
УДК 697.94

Задоянний Олександр Васильович

Кандидат технічних наук, доцент, 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

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ЗАДОВОЛЕННЯ ОСНОВНОЇ ВИМОГИ "ЕКОНОМІЯ ЕНЕРГІЇ"

***Анотація.** В роботі подано авторське бачення вирішення методологічної проблеми визначення основного показника енергоощадності обладнання для нагрівання, охолодження, осушення й зволоження повітря будівельних об'єктів – коефіцієнта корисної дії. На прикладі результатів наукових досліджень, які проводяться кафедрою ТГПіВ в останні роки з оцінки показників енергоощадності систем кондиціонування повітря (СКП), аргументовано доводиться коректність і однозначність запропонованої методології визначення вказаного показника для найбільш енергоємних систем кондиціонування повітря. Методологія оцінки коефіцієнта корисної дії вказаного обладнання й систем базується на фундаментальних досягненнях сучасної нерівноважної термодинаміки та ексергоекономіки. В основу методології покладено принципи поглибленого ексергетичного аналізу, який дозволяє досліджувати й оцінювати чисельно ексергетичні перетворення робочих тіл – енергоносіїв систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря. Завдяки цьому автори отримали і відпрацювали методологічну базу у вигляді аналітичних залежностей та розрахункових алгоритмів з визначення ексергетичних потоків у вказаних системах, а також відносних і абсолютних показників енергоощадності СКП. Наведені результати досліджень автори пропонують для апробації й розробки національних гармонізованих методик.*

***Ключові слова.** Основна вимога «економія енергії»; методологія визначення показників енергоощадності; ексергетичний аналіз; ексергетичний коефіцієнт корисної дії; ексергетична ефективність.*

Постановка проблеми

Для зниження енергоспоживання будівельними об'єктами державні будівельні норми рекомендують виконання основної вимоги "економія енергії" з урахуванням кліматичних умов, місцезнаходження об'єкта та його призначення [1]. В нормах враховано положення тлумачних документів основних вимог до будівель і споруд Директиви Ради 89/106 /ЄС від 21 грудня 1988 р. щодо зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів стосовно будівельних виробів.

Згідно з вказаними вище нормами основна вимога «економія енергії» повинна бути забезпечена виконанням технічних принципів енергозбереження (п.5.2.3) в частині визначення кількості енергії, необхідної для «нагрівання, охолодження і регулювання вологості приміщень»

на підставі коефіцієнта корисної дії установок нагрівання, кондиціонування повітря і зволоження.

Крім того вказаний показник – коефіцієнт корисної дії установок і приладів для підтримки мікроклімату приміщень відповідно до зазначених норм повинен використовуватись на всіх етапах створення будівельного об'єкту: проектуванні, будівництві й експлуатації. Відповідні вимоги викладено в розділах 5.2.3, 5.2.4, 6.2.4, 6.3.4 вказаного нормативного документу.

Так само ДСТУ Б А.2.2-8:2010 «Розділ «Енергоефективність» у складі проектної документації об'єктів» також вимагає виконання основної вимоги "економія енергії" в складі проектної документації.

Відповідно до п. 5.2 .3 [1], який регламентує технічні принципи енергозбереження, показник «коефіцієнт корисної дії» приладів та установок для

нагрівання, охолодження, зволоження та осушення повітря фігурує в понятті «ефективність» роботи зазначених установок.

В сучасних будівлях вказане вище обладнання домінує за показниками споживання загальної енергії, що за деякими оцінками сягає 70% [2].

Разом з цим в базі будівельних стандартів України відсутня затверджена в установленому порядку й гармонізована методологія з визначення вказаного показника енергоощадності – коефіцієнта корисної дії як для складових елементів так і для систем підтримки мікроклімату приміщень й відповідного інженерного обладнання будівель і споруд.

Вказані обставини дозволяють зробити висновки, що із реалізацією вимоги «економія енергії» існує методологічна проблема, яка потребує скорішого вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останніх роботах, проведених авторами, на прикладі реалізованих проектних рішень проведено детальні дослідження з можливості оцінки енергоощадності СКП сучасними методами ексергоекономічного аналізу. Так в роботі [3] вперше подано аналіз ексергетичних потоків складових ексергії вологого повітря в СКП з метою оцінки деструкції ексергії, що дало можливість виділити й визначити «корисну» та «витратну» складові, які є єдиними і необхідними величинами для обрахування ексергетичного коефіцієнту корисної дії (ЕККД).

Методи ексергетичної теорії, як відомо з багатьох джерел [4], [5], використовують в дослідженнях різних за структурою та призначенням технічних систем з метою оцінки перетворення всіх видів енергії. Фундаментальні роботи відпрацьовано й реалізовано в різних галузях і технологіях, починаючи від оцінки геотермальних джерел [6] й закінчуючи формоутворенням будівель [7]. Розвиток ексергетичної теорії в останні роки чітко прослідковується в об'єднанні з економічною, в результаті чого розвивається ексергоекономічна теорія [8]. Вона за ствердженням автора є перш за все інженерною дисципліною, методиками якої зручно користуватись для аналізу й оптимізації енергоперетворюючих систем. Останнє ствердження було взято за основу задля реалізації виконання основної вимоги «економія енергії» відповідно до національних будівельних стандартів [1].

Автори роботи [9] аргументовано доводять необхідність подальшого розвитку ексергетичного аналізу в напрямку його поглиблення. Під поглибленням розуміють урахування всіх складових ексергетичних потоків, які мають місце в системах, що досліджуються. Стосовно інженерних систем для забезпечення мікроклімату будівельних об'єктів цей напрямок розвитку ексергетичного аналізу нами взято за основу. Обґрунтування цього напрямку наведено в роботі [10], де показано чисельно вагомість кожної складової ексергії вологого повітря СКП, які впливають на стан мікроклімату приміщень.

Мета статті

Будівельні норми [1] регламентують вираження вимог щодо енергозбереження шляхом забезпечення необхідної потужності відповідного обладнання з урахуванням коефіцієнта корисної дії впродовж всього періоду експлуатації будівельного об'єкту. Вказана вимога передбачає наявність відповідного методичного забезпечення. Стосовно систем забезпечення мікроклімату будівельних об'єктів існують певні науково-методичні напрацювання, які в більшості випадків можна вважати гармонізованими в науковому середовищі. Спеціальні наукові видання публікують результати відповідних досліджень, в яких присутні базові математичні залежності для оцінки ексергетичної ефективності систем підтримки мікроклімату. Але гармонізованої інженерної методики, яка може бути основою для розробки будівельних стандартів не існує.

Відповідно до вищевказаного в даній статті наведено результати досліджень, які на думку авторів можна покласти в основу розробки національних галузевих методик з визначення показників енергоощадності систем підтримки мікроклімату об'єктів будівництва.

Виклад основного матеріалу

Як було показано вище, сучасним ефективним методом оцінки енергетичної ефективності різних технічних систем є ексергетичний метод [7], [11], [12]. Його переваги перед іншими термодинамічними методами було доведено багатьма світовими й вітчизняними вченими, зокрема в роботах [7], [11], [12] та інших. Концептуальні питання ексергетичного методу подано в [7], а практичні з прикладами застосування в теплоенергетиці, холодильній техніці та інших галузях в [13].

Розвиток ексергетичного методу набув широкого застосування в 80-х роках в основному при аналізі енергоємних установок великих підприємств, металургійних комбінатів, хімічній галузі, теплових та атомних електростанцій. Що стосується мікроклімату будівельних об'єктів і інженерних систем з опалення, вентиляції і кондиціонування повітря, то в окремих роботах було опубліковано основні методологічні моменти, які базувались на алгоритмах, притаманних енергоємним технологіям. Зокрема, в роботі [11] при ексергетичному аналізі систем кондиціонування повітря з використанням методології ексергетичного аналізу для енергоємних технологій не було досягнуто повноцінної оцінки ексергетичної ефективності по багатьох показниках. Більш детальні критичні зауваження нами розглянуто в роботі [14].

Наше бачення в розвитку ексергетичного методу для оцінки енергоощадних показників системами підтримки мікроклімату будівельних об'єктів подано в наукових збірниках КНУБіА за останні чотири роки. В основу методології покладено поглиблений ексергетичний аналіз, суть якого в оцінці всіх складових ексергетичних потоків систем підтримки мікроклімату. Головними науково-методологічними питаннями з визначення енергоощадних показників вищезазначених систем є наступні:

1. Деструктуризація інженерної системи підтримки мікроклімату будівельного об'єкту (будівлі, приміщення);
2. Визначення ексергетичних потоків в системах та окремих функціональних елементах;
3. Визначення фізичних величин в методиках розрахунків параметрів мікроклімату в одиницях ексергії;
4. Подання придатних для інженерних розрахунків математичних залежностей;
5. Визначення відносних та абсолютних критеріїв оцінки показників енергоощадності з виділенням основного – ексергетичного коефіцієнта корисної дії для всіх видів обладнання із підтримки мікроклімату приміщень;
6. Алгоритми складання ексергетичних балансів систем та обладнання для розрахункових періодів року та цілорічних умов експлуатації;
7. Методики інженерних розрахунків ексергетичних потоків в системах;
8. Методики визначення складових ексергії відповідних ексергетичних потоків;

9. Методики визначення ексергетичної ефективності енергопостачання;
10. Методики оцінки ексергетичної ефективності схемних рішень систем і їх порівняння;
11. Методики розрахунків ексергетичної вартості енергетичних потоків в системах підтримки мікроклімату будівельних об'єктів.

Наведені методологічні питання складають структуру методології визначення показників енергоощадності.

По першому питанню розроблено й обґрунтовано структуру СКП за функціонально-послідовним принципом [14], яка дає можливість виділити структурні елементи системи для відокремленого аналізу, поділити їх на «корисні» й «витратні» з точки зору деструкції ексергії основного потоку повітря. За таким саме принципом варто деструктуризувати інші системи: нагрівання, окремі охолодження, осушення та зволоження.

По другому питанню нами визначено наявні ексергетичні потоки в СКП й оцінено їх значимість [10]. В цій самій роботі визначено фізичні величини, що мають місце в розрахунках СКП, в одиницях ексергії (п.3) й придатні для інженерних розрахунків математичні залежності (п.4);

Критерії оцінки енергоощадності за ексергетичними показниками (п.5) наведено в авторських публікаціях [14].

Особливості складання ексергетичних балансів (п.6) процесів повітрообміну в приміщенні нами подано в цьому збірнику та в роботі [15], де враховано напрямок ексергетичних потоків в залежності від розрахункових параметрів зовнішнього повітря.

На прикладі розрахунків реальних СКП (п.7) в авторській роботі [16] наведено інженерну методику визначення ексергетичних потоків в різних функціональних елементах і вузлах СКП, підраховано деструкції й втрати ексергії, визначено ексергетичну ефективність.

Поглиблений ексергетичний аналіз, який покладено в основу даної методології, передбачає урахування всіх вагомих складових ексергії повітря СКП (п.8). Ці питання вирішено й подано нами в роботах [10] та [17]. Результати проілюстровано діаграмою потоків ексергії, яка дає зорове сприйняття деструкції ексергії в СКП.

Відносні ексергетичні критерії варто розрізняти на такі, що характеризують недосконалість термодинамічного процесу зміни стану робочого тіла в системі (елементі) – ЕККД «нетто» та на такі, що характеризують втрати при

теплообміні від кінцевої різниці температур - ЕККД «брутто». Останні пов'язані із деструкцією ексергії теплоносіїв (п.9). Ці питання нами освітлено в роботі [15].

На етапі проектування СКП та при техніко-економічному обґрунтуванні інвестицій варто надавати порівняльну оцінку прийнятих проектних рішень СКП (п.10). Це питання порушено авторами в роботах [15], [18], отримано коректні порівняльні результати.

Ексергетична вартість енергетичних потоків відіграє важливу роль при економічному порівнянні енергоносіїв для живлення СКП. При ексерго-економічному аналізі також варто враховувати накопичувальну вартість робочого тіла (повітря, теплоносія, холодоносія тощо) в кінці процесу його обробки перед споживачем (п.11). Подібні детальні розрахунки з відповідним обґрунтуванням наведено в роботі [15].

Висновки

Наведені в даній статті результати досліджень з оцінки показників енергоощадності елементів СКП із зволоження, нагрівання, охолодження й осушення повітря складають основу методології, яку варто започаткувати для задоволення основної вимоги «економія енергії» згідно із будівельними нормами [1]. Наведені в посиланнях методики варто рекомендувати Мінрегіону для апробації при проведенні експертизи проектів будівництва. При позитивних висновках експертів та інвесторів на даній методологічній основі варто розробити національний стандарт з визначення основних показників енергоощадності приладів і систем для створення й підтримки мікроклімату приміщень. Подальший розвиток даних досліджень вбачається в розробці оптимізаційних алгоритмів за цільовою функцією ексергетичної та ексергоекономічної ефективності.

Література

1. 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.
2. Вишневикий Е. П. Энергосбережение при проектировании систем микроклимата зданий // Сантехника, Отопление, Кондиционирование (С. О.К.). – 2010. – № 1.
3. Задоянний О.В., Котляров А. Ексергетична оцінка обробки повітря в центральній прямокутній системі кондиціонування повітря ; Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6. Відповідальний редактор П.М.Куліков.-К.:КНУБА,2014 р.-364 с.;
4. M. Razmara, M. Maasoumy, M. Shahbakhti, R.D.Robinett. Optimal exergy control of building HVAC system // Applied Energy 156 (2015) 555–565. <http://www.elsevier.com/locate/apenergy>.
5. Hakan Caliskan, Arif Hepbasli, Ibrahim Dincer, Valeriy Maisotsenko. Thermodynamic performance assessment of a novel aircooling cycle: Maisotsenko cycle // International journal of refrigeration 34 (2011) 980-990. <http://www.sciencedirect.com>.
6. Kuzgunkaya E. H. Evaluation of Turkey's Geothermal Energy in term of Exergy Analysis // Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. – P. 1-9.
7. Adrian Bejan. Advanced engineering thermodynamics, third edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2006,920 p.
8. Тсатсаронис, Джордж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. — Одесса: Студия «Негоциант», 2002.- с. 152.
9. Морозюк Т.В., Тсатсаронис Дж. Углубленный эксергетический анализ - современная потребность оптимизации энергопреобразующих систем// Промышленная теплотехника. – 2005. – Т.27, №2.- С.88-92.
10. Задоянний О. В. Євдокименко Ю. М. Види ексергії в системах кондиціонування повітря та їх визначення.//Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання», вип.19, с.3-15/ відповідальний редактор Е.С.Малкін.- КНУБА, 2016.-145с.
11. 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.
12. Бродянский В.М., В.Фратшер, К.Михалек. Эксергетический метод и его приложения. Под ред. В.М.Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с. – ISBN 5-283-00152-0;
13. Göran Wall. EXERGETICS. Biscaramanga 2009, 151 p.
14. Задоянний О.В., Ексергетичні критерії при оцінці енергоощадності систем кондиціонування повітря будівель і споруд; Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.- Вип.17 // відповідальний редактор Е.С.Малкін.- К.: КНУБА,2014р.-147 с.
15. Oleksandr Zadoyanny, Yurii Yevdokimenko. Exergoeconomic analys of air cooling systems; Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.- Вип.20 // відповідальний редактор Е.С.Малкін.- К.: КНУБА,2016р.-147 с.
16. Задоянний, О. В. Євдокименко Ю. М. Особливості визначення ексергетичної ефективності вузла «повітроохолоджувач-каплевловлювач-повітронагрівач» прямокутової СКП з використанням діаграми потоків ексергії вологого повітря; Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Вип.7.Відповідальний редактор П.М.Куліков.-К.:КНУБА,2015 р. -404 с.

17. *Задоянний О.В., к.т.н., Євдокименко Ю.М. Діаграма потоків ексергії вологого повітря для систем кондиціонування повітря; Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання; Науково-технічний збірник.- Вип.18//відповідальний редактор Е.С.Малкін.- КНУБА, 2015.- с.*

18. *Задоянний, О. В. Євдокименко Ю. М. Порівняльна ексергетична оцінка прямої системи кондиціонування повітря з конденсаційним та комбінованим осушенням повітря; Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6, К.:КНУБА, 2014.-С.91-94.*

Стаття надійшла в редколегію 04.04.2017

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

Задоянний Александр Васильевич

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

Євдокименко Юрий Николаевич

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

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОСНОВНОГО ТРЕБОВАНИЯ "ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ"

Аннотация. В работе представлено авторское видение решения методологической проблемы определения основного показателя энергосбережения оборудование для нагрева, охлаждения, осушения и увлажнения воздуха строительных объектов - коэффициента полезного действия. На примере результатов научных исследований, проводимых кафедрой ТТГиВ в последние годы по оценке показателей энергосбережения систем кондиционирования воздуха (СКВ), аргументированно доказывается корректность и однозначность предложенной методологии определения указанного показателя для наиболее энергоемких систем кондиционирования воздуха. Методология оценки коэффициента полезного действия указанного оборудования и систем базируется на фундаментальных достижениях современной неравновесной термодинамики и эксергоэкономики. В основу методологии положены принципы углубленного эксергетического анализа, который позволяет исследовать и оценивать численно эксергетические преобразования рабочих тел - энергоносителей систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Благодаря этому авторы получили и обработали методологическую базу в виде аналитических зависимостей и расчетных алгоритмов по определению эксергетических потоков в указанных системах, а также относительных и абсолютных показателей энергосбережения в СКВ. Приведенные результаты исследований авторы предлагают для апробации и разработки национальных гармонизированных методик.

Ключевые слова. Основное требование «экономия энергии»; методология определения показателей энергосбережения; эксергетический анализ; эксергетический коэффициент полезного действия; эксергетическая эффективность.

Zadoyanniĭ 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

Євдокименко 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

METHODOLOGICAL ISSUES MEET BASIC REQUIREMENTS "ECO"

Abstract. The article contains the author's vision of solving the methodological problem of determining the main indicator of energy saving equipment for heating, cooling, drying and humidifying air construction sites - efficiency ratio. The example of the results of scientific research conducted by the Department HVAC in recent years to assess performance energy saving air conditioning systems (AC systems), arguments have validity and uniqueness of the proposed methodology for the specified rate for the most energy intensive air conditioning systems. Evaluation Methodology efficiency of said equipment and systems based on the fundamental achievements of modern nonequilibrium thermodynamics and exergoeconomics. Based on the principles of the methodology exergic-depth analysis, which allows you to explore and evaluate numerical conversion exergics working bodies - the energy of heating, ventilation and air conditioning. The authors made exhausted methodological base as dependency analysis and calculation algorithms to determine exergic flows in these systems, as well as relative and absolute performance energy saving HVAC system. These results suggest the authors to test and develop national harmonized methods.

Keywords. The basic requirement "energy saving"; methodology for determination of the energy saving; exergic analysis; exergic efficiency ratio; exergic efficiency.