

DOI: 10.32347/2076-815x.2024.86.272-283

УДК 697.94

к.т.н, доцент **Задоянний О.В.**,
zadoiannyi.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6781-9756,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
к.т.н, **Євдокименко Ю.М.**,
bonnesante91@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1697-0816,
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Бест клімат технології», м. Київ

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ АДІАБАТНОГО ТА ІЗОТЕРМІЧНОГО ЗВОЛОЖЕННЯ В ПРЯМОТОКОВІЙ ЦЕНТРАЛЬНІЙ СИСТЕМІ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Центральні системи кондиціонування повітря будівель і споруд є суттєвими споживачами електричної та теплової енергії різного температурного рівня і за показником енергоспоживання є найменш ощадними. При проектуванні цих систем не завжди приділяють належну увагу оцінці ступеню їх енергоефективності та не проводять варіантне проектування з порівнянням відповідних показників. Цьому бракує наявності апробованих інженерних методик. Ексергетичний метод аналізу енергоспоживаючих систем забезпечує коректну чисельну оцінку енергоефективності та дає можливість порівняльного аналізу схемних рішень та елементів систем. Його поширення не набуло статусу практичного інженерного забезпечення. У даній статті наведено приклад ексергетичного аналізу за оригінальною методологією при порівнянні способів зволоження повітря в центральній системі для громадської будівлі з метою вибору найліпшого за показниками енергоефективності способу. Результати аналітичних досліджень подано у вигляді відносних значень ексергетичної ефективності – ексергетичного коефіцієнта корисної дії та питомих значень ексергії повітря. Алгоритм послідовного чисельного ексергетичного аналізу, використаний в статті, показує коректні результати, а ексергетичний коефіцієнт корисної дії є по суті аналогом енергетичного коефіцієнта корисної дії і може бути використаний для задоволення вимог будівельних стандартів.

Ключові слова: центральні системи кондиціонування повітря; ізотермічне та адіабатне зволоження повітря; ексергетичний метод аналізу; ексергетичний коефіцієнт корисної дії.

Постановка проблеми. В умовах енергетичної кризи особливу увагу варто приділяти інженерним системам підтримки мікроклімату в будівельних об'єктах. Будівельні об'єкти різного призначення є кінцевими цілодобовими споживачами теплової та електричної енергії. В структурі енергоспоживання будівельними об'єктами особливе місце займають громадські будівлі – торговельні центри, кіноконцертні зали, офісні центри, спортивні споруди закритого типу, заклади громадського харчування та інші, в яких мікроклімат підтримують центральні системи кондиціонування повітря – ЦСКП. Крім громадських будівель ЦСКП застосовують в промисловості – харчовій, радіоелектронній, дата центрах, легкій промисловості та інших. ЦСКП за видами енергії та їх обсягами є домінуючими з усіх інженерних систем створення й підтримки мікроклімату приміщень.

Центральні системи кондиціонування повітря споживають енергоресурси в обсязі, який закладено в проектних рішеннях та відповідає вимогам щодо комфортних, або технологічних параметрів повітря і в першу чергу рекомендаціям фірм-виробників відповідного обладнання. Для забезпечення вказаних параметрів в СКП здійснюють такі основні термодинамічні процеси як охолодження, нагрівання, зволоження та осушення повітря. Вказані процеси здійснюють в обладнанні, з якого складаються ЦСКП в заданій комплектації й послідовності обробки повітря.

Одним з основних процесів обробки повітря в холодний період року в ЦСКП є його зволоження. Зволоженням разом із нагріванням параметри повітря доводять до значень припливного перед подачею в кондиціоноване приміщення. В практиці кондиціонування повітря використовують два усталених способи зволоження повітря й відповідне ним технологічне обладнання - ізотермічне та адіабатне зволоження. Конструкції та принцип дії вказаних зволожувачів детально розглянуто в підручниках та навчальних посібниках з кондиціонування повітря [1,2]. Ефективність процесу зволоження повітря в обох випадках достатня для досягнення потрібних значень вологовмісту і не викликає особливого сумніву щодо застосування за прямим призначенням. Однак обладнання для здійснення вказаного процесу суттєво відрізняється за габаритними розмірами на користь більш компактного ізотермічного способу і в багатьох випадках цей фактор стає впливовим при виборі схемного рішення ЦСКП.

З огляду на орієнтацію енергетичного сектору України на скорочення енергоспоживання при експлуатації будівель і споруд нагальним є питання застосування енергоощадних технологій інженерних систем із забезпечення мікроклімату в будівлях. Стосовно вказаних способів зволоження повітря постає питання вибору менш енерговитратного. Слід додати, що державні

будівельні норми встановлюють вимоги щодо технічних рішень з енергозбереження [3]. Ними передбачено оцінювання характеристик обладнання з нагрівання, охолодження та зволоження повітря (також осушення повітря) *коефіцієнтом корисної дії*.

На сьогодні не існує відповідної коректної методики з обчислення *коефіцієнта корисної дії* для установок та функціональних елементів ЦСКП з урахуванням всіх видів енергії, які вони споживають. Тому обчислення коефіцієнта корисної дії для обладнання ЦСКП є проблемним методологічним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні публікації з результатами досліджень питань оцінки показників енергоощадної роботи ЦСКП показують доцільність використання методів нерівноважної термодинаміки, які в якості відносного показника термодинамічної досконалості системи оперують *ексергетичним коефіцієнтом корисної дії* - ЕККД. Доцільність ексергетичного методу при дослідженні енергоперетворюючих систем, до яких відносяться й ЦСКП, доведена в класичній літературі з нерівноважної термодинаміки [3]. Наприклад в роботі [5] при оцінці термодинамічної досконалості ЦСКП «чистого» приміщення застосовано ексергетичний метод й визначено ЕККД для системи в цілому. Автори отримали значення ЕККД для системи в залежності від різниці температур внутрішнього й зовнішнього повітря та вологовмісту у вигляді емпіричних рівнянь. В роботі [6] наведено результати досліджень традиційних для клімату Італії систем кондиціонування повітря з визначенням ЕККД для декількох схемних рішень систем. Результати цієї роботи нам вбачаються не зовсім коректними, так як наведені значення підрахованих ЕККД для процесу нагрівання (Re- heating) менше нуля.

В наших попередніх роботах [7] на прикладі ЦСКП офісних приміщень було показано, що визначення ЕККД доцільно проводити на основі алгоритму, який передбачає складання балансових рівнянь масових, енергетичних та ексергетичних потоків. Вказані балансові рівняння складають для попередньо розробленої термодинамічної моделі з визначеною границею контуру об'єкта. Такий алгоритм дає можливість визначити ексергетичні потоки, які пересікають умовну границю об'єкта, диференціювати ці потоки на «корисні» й «витратні» і на їх основі визначити ЕККД як відношення «корисних» до «витратних». Слід додати, що ЕККД є по суті аналогом енергетичного ККД [8].

Формулювання цілей та завдання статті. В даній роботі показано застосування ексергетичного методу для визначення показників термодинамічної досконалості (ступеню енергоощадності) й порівняння за цим критерієм двох способів зволоження повітря на прикладі прямотокової ЦСКП

для холодного періоду року в Києві. Ціллю статі є отримання результатів порівняльних розрахунків термодинамічної досконалості двох способів зволоження повітря за оригінальним алгоритмом застосування ексергетичного методу.

Завдання даної статті – провести порівняльний ексергетичний аналіз з визначенням термодинамічної досконалості двох способів зволоження повітря в ЦСКП для холодного періоду року та умов Києва.

Основна частина. Загальні положення методології з визначення ЕККД для ЦСКП викладені авторами статті в роботах [7]. Сутність її полягає в визначенні для системи всіх наявних ексергетичних потоків, диференціації їх на «корисні» й «витратні» і на цій підставі проведенні обрахунку ЕККД. Крім визначення ЕККД методологія передбачає обчислення питомих та абсолютних показників термодинамічної досконалості системи.

Алгоритм вказаних дій передбачає наступні кроки:

- побудова термодинамічної моделі об'єкту дослідження з визначенням його границі;
- визначення матеріальних та енергетичних потоків на границі системи;
- визначення видів ексергії, які мають місце в системі й впливають безпосередньо на систему;
- визначення нульових параметрів навколишнього середовища – температури, ентальпії, атмосферного тиску та вологовмісту повітря;
- визначення ексергетичних потоків, що діють на систему;
- диференціація ексергетичних потоків на «корисні» та «витратні»;
- складання балансових рівнянь матеріальних, енергетичних та ексергетичних потоків системи й визначення їх значень;
- визначення абсолютних та питомих значень втрат та деструкції ексергетичних потоків;
- обчислення ЕККД.

Такі самі дії за необхідності проводять для окремих складових ексергії повітря та енергоносіїв – термічної, механічної та хімічної.

Психрометрична діаграма обробки повітря для прямотокової системи з адіабатним зволоженням повітря для холодного періоду року представлена на рис.1.

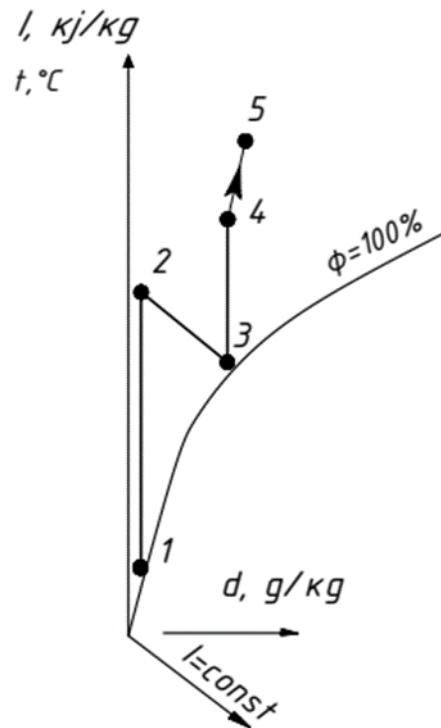


Рис.1. Психрометрична діаграма обробки повітря в прямокутній ЦСКП із адіабатним зволоженням для холодного періоду року ; процеси 1-2 – нагрівання; 2-3 – адіабатне зволоження; 3-4 – другий підігрів; 4-5 – процес повітрообміну в приміщенні

Значення параметрів повітря в характерних точках при обробці його в ЦСКП з адіабатним зволоженням в холодний період наведено в табл.1.

Таблиця 1

Параметри повітря в характерних точках процесу
в ЦСКП з адіабатним зволоженням

| № з.п. | Стан повітря в ЦСКП | Параметри повітря | | |
|--------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | Температура, °С | Ентальпія, кДж/кг | Вологовміст, г/кг |
| 1 | Зовнішнє повітря | -22 | -22 | 0,2 |
| 2 | Повітря після першого підігріву | 26 | 26 | 0,2 |
| 3 | Повітря після зволоження | 8,5 | 26 | 7,2 |
| 4 | Повітря після другого підігріву | 19,5 | 37,5 | 7,2 |

Схематичне зображення термодинамічної моделі прямокутної ЦСКП з адіабатним зволоженням для холодного періоду року, відповідної психрометричній діаграмі, що на рис.1, представлена на рис.2.

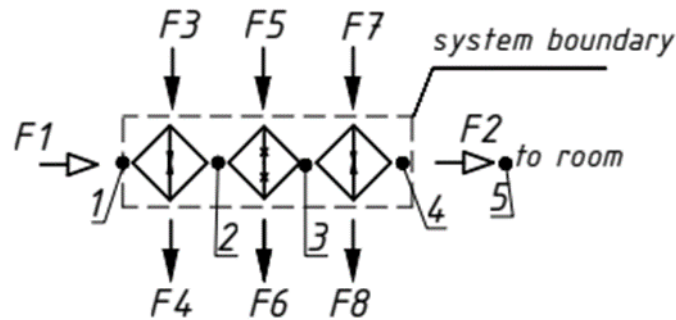


Рис.2. Термодинамічна модель прямотокової ЦСКП з адіабатним зволоженням (точки 1,2,3,4,5 – відповідають стану повітря на діаграмі рис.1); ексергетичні потоки: $F1$ – зовнішнє повітря, $F2$ – припливне повітря; $F3, F4$ – прямий та зворотній теплоносій першого підігріву; $F5, F6$ – пряма та зворотна вода адіабатного зволоження; $F7, F8$ – прямий та зворотній теплоносій другого підігріву

Для термодинамічної моделі, що на рис.2, корисним ефектом є зміна ексергетичних потенціалів основного повітря $Ex1 - Ex2 = \Delta Ex1-2 = |Ex1 - Ex2|$. Зміна ексергетичних потенціалів витратних потоків буде $|Ex3 - Ex4|$ - для теплоносія першого підігріву, $|Ex5 - Ex6|$ - для зрошувальної води, $|Ex7 - Ex8|$ - для теплоносія другого підігріву.

Значення ексергетичних потенціалів та їх зміна в процесі обробки повітря в ЦСКП із адіабатним зволоженням підраховані за відомими залежностями для вологого повітря та рідини [3] і представлені в табл.1.

Таблиця 1

Значення ексергетичних потенціалів при обробці повітря в ЦСКП із адіабатним зволоженням

| № з.п. | Найменування ексергетичного потоку | Ексергія, кДж/с | |
|--------|---|-----------------|--------------------------------------|
| | | Потоку | Зміна потенціалів потоків (абс.знач) |
| 1 | Зовнішнє повітря, $Ex1$ | 0 | 18,15 |
| 2 | Припливне повітря, $Ex2$ | 18,15 | |
| 3 | Прямий теплоносій першого підігріву, $Ex3$ | 174,04 | 65,67 |
| 4 | Зворотний теплоносій першого підігріву, $Ex4$ | 108,37 | |
| 5 | Пряма вода на зрошення, $Ex5$ | 44,52 | 2,02 |
| 6 | Зворотна вода (циркуляційна), $Ex6$ | 42,50 | |
| 7 | Прямий теплоносій другого підігріву, $Ex7$ | 54,23 | 22,34 |
| 8 | Зворотний теплоносій другого підігріву, $Ex8$ | 31,89 | |

Балансове рівняння ексергетичних потоків для ЦСКП з адіабатним зволоженням з урахуванням втрат ексергії ExD має вигляд:

$$Ex1 + Ex3 + Ex5 + Ex7 = Ex2 + Ex4 + Ex6 + Ex8 + ExD, \text{ кДж/с} \quad (1)$$

Ексергетичний коефіцієнт корисної дії для ЦСКП із адіабатним зволоженням визначають із залежності:

$$ЕККД = \frac{|Ex1 - Ex2|}{|Ex3 - Ex4 + Ex5 - Ex6 + Ex7 - Ex8|} \quad (2)$$

Психрометрична діаграма обробки повітря для прямотокової системи з ізотермічним зволоженням повітря перегрітою парою для холодного періоду року представлена на рис.3.

Відміна вказаного процесу від адіабатного зволоження полягає в тому, що процес зволоження проходить по лінії постійного значення температури і відсутній другий підігрів повітря перед подачею в приміщення.

Параметри повітря в характерних точках процесів при обробці його в ЦСКП з ізотермічним зволоженням перегрітою парою в холодний період наведено в табл.2.

Схематичне зображення термодинамічної моделі для варіанту ізотермічного зволоження перегрітою парою представлено на рис.4.

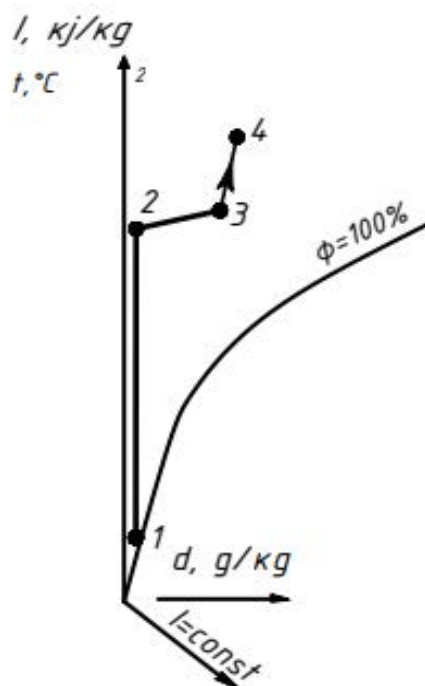


Рис.3. Психрометрична діаграма обробки повітря в прямотоковій ЦСКП для холодного періоду року з ізотермічним зволоженням повітря перегрітою парою; процеси 1-2 – нагрівання; 2-3 – ізотермічне зволоження; 3-4 – процес повітрообміну в приміщенні

Таблиця 2

Параметри повітря в характерних точках процесу
в ЦСКП з ізотермічним зволоженням перегрітою парою

| № з.п. | Стан повітря в ЦСКП | Параметри повітря | | |
|--------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | Температура, °С | Ентальпія, кДж/кг | Вологовміст, г/кг |
| 1 | Зовнішнє повітря | -22 | -22 | 0,2 |
| 2 | Повітря після першого підігріву | 19,5 | 19,1 | 0,2 |
| 3 | Повітря після зволоження | 19,5 | 37,5 | 7,2 |

Балансове рівняння ексергетичних потоків для ЦСКП з ізотермічним зволоженням перегрітою парою з урахуванням ексергетичних втрат ExD має вигляд:

$$Ex1 + Ex3 + Ex5 = Ex2 + Ex4 + ExD, \text{ кДж/с} \quad (3)$$

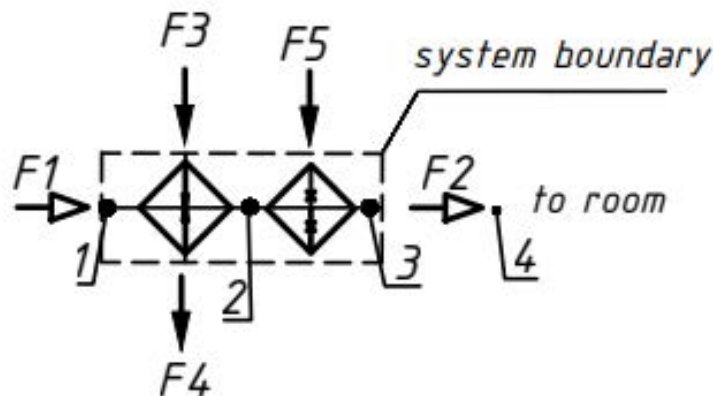


Рис.4. Термодинамічна модель прямоотокової ЦСКП з ізотермічним зволоженням перегрітою парою (точки 1,2,3,4 відповідають стану повітря на діаграмі рис.3); ексергетичні потоки:

$F1$ – зовнішнє повітря, $F2$ – припливне повітря; $F3$, $F4$ – потоки прямого та зворотного теплоносія першого підігріву; $F5$ – потік перегрітої пари

Для варіанту ізотермічного зволоження повітря перегрітою парою, термодинамічна модель якого зображена на рис.4, корисним ефектом є зміна ексергетичних потенціалів основного повітря $Ex1 - Ex2 = \Delta Ex1-2 = |Ex1 - Ex2|$. Ексергетичними витратами є зміна потенціалів теплоносія першого підігріву $|Ex3 - Ex4|$, та $Ex5$ – ексергетичний потік перегрітої пари, яка повністю потрапляє в повітря.

Значення ексергетичних потенціалів та їх зміна в процесі обробки повітря в ЦСКП з ізотермічним зволоженням представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення ексергетичних потенціалів при обробці повітря в ЦСКП з ізотермічним зволоженням перегрітою парою

| № з.п. | Найменування ексергетичного потоку | Ексергія, кДж/с | |
|--------|---|-----------------|---------------------------|
| | | Потоку | Зміни потенціалів потоків |
| 1 | Зовнішнє повітря, $Ex1$ | 0 | 18,15 |
| 2 | Припливне повітря, $Ex2$ | 18,15 | |
| 3 | Прямий теплоносій першого підігріву, $Ex3$ | 211,80 | 65,67 |
| 4 | Зворотний теплоносій першого підігріву, $Ex4$ | 57,20 | |
| 5 | Перегріта пара на зволоження, $Ex5$ | 95,50 | 95,50 |

Ексергетичний коефіцієнт корисної дії для варіанту ізотермічного зволоження перегрітою парою визначено за наступною формулою:

$$ЕККД = \frac{|Ex1 - Ex2|}{|Ex3 - Ex4 + Ex5|} \quad (4)$$

Результати проведених розрахунків наведено в таб.4.

Таблиця 4

Результати ексергетичних розрахунків

| № з.п. | Результати розрахунку | Спосіб зволоження | |
|--------|----------------------------------|-------------------|------------|
| | | парою | адіабатний |
| 1 | ЕККД, % | 7,26 | 20,16 |
| 2 | Корисні ексергетичні потоки, кВт | 18,15 | 18,15 |
| 3 | Ексергетичні втрати, кВт | 231,96 | 71,87 |
| 4 | Ексергетичні витрати, кВт | 250,11 | 90,02 |
| 5 | Втрати/витрати | 0,93 | 0,80 |
| 6 | Питомі витрати, кДж/кг | 73,20 | 26,35 |
| 7 | Питомі втрати, кДж/кг | 67,89 | 21,04 |
| 8 | Питома корисна ексергія, кДж/кг | 5,31 | 5,31 |

При визначенні корисного ефекту обробки повітря умови для обох варіантів було взято однаковими. Питомі показники враховано на одиницю маси основного повітря системи.

Результати ексергетичного аналізу показують, що ЕККД варіанту зволоження повітря перегрітою парою майже втричі менше за адіабатний спосіб зволоження. Ексергетичні втрати так само майже втричі менше в

варіанті з адіабатним зволоженням. Приблизно в такому саме співвідношенні знаходяться інші показники – питомі витрати та витрати й абсолютні витрати.

Висновки. Застосування ексергетичного методу для дослідження центральних систем кондиціонування повітря за наведеним алгоритмом показує коректні результати. Обчислені абсолютні та відносні значення показників співвідносяться приблизно в одній пропорції, що свідчить про коректність отриманих результатів. Застосований при розрахунках алгоритм обчислення показників термодинамічної досконалості може бути корисним при виборі енергоощадного варіанту обробки повітря в ЦСКП.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження слід продовжити для інших способів обробки повітря та варіантів компоновки обладнання ЦСКП та вентиляційного устаткування. Крім того варто поглибити ексергетичний аналіз ЦСКП визначенням ефективності по складових ексергетичних потоків – термічній, механічній та хімічній. Запропонований алгоритм обчислень показників ексергетичного аналізу потрібно доповнити урахуванням вартості енергетичних потоків.

Використана література

1. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. Изд. второе, перераб., доп., Одесса: ОГАХ, Издательство: «Издательство ВМВ», 2010. - 607 с., ил.
2. Росковшенко Ю.К. Центральні системи кондиціонування повітря. – ІВНВКП «Укреліотех», 2008. – 216 с.
3. Бродянский В.М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др. Эксергетические расчеты технических систем: Справ.пособие АН УССР. Ин-т технической теплофизики.- Киев: Наук. Думка, 1991.- 360 с. – ISBN 5-12-0011397-X.
4. ДБН В.1.2-11-2021. Енергозбереження та енергоефективність. Основні вимоги до будівель і споруд. – Чинні від 01.09.2022 р.– Київ: Мінрегіонбуд України, 2022. – 21 с.
5. 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.
6. Luigi Marletta. Air Conditioning Systems from a 2-nd Law Perspective // Entropy: мережевий журн. 2010. URL: [http:// www.mdpi.com/journal/entropy](http://www.mdpi.com/journal/entropy). p=860. (дата звернення 12.12.2011);
7. Задоянний О.В. Порівняльний ексергетичний аналіз пристроїв із створення мікроклімату офісних приміщень / О. В.Задоянний, О.О. Товстограй

// Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – Випуск 28. – Київ: КНУБА, 2019. – С.17-27. – Режим доступу:

http://www.vothp.org.ua/PDF/28/VOTHP_2019_28_05.pdf.

8. Ratlamwala T.A.H. Efficiency assessment of key psychometric processes / T.A.H. Ratlamwala, I. Dincer // International Journal of Refrigeration. – 2013. – Vol. 36. – Iss. 3. – P. 1142-1153.

<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.10.038>.

Zadoiannyi Oleksandr,

Kyiv National University of construction and architecture,

Yevdokimenko Yurii,

LIMITED LIABILITY COMPANY «Best climate technology», Kyiv, Ukraine

COMPARATIVE EXERGY ANALYSIS OF ADIABATIC AND ISOTHERMAL HUMIDIFICATION IN A DIRECT-FLOW CENTRAL AIR CONDITIONING SYSTEM

Central air conditioning systems of buildings and structures are significant consumers of electric and thermal energy of different temperature levels and are the least economical in terms of energy consumption. When designing these systems, due attention is not always paid to assessing their energy efficiency and no variant design is carried out with a comparison of the relevant indicators. This is due to the lack of proven engineering methods. The exergy method of analysing energy-consuming systems provides a correct numerical assessment of energy efficiency and enables a comparative analysis of circuit solutions and system elements. In contrast to the energy method, the peculiarity of the exergy method in relation to air conditioning systems is the possibility of taking into account all available mass and energy flows in the system in exergy units. The extension of the exergy method to systems for creating and maintaining a microclimate in buildings and structures has not yet acquired the status of practical engineering support. This article presents an example of an exergy analysis based on the original methodology for comparing methods of humidification in a central air conditioning system for a public building in order to select the best method in terms of energy efficiency. Two traditional methods of air humidification for the cold season - adiabatic and isothermal - were used for the study and comparison. The results of analytical studies are presented in the form of relative values of exergy.

Key words: public buildings; central air conditioning systems; isothermal and adiabatic humidification; energy efficiency; exergy analysis method; comparative calculations of methods; exergy efficiency.

REFERENCES

1. Lupa A.Y. Kondytsyonyrovanye vozdukha. Osnovy teoryy. Sovremennyye tekhnolohyy obrabotky vozdukha. Yzd. vtoroe, pererab., dop., Odessa: OHAKh, Yzdatelstvo: «Yzdatelstvo VMV», 2010. - 607 s., yl. {in Russian}
2. Roskovshenko Yu.K. Tsentralni systemy kondytsionuvannia povitria. – IVNVKP «Ukrheliotekh», 2008. – 216 s. {in Ukrainian}
3. Brodianskyi V.M., Verkhyvker H.P., Karchev Ya.Ia. y dr. Эксерхетыческие расчёты техныческихкх system: Sprav.posobye AN USSR. Yn-t tekhnicheskoi teplofyziky.- Kyev: Nauk. Dumka, 1991.- 360 s. – ISBN 5-12-0011397-X. {in Russian}
4. DBN V.1.2-11-2021. Enerhozberezhennia ta enerhoefektyvnist. Osnovni vymohy do budivel i sporud. – Chynni vid 01.09.2022 r.– Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2022. – 21 s. {in Ukrainian}
5. Labai V.I., Harasym D.I. Stan i perspektyvy pidvyschennia enerhoefektyvnosti system kondytsiiuvannia povitria chystykh prymishchen. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi». Vypusk 6. Vidpovidalnyi redaktor P.M.Kulikov. - KNUBA, 2014 r. - 364 s. {in Ukrainian}
6. Luigi Marletta. Air Conditioning Systems from a 2-nd Law Perspective // Entropy: merezhevyi zhurn. 2010. URL: [http:// www.mdpi.com/journal/entropy.p=860](http://www.mdpi.com/journal/entropy.p=860). (data zvernennia 12.12.2011). {in English}
7. Zadoiannyi O.V. Porivnialnyi ekserhetychnyi analiz prystroiv iz stvorennia mikroklimatu ofisnykh prymishchen / O.V. Zadoiannyi, O.O. Tovstohrai // Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohazopostachannia. – Vypusk 28. – Kyiv: KNUBA, 2019. – S.17-27. – Rezhym dostupu: http://www.vothp.org.ua/PDF/28/VOTHP_2019_28_05.pdf. {in Ukrainian}
9. Ratlamwala T.A.H. Efficiency assessment of key psychometric processes / T.A.H. Ratlamwala, I. Dincer // International Journal of Refrigeration. – 2013. – Vol. 36. – Iss. 3. – P. 1142-1153. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.10.038>. {in English}