживання.

В роботі [5] нами показано структуру СКП в якій приміщення, що обслуговується, є структурним елементом системи. Структура сформована відповідно до базових понять, які вимагає загальна теорія ексергоекономічного аналізу, – за принципом функціональної єдності та зв'язку елементів системи [6]. Якщо розглядати приміщення будівлі як такий самий функціональний елемент, в якому здійснюється певний термодинамічний процес, як в елементах і обладнанні для нагрівання, охолодження, зволоження й осушення повітря, як робочого тіла, то цілком логічно буде оцінювати цей процес універсальним й коректним показником – коефіцієнтом корисної дії [6]. Даний показник разом із питомим значенням енергоспоживання значно збільшить інформацію щодо енергоощадності процесу повітрообміну приміщення, будівлі, споруди тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [7] наведено розрахунки ексергетичної ефективності СКП в цілому без деталізованого аналізу системи по окремих функціональних елементах і приміщення тощо. За корисну ексергію прийнято деструкцію ексергії повітря в приміщенні. В роботі [8] ексергетичний аналіз СКП проведено без урахування деструкції ексергії повітря в приміщенні і без урахування складових ексергії повітря – механічної й вологісної. В роботі [9] наведено результати досліджень вентиляційної установки з рекуператором теплоти викидного повітря без аналізу вентиляційного процесу в приміщенні. В роботі [10] нами показана можливість аналітичної оцінки ексергетичної ефективності повітрообміну в кондиціонованому приміщенні як загальної, так і по окремих складових ексергії вологого повітря. На підставі балансових ексергетичних рівнянь було розраховано ексергетичні коефіцієнти корисної дії для теплового й холодного розрахункових періодів й подано його графічні залежності від зовнішньої температури.

Формулювання мети статті

Метою статті є представлення окремих методичних положень щодо визначення ефективності повітрообміну в кондиціонованих приміщеннях із застосуванням ексергетичної теорії. Наведені раніше результати досліджень [10] не повною мірою відображають особливості складання балансових рівнянь й відповідних розрахункових залежностей з визначення ексергетичної ефективності повітрообміну. Методологічна сторона в даній роботі більш ретельно й аргументовано доведена.

Виклад основного матеріалу

При розрахунках повітрообміну в кондиціонованих приміщеннях враховують максимальні надходження вологи й теплоти. Процес асиміляції вологи й теплоти в цьому випадку для теплового періоду року наведено на рис.1. Кутівий коефіцієнт променю процесу буде в межах $+\infty \dots 2,5$ кДж/г, тобто напрямок процесу буде в бік зменшення ексергії вентиляційного повітря.

Виходячи з цього відповідне балансове рівняння ексергії буде мати вигляд:

$$E^{in} - E^{ex} - E^{out} - E^d = 0 \quad (1)$$

де $E^{in}, E^{ex}, E^{out}, E^d$ - відповідно - ексергія припливного повітря, ексергія надлишкова, ексергія

повітря, яке видаляється та ексергія, що втрачена за рахунок незворотності процесу повітрообміну. Слід зауважити, що втрачена ексергія дорівнює ентропії процесу повітрообміну $E^d = S_a$.

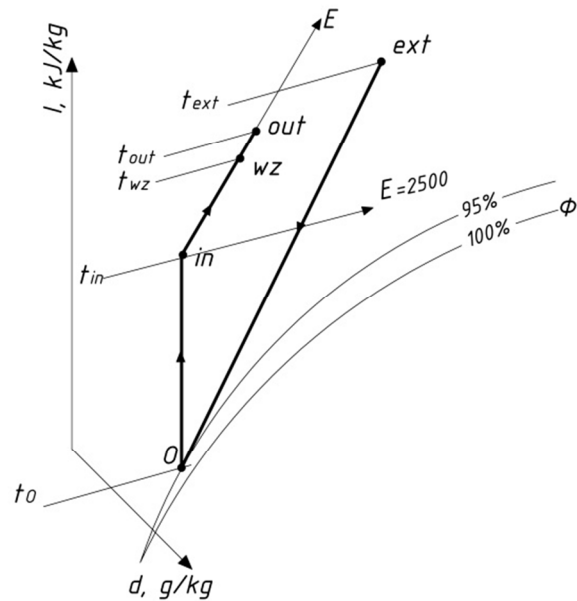


Рисунок 1 – I-d діаграма обробки повітря в теплий період року

В даному випадку надлишкова ексергія E^{ex} має знак «-» тому, що вона в процесі повітрообміну впливає на зменшення ексергії припливного повітря E^{in} . В кінці процесу повітрообміну в витяжних отворах ексергія повітря отримує значення E^{out} .

Повітрообмін в приміщенні слід розглядати як змішування припливного повітря з надлишками речовин, що виділяються в приміщенні. В результаті змішування утворюється суміш речовин в складі повітря, що видаляється. З цього виходить, що загальна ексергетична ефективність характеризує відношення корисного результату змішування - продукту E^{out} до витрат $E^{in} - E^{ex}$ і буде мати вигляд

$$\eta_{e,tot}^{a,s} = \frac{E^{out}}{E^{in} - E^{ex}} \quad (2)$$

При цьому має місце наступна нерівність: $E^{in} > E^{out}$.

В холодний період року (Рис. 2) може бути два основних процеси повітрообміну – зволоження з нагріванням повітря в приміщенні (повітряне опалення, промінь процесу на i-d діаграмі з індексом 1 та асиміляція теплоти і вологи (промінь процесу на i-d діаграмі з індексом 2). В першому випадку значення кутівий коефіцієнт променю процесу буде в межах $2,5 \dots -\infty$ кДж/г, а балансове рівняння ексергії буде мати такий самий вигляд як і (1):

$$E^{in} - E^{ex} - E^{out} - E^d = 0 \quad (3)$$

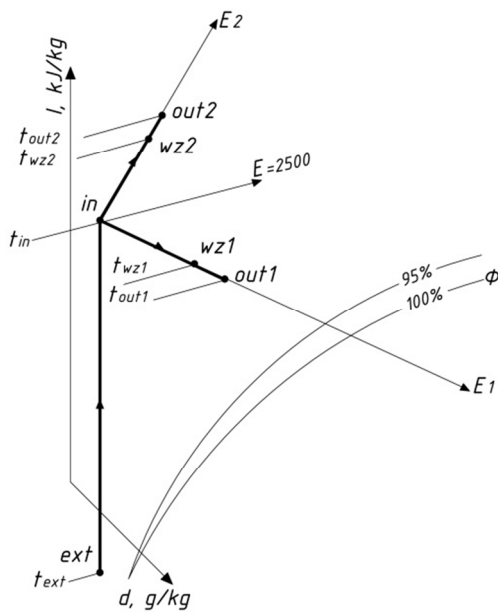


Рисунок 2 – I-d діаграма обробки повітря в холодний період року

Надлишкова ексергія E^{ex} в цьому випадку також буде зменшувати ексергію припливного повітря E^{in} і тому знак її в рівнянні (3) також «-».

Ексергетична ефективність повітрообміну в даному випадку розраховується так само за залежністю (2) і нерівність $E^{in} > E^{out}$ буде мати місце.

У випадку, коли в холодний період року в процесі повітрообміну буде мати місце асиміляція вологи й теплоти, то надлишкова ексергія E^{ex} буде

мати знак «+» тому, що вона буде збільшувати ексергію припливного повітря, а ексергетична ефективність повітрообміну буде визначатись із залежності:

$$\eta_{e,tot}^{a,s} = \frac{E^{out}}{E^{in} + E^{ex}} \quad (4)$$

Ексергія повітря, що видаляється буде більше за ексергію припливного повітря $E^{out} > E^{in}$.

Висновки

Наведені методичні положення дозволяють оцінити значення коефіцієнтів корисної дії повітрообміну для приміщень різного призначення. Застосування ексергетичного методу оцінки повітрообміну в приміщенні дозволяє врахувати якісні термодинамічні перетворення що відбуваються в процесах асиміляції теплоти та вологи.

В роботі показана можливість обчислення ексергетичної ефективності повітрообміну приміщення за універсальними залежностями на основі ексергетичних балансів. Представлені результати мають практичне застосування при розрахунках повітрообміну в приміщенні з урахуванням енергоефективності при кондиціонування повітря.

В подальшому подані положення будуть розвинуто та доповнено методиками розрахунків ексергетичної ефективності для різних способів подачі та видалення повітря.

Література

1. Вишне夫斯基 Е. П. Энергосбережение при проектировании систем микроклимата зданий // Сантехника, Отопление, Кондиционирование (С. О.К.). – 2010. – № 1.
2. ДБН В.1.2-11-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд економія енергії». наказ Мінрегіонбуду України від 26 січня 2008 р. № 36, чинні з 2008-10-01
3. Директива 2010/31/ЄС про енергетичні характеристики (енергетичне функціонування) будівель (EPBD).
4. ПОСОБИЕ 1.91 к СНиП 2.04.05-91 «Расчет и распределение приточного воздуха» Москва 1993. 42 с.
5. Задоянний О.В., Ексергетичні критерії при оцінці енергоощадності систем кондиціонування повітря будівель і споруд; Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплозапобігання.- Вип.17 /відповідальний редактор Е.С.Малкін.- К.: КНУБА.
6. Бродянский В.М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др. Эксергетические расчеты технических систем: Справ.пособие /: Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. АН УССР. Ин-т технической теплофизики.- Киев: Наук. Думка, 1991.- 360 с. – ISBN 5-12-0011397-X.
7. Лабай В.Й., Гарасим Д.І. Стан і перспективи підвищення енергоефективності систем кондиціонування повітря чистих приміщень. Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6. Відповідальний редактор П.М.Куліков.- КНУБА, 2014 р.-364 с.
8. Luigi Marletta. Air Conditioning Systems from a 2-nd Law Perspective // Entropy: мережевий журн. 2010. URL: <http://www.mdpi.com/journal/entropy>. p=860 (дата звернення 12.12.2011);

9. И.О. Суходуб, В.И. Деико. Эксергетический анализ систем вентиляции с утилизацией полной теплоты // Инженерно-строительный журнал.2014. URL: http://engstroy.spbstu.ru/index_2014_02/index_2014_02.html (дата звернення 24.12.2014).

10. О. В. Задоянний, Ю. М. Євдокименко. «Ексергетична ефективність повітрообміну в приміщенні» Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Випуск №8, Київ: 2016. ст. 125-129.

Стаття надійшла в редколегію 04.12.2015

Рецензент: Малкін Е.С., д.т.н, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Задоянний Александр Васильевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры теплогаснабження и вентиляции, ORCID: 0000-0001-6781-9756
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Евдокименко Юрий Николаевич

Аспирант кафедры теплогаснабження и вентиляции, ORCID: 0000-0002-1697-0816
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВОЗДУХООБМЕН
В ПОМЕЩЕНИИ**

Аннотация. В работе представлены результаты теоретических исследований об особенностях составления эксергетической балансов для определения эффективности воздухообмена в кондиционированных помещениях. Приведены эксергетической балансы для основных отличительных процессов воздухообмена для теплого и холодного расчетных периодов года и зависимости для определения эксергетической эффективности воздухообмена.

Ключевые слова. Система кондиционирования воздуха; эксергетический анализ; воздухообмен в помещениях; эксергетический баланс основного потока; эксергетическая эффективность воздухообмена.

Zadoyanni Alexander

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, ORCID: 0000-0001-6781-9756

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

Evdokimenko Yuri

Post-graduate student of the department of heat and gas supply and ventilation, ORCID: 0000-0002-1697-0816

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

**PECULIARITIES OF DETERMINING THE EXERGENCY EFFICIENCY OF THE PROCESS OF AIR EXCHANGES
IN THE ROOM**

Annotation. The paper presents the results of theoretical studies on the features of compiling exergetic balances for determining the efficiency of air exchange in conditioned rooms. Exergetic balances are provided for the main distinctive air exchange processes for the warm and cold calculation periods of the year and the dependence for determining the exergy efficiency of air exchange.

Keywords. Air conditioning system; Exergy analysis; Air exchange in premises; Exergic balance of the main flow; exergy efficiency of air exchange.