

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-3-79-1>

УДК 004.303.064

Срохін А.Л., Зацеркляний Г.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВТРАТАМИ БУДІВЛІ

Анотація. Запропонована одна з можливих схем побудови інформаційної технології в системі управління тепловими втратами в будинках і будівельних спорудах. Ця схема ґрунтується на запропонованій автором моделі взаємопов'язаного і взаємообумовленого тепломасообмінного процесу для будь-якої архітектурно-конструктивної схеми будинку і спирається на компонентно-орієнтовану інформаційну технологію. Одним із основних завдань цієї технології є формування сукупності математичних моделей опрацювання та аналізу даних. Звідси випливають завдання формалізації даних та знань предметної області: створення інтерфейсу для збирання та обміну між базами даних та базою моделей і методів, створення та вдосконалення математичних моделей досліджуваних процесів предметної області, завдання розробки подання даних і знань. На основі управляючої інформації, одержаної шляхом моделювання тепломасообмінного процесу, особа, яка приймає рішення, формує управляючий вплив, який полягає у заміні параметрів у допустимих межах, що характеризують матеріал і геометричні параметри елементів огорожувальної конструкції; геометричні і/чи теплофізичні параметри системи опалення тощо. Управляюча інформація накопичується у сховищі даних, яким є реляційним OLAP. Інформація з цього сховища використовується відповідними фахівцями для остаточного вибору засобу удосконалення теплоспоживання будинку чи будівельної споруди.

Ключові слова: взаємопов'язаний і взаємообумовлений тепломасообмінний процес, моделювання, інформаційна технологія.

Yerokhin Andriy, Zatserklyanyi Heorhii

Kharkiv National University of Radio Electronics

INFORMATION TECHNOLOGY OF HEAT LOSS CONTROL

Summary. The object of the study in this work is the unproductive heat losses in buildings and structures, due to the nature of the heat transfer process, which operates in a complex architectural design. One way to reduce unproductive heat losses in homes and buildings is to use information management technologies and systems to manage such facilities. These technologies and systems, based on the processing of information on the condition of buildings and structures, should ensure the formation of effective management decisions aimed at reducing unproductive heat losses and optimizing the structure of consumption of fuel and energy resources in the housing and communal sector. Today, both in and outside the energy efficiency management systems of buildings, heat transfer processes are analyzed either in the simplest formulation or in individual elements of the architectural and structural scheme of a building structure. This approach to modeling the heat transfer process does not provide a sufficiently complete estimate of unproductive heat losses. This is due to the fact that the heat transfer process itself is a complex interconnected and interdependent system and operates in a complex architectural and structural system of a building structure. This paper proposes a component-oriented information technology that relies on a mathematical model of an interconnected and interdependent heat and mass transfer process that functions in any complex architectural and structural scheme of a house or building. This model, in comparison with other models used, covers all the basic properties of heat and mass transfer both in enclosing structures and in steam-air spaces. It takes into account the heat input to the home from heating and lighting, solar radiation and people in the home. A model of information technology has been developed, which is a set of interconnected processes and objects involved in these processes in one way or another. The objects in this case are: data structure; complex of mathematical models and methods; set of information processes; interaction of processes with each other.

Keywords: interconnected and interconnected heat-mass-transmission process, modeling, information technology.

Постановка проблеми. Інформаційні технології, пов'язані з використанням сучасної комп'ютерної техніки і засобів збирання і передачі даних, відкривають нові можливості при вирішенні питань управління тепловтратами в житлово-комунальному секторі. Одним зі шляхів підвищення енергоефективності будівель та будівельних споруд є використання інформаційно-управляючих технологій та систем для управління енергоефективністю таких об'єктів. Ці системи на основі опрацювання інформації про стан будівель і будівельних споруд повинні забезпечувати формування ефективних управлінських рішень, які спрямовуються на оптимізацію струк-

тури споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В останні роки науковою громадськістю проводиться робота, спрямована на обґрунтування, розробку схем та компонентів систем управління енергоефективністю. До систем управління енергоефективністю, зокрема, відносяться системи, запропоновані в роботах [1–6]. Докладний огляд систем управління енергоефективністю будівельних споруд приведений у роботі [7].

Проведений аналіз систем управління енергоефективністю будинків і будівельних споруд показує, що на сьогоднішній день математичне забезпечення цих систем спрямоване на розгляд тепломасооб-

мінних процесів, від характеру яких суттєво залежить енергоефективність будинків і будівельних споруд, виконується або в окремих елементах системи, або у найпростішій постановці, чого явно не достатньо для пошуку шляхів досягнення можливої енергоефективності будівлі з використанням інформаційно-управляючої системи.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Тому виникає потреба у такому математичному забезпеченні, яке б розглядало тепломасообмін як єдиний взаємопов'язаний і взаємообумовлений процес для будь-якої архітектурно-конструктивної схеми будівлі чи будівельної споруди. Таке математичне забезпечення варто подати в рамках інформаційної технології.

Формулювання цілей статті. Тому метою даної статті є розв'язування актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає у зменшенні непродуктивних теплових втрат у будинках і будівельних спорудах, обумовлених характером тепломасообмінного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Модель компонентно-орієнтованої інформаційної технології, яка пропонується в даній роботі, реалізується у підсистемах підтримки прийняття рішення та виробленні управляючого впливу на досягнення певної енергоефективності досліджуваного об'єкту. Одним із основних завдань цієї технології є формування сукупності математичних моделей опрацювання та аналізу даних [8; 9].

Звідси випливають завдання формалізації даних та знань предметної області: створення інтерфейсу для збирання та обміну між базами даних та базою моделей і методів, створення та вдосконалення математичних моделей досліджуваних процесів предметної області, завдання розробки подання даних і знань.

Структурно-функціональна схема розробленої системи підтримки прийняття рішень з оцінювання тепловтрат у системі управління енергоефективністю приведена на рис. 1.

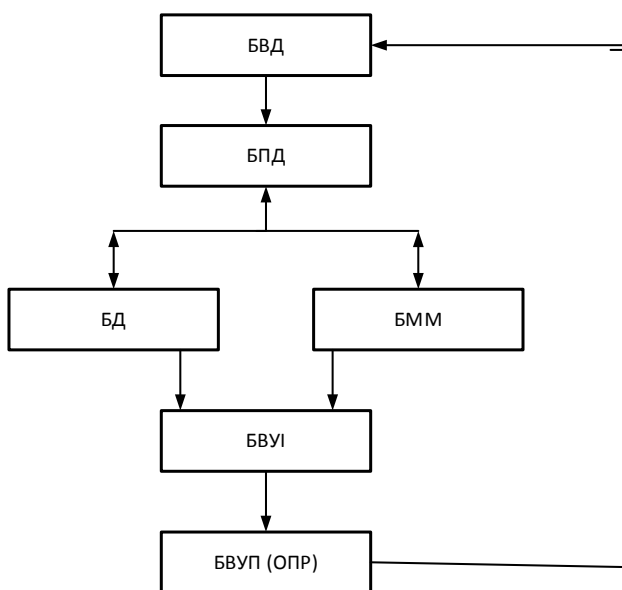


Рис. 1. Структурно-функціональна схема системи підтримки прийняття рішень з оцінювання тепломасообмінного процесу в системі управління енергоефективністю

Тут введені такі позначення: БВД – блок введення даних; БПД – блок попереднього опрацювання даних; БД – бази даних; БММ – блок моделей і методів; БВУП (ОПР) – блок вироблення управляючого впливу; БВУІ – блок вироблення управляючої інформації.

До управляючої інформації відносяться геометричні параметри і матеріал елементів огорожувальної конструкції; параметри пароповітряного простору; тип та геометричні і теплофізичні параметри систем опалення і охолодження; тип системи освітлення, кількість людей у приміщенні, при яких виконане моделювання тепломасообмінного процесу; інтегральні характеристики тепломасообміну тощо.

На основі цієї інформації особа, яка приймає рішення, формує управляючий вплив, який полягає у заміні параметрів у допустимих межах, що характеризують матеріал і геометричні параметри елементів огорожувальної конструкції; геометричні і/чи теплофізичні параметри системи опалення тощо.

Рекомендовані особою, яка приймає рішення, параметри об'єкту управління передаються у блок збирання даних і процес пошуку шляхів удосконалення теплоспоживання будинку чи будівельної споруди ітеративно продовжується.

Управляюча інформація накопичується у сховищі даних, яким є реляційним OLAP. Вибір даного типу сховища зумовлений можливістю експлуатації системи підтримки прийняття рішень як самостійної системи, так і як окремого функціонального модуля системи управління енергоефективністю будинку чи будівельної споруди.

Інформація з цього сховища використовується відповідними фахівцями для остаточного вибору засобу удосконалення теплоспоживання будинку чи будівельної споруди.

Отже, у загальному вигляді модель процесів з оцінювання тепломасообміну у системі управління енергоефективністю подається у вигляді набору забезпечуючих функціональних процесів та відношень, що зв'язують ці процеси в єдину структуру IS. Вона формалізується за допомогою виразу:

$$IS = \langle PI, PMM, PD, PB, PDM \rangle,$$

де PI – процес обміну даними, PMM, PD – процеси зберігання даних у базі моделей і методів та базах даних відповідно, PB – процеси опрацювання даних (вироблення управляючої інформації), PDM – процес вироблення управляючого впливу.

Кожен інформаційний процес є блоком, що має інформаційні входи, виходи і використовувані ресурси. За ресурси виступають методи, моделі та дані/знання, які залучаються в разі необхідності для реалізації процесу.

Сформулюємо вимоги до створення та формалізації процесу побудови інформаційної технології.

За відповідне методичне забезпечення для оцінювання тепломасообмінного процесу у системі управління енергоефективністю в даній роботі пропонується метод побудови інформаційної технології, який складається з таких етапів:

Етап 1. Формування моделі інформаційної технології оцінювання тепломасообмінного процесу. Модель інформаційної технології, що розробляється, є сукупністю взаємопов'язаних між собою процесів і об'єктів, які так чи інакше бе-

руть участь у цих процесах. Об'єктами в розглядуваному випадку є структура даних (SD) і комплекс математичних моделей і методів (CMM), множина інформаційних процесів (SIP) і їх взаємодія між собою ($ISIP$).

Етап 2. Формування складу бази даних. Структура даних визначає інформаційний комплекс – бази даних параметрів досліджуваного об'єкту.

Етап 3. Формування комплексу математичних методів і моделей. Комплекс математичних моделей і методів містить об'єктну модель взаємопов'язаного і взаємообумовленого процесу тепломасообміну, моделі оцінювання базових тепломасообмінних процесів, моделі узгодження процесів в елементах архітектурно-конструктивної схеми будинків і будівельних споруд.

Етап 4. Формування комплексу інформаційних процесів. Комплекс інформаційних процесів складається з процесів попереднього опрацювання даних і формування сховища даних, діставання зі сховища даних потрібних даних і потрібних математичних методів із бази математичних методів і моделей для розв'язування конкретної задачі.

Таким чином, компонентно-орієнтована інформаційна технологія оцінювання взаємопов'язаного і взаємообумовленого тепломасообмінного процесу в системі управління енергоефективністю дозволяє формалізувати функціональне моделювання цього процесу та одержати управляючу інформацію для вироблення особою, що приймає рішення, управляючого впливу на об'єкт дослідження з метою досягнення певної енергоефективності.

Взаємодія процесів між собою ($ISIP$) забезпечується функціонуванням інформаційної системи підтримки прийняття рішень та інтерпретується за допомогою діаграми потоків даних. Таким чином, взаємодія процесів між собою ($ISIP$) може формалізуватися за допомогою виразу:

$$ISIP = \langle TS, DP, DA, RP \rangle$$

де TS – інформаційні процеси підготовки початкових даних для оцінювання тепломасообмінного процесу в системах управління енергоефективністю; DP – інформаційні процеси вибору методів оцінювання параметрів тепломасообмінного процесу в системах управління енергоефективністю; DA – інформаційні процеси вибору алгоритму; RP – інформаційні процеси вироблення управляючої інформації для особи, що приймає рішення.

Процес оцінювання тепломасообміну в системах управління енергоефективністю будинків і будівельних споруд потребує велику кількість початкових даних. Серед них геометричні і теплофізичні параметри, які характеризують огорожувальні конструкції, зовнішнє середовище, пароповітряні простори, системи надходження і поглинання тепла тощо. Ці величини одержуються різними шляхами: від автоматичних систем моніторингу енергоспоживання, безпосереднім вимірюванням, з довідників і т. п. Вони, як правило, подаються в різних одиницях виміру і в різних форматах.

При цьому розрізняються два типи початкових даних: змінних, які залежать від конкретного досліджуваного об'єкту і параметрів його устаткування, і відносно сталих, що характеризують теплофізичні параметри елементів огоро-

джувальних конструкцій та параметри методів розрахунку деяких джерел тепла:

$$SD = \langle SD_s, SD_z \rangle,$$

де SD_s – сукупність сталих початкових даних; SD_z – сукупність змінних початкових даних.

Сталі дані подають теплотехнічні показники будівельних матеріалів і конструкцій, коефіцієнти тепловіддачі та основні технічні дані деяких опалювальних приладів, коефіцієнт прозорості скла, тепловиділення від людей у залежності від температури оточуючого середовища і фізичного навантаження, норми освітленості деяких приміщень та деякі інші дані.

Ці дані оформляються у вигляді реляційної бази даних, приведеної до третьої нормальної форми, і зберігаються у сховищі даних. Діставання інформації з цих баз даних здійснюється за допомогою SQL-запитів.

1) Централізованої бази даних системи управління енергоефективністю, яка наповнюється як суб'єктами моніторингу, так і автоматично і яка зберігає інформацію із використанням реляційного підходу до управління базами даних.

2) Сховища, яке зберігає інформацію за допомогою не реляційного підходу до управління даними.

3) Структуровані відомості, які зберігаються у вигляді файлів чи які вводяться безпосередньо користувачем.

Інформаційна технологія аналізу цих даних зводиться до такого.

На першому етапі функціонування інформаційної технології дістаються потрібні початкові дані. Вони дістаються шляхом SQL-запиту до сховищ даних (на основі реляційної або не реляційної СУБД). Одержані на цьому етапі дані зберігаються. Інформаційна технологія підтримує можливість самостійного внесення даних користувачем. Як правило, це відбувається за допомогою завантаження даних із файлового ресурсу чи вручну. Після одержання відомостей із віддалених джерел та самостійного внесення інформації переходять до наступного етапу.

Другий етап інформаційної технології полягає в усуненні дублювання одержаних даних, приведенні їх до єдиного формату і до безрозмірного вигляду.

На третьому етапі сформовані дані перевіряються на допустимість і достатність для вказаних методів аналізу та оцінювання тепломасообмінного процесу з відповідними моделями тепломасообмінної взаємодії. У випадку, коли кількість даних не достатня відбувається повернення до етапу запиту даних із додаткових джерел даних.

Четвертий етап роботи полягає у проведенні моделювання тепломасообмінного процесу зі сформованими початковими даними і вказаними засобами моделювання для формування управляючої інформації, яка передається особі, що приймає рішення.

Інформаційний процес одержання управляючої інформації реалізується у вигляді послідовності взаємозалежних дій чи функцій. Ця реалізація на кожному часовому кроці зводиться до таких етапів.

1. Визначення теплонадходження за рахунок конвекції та променевого випромінювання з використанням відповідних елементарних блоків.

Передача результатів у модуль для оцінювання конвективного тепломасообміну.

2. Оцінювання конвективного тепломасообміну у відповідних елементарних блоках. Передача результатів у модуль для оцінювання теплопровідності через тверду стінку.

3. Оцінювання теплопередачі за рахунок теплопровідності через тверду стінку.

4. Оцінювання тепловтрат через огорожувальні конструкції.

5. Оцінювання процесу тепломасообміну, вироблення управляючої інформації.

Реалізація інформаційного процесу виконується на певному відрізку часу. Часовий крок моделювання є змінним. При цьому виконання кожного кроку включає 3 етапи.

1. Кожний елементарний блок системи одержує інформацію про стан тих блоків, які впливають на нього в даний момент часу.

2. Кожний блок системи обчислює свій стан у наступний момент часу з урахуванням величини поточного кроку моделювання (не переходячи при цьому в наступний стан). Обчислення виконуються на основі відповідної субмоделі елементарного блоку системи.

3. Кожний блок реалізує (переводить себе в) наступний стан.

До управляючої інформації відносяться геометричні параметри об'єкта в цілому; геометричні параметри і матеріал елементів огорожувальної конструкції; параметри пароповітряного простору; тип та геометричні і теплофізичні параметри систем опалення і охолодження; тип системи освітлення, кількість людей у приміщенні, при яких виконане моделювання тепломасообмінного процесу, та результати його оцінювання (інтегральні характеристики тепломасообміну).

На п'ятому етапі на основі управляючої інформації особа, яка приймає рішення, формує управляючий вплив, який полягає у зміні параметрів у допустимих межах, що характеризують теплофізичні і геометричні параметри, а також матеріал елементів огорожувальних конструкцій; геометричні і/чи теплофізичні параметри системи опалення, освітлення, вентиляції тощо. Рекомендовані особою, яка приймає рішення, параметри об'єкта управління передаються у блок збирання даних і процес пошуку шляхів вдосконалення енергоспоживання будинку чи будівельної споруди ітеративно продовжується. Крім того, управляюча інформація накопичується у сховищі даних, яким є реляційним OLAP. Вибір даного типу сховища зумовлений можливістю експлуатації інформаційної системи як самостійної системи, так і як окремого функціонального модуля системи управління енергоефективністю будинку чи будівельної споруди.

На шостому етапі інформаційної технології накопичені у сховищі управляючі дані надаються у відповідному вигляді відповідним фахівцям для прийняття остаточного рішення про вибір засобу досягнення можливої енергоефективності.

Комплекс математичних моделей і методів формалізуємо за допомогою виразу:

$$SMM = \langle SMM_{TC}, SMM_{CHT}, SMM_R, SMM_{TO} \rangle,$$

де SMM_{TC} – методи оцінювання теплопровідності [8];

SMM_{CHT} – методи оцінювання конвективного теплообміну [9];

SMM_R – методи оцінювання променевого випромінювання [10];

SMM_{TO} – методи реалізації моделей тепломасообмінних взаємодій [10].

До методів оцінювання теплопровідності відносяться тривимірні SMM_{TC3} і одновимірні SMM_{TC1} моделі, реалізовані за допомогою модифікованого методу скінчених елементів [8]:

$$SMM_{TC} = \langle SMM_{TC3}, SMM_{TC1} \rangle.$$

До методів оцінювання конвективного теплообміну відносяться методи, які ґрунтуються на моделі нестационарного, тривимірного, турбулентного потоку пароповітряної суміші SMM_{CHT3} , реалізованої методом скінчених об'ємів, і на квазістационарній моделі SMM_{CHT0} , реалізованій методом Рунге-Кутта [9]:

$$SMM_{CHT} = \langle SMM_{CHT3}, SMM_{CHT0} \rangle.$$

До методів оцінювання променевого випромінювання відноситься метод, який ґрунтується на моделі Стефана-Больцмана [10].

Методи реалізації моделей тепломасообмінних взаємодій охоплюють моделі визначення інтенсивності джерел і стоків маси, імпульсу, енергії, в тому числі і тих, які подають надходження тепла від систем освітлення і опалення, сонячної радіації і людей [11]:

$$SMM_{TO} = \langle SMM_{TO_n}, SMM_{TO_o}, SMM_{TO_{oc}}, SMM_{TO_{op}}, SMM_{TO_l} \rangle,$$

де SMM_{TO_n} – надходження (втрати) пароповітряної суміші через грань чи її частину деякого об'єму;

SMM_{TO_o} – надходження тепла від системи опалення;

$SMM_{TO_{oc}}$ – надходження тепла від системи освітлення;

$SMM_{TO_{op}}$ – надходження тепла за рахунок сонячної радіації;

SMM_{TO_l} – надходження тепла від людей.

При визначенні надходження тепла від системи опалення передбачені такі типи систем опалення: традиційна система опалення (підвіконні радіатори різних типів) SMM_{TO_o1} , нетрадиційні системи опалення з рідинним теплоносієм (теплі підлоги, опалювальні панелі тощо) SMM_{TO_o2} , з використанням електричного опалення SMM_{TO_o3} :

$$SMM_{TO_o} = \langle SMM_{TO_o1}, SMM_{TO_o2}, SMM_{TO_o3} \rangle.$$

Множину інформаційних процесів (SIP) формалізуємо за допомогою виразу:

$$SIP = \langle DC, PP, EI, SI, PR \rangle$$

де DC – інформаційний процес збирання даних; PP – інформаційний процес попереднього опрацювання даних;

EI – інформаційний процес одержання управляючої інформації;

PR – інформаційний процес прийняття рішення та збереження одержаних результатів.

Інформаційний процес попереднього опрацювання даних PP базується на таких операціях:

$A1$ – усунення дублювання даних;

$A2$ – приведення до єдиного формату подання;

$A3$ – одержання безрозмірних величин.

Взаємодія процесів між собою ($ISIP$) забезпечується функціонуванням інформаційної системи підтримки прийняття рішень та інтерпрету-

ється за допомогою діаграми потоків даних. Таким чином, взаємодія процесів між собою (*ISIP*) може формалізуватися за допомогою виразу:

$$ISIP = \langle TS, DP, DA, RP \rangle$$

де *TS* – інформаційні процеси підготовки початкових даних для оцінювання тепломасообмінного процесу в системах управління енергоефективністю;

DP – інформаційні процеси вибору методів оцінювання параметрів тепломасообмінного процесу в системах управління енергоефективністю;

DA – інформаційні процеси вибору алгоритму; *RP* – інформаційні процеси вироблення управляючої інформації для особи, що приймає рішення.

Висновки і пропозиції. Результати, одержані в даній роботі, дозволяють при оцінюванні тепломасообмінних процесів будинків і будівельних споруд «програвати» поведінку цих об'єктів у різних умовах і з різними модифікаціями, варіювати конструктивними і функціональними параметрами цих об'єктів, а отже, більш повно враховувати особливості тепломасообміну у системах управління енергоефективністю.

Список літератури:

1. Oung, K. (2013). *Energy Management in Business: The Manager's Guide to Maximising and Sustaining Energy Reduction*. Gower Publishing, 278 p.
2. Медиковський М.О., Цмоць І.Г., Цимбал Ю.В. Інформаційно-аналітична система для управління енергоефективністю підприємств у м. Львів. *Актуальні проблеми економіки*. 2016. № 1(175). С. 379–384.
3. Міляев Ю.П., Тачиніна О.М., Захарченко Ю.А., Соколова Н.П. Автоматизована система побудови оптимальних моделей впровадження енергозберігаючих заходів у закладах освіти. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2014. № 2. С. 63–67.
4. Осипов В.М., Юдін М.А., Ворожейкін О.О. Субрегіональна система управління енергозбереженням. *Економічні інновації*. 2013. Випуск № 52. С. 277–282.
5. Максимов М.В., Бабич С.В. Дослідження питань автоматизації керування системою теплопостачання міста з оптимізацією структури об'єкта. *Восточно-Европейський журнал передових технологій*. 2015. № 2/2(74). С. 84–87.
6. Alessandra De Paola, Marco Ortolani, Giuseppe Lo Re, Giuseppe Anastasi, and SajalK.Das. 2014. Intelligent management systems for energy efficiency in buildings: A survey. *ACM Comput. Surv.* 47, 1, Article 13 (May 2014), 38 pages.
7. Rohdin P. Numerical modelling of industrial indoor environments: A comparison between different turbulence models and supply systems supported by field measurements [Text] / P. Rohdin, B. Moshfegh // *Original Research Article Building and Environment*. 2011. Volume 46, Issue 11. P. 2365–2374.
8. Куценко О.С., Зацеркляний Г.А. Моделювання теплообміну через огорожувальні поверхні будівлі. *Вісник НТУ «ХП»*. 2012. № 42(948). С. 129–141.
9. Єрохін А.Л., Зацеркляний Г.А. Інформаційна технологія аналізу конвективного теплообміну в приміщенні будівлі. *Системи обробки інформації*. 2016. Випуск 9(146). С. 187–192.
10. Єрохін А.Л., Зацеркляний Г.А. Розробка об'єктно-орієнтованої моделі для аналізу тепловтрат у будівлі невяробничого призначення. *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. № 5/1(31). С. 26–33.
11. Зацеркляний Г.А., Єрохін А.Л. Інформаційна технологія аналізу тепломасообмінного процесу будівлі. *Матеріали ІХ Міжнародної конференції молодих вчених «Молоді вчені 2018 – від теорії до практики»*, 16 лютого 2018 р., м. Дніпро. С. 188–191.

References:

1. Oung, K. (2013). *Energy Management in Business: The Manager's Guide to Maximising and Sustaining Energy Reduction*. Gower Publishing, 278 p.
2. Medykovskyy, M.O., Tsmots', I.H., & Tsymbal, Yu.V. (2016). Informatsiyno-analitychna systema dlya upravlinnya enerhoeffektyvnisty pidpryyemstv u m. L'viv [Information and analytical system for managing energy efficiency of enterprises in Lviv]. *Aktual'ni problemy ekonomiky*, no. 1(175), pp. 379–384.
3. Milyayev, Yu.P., Tachynina, O.M., Zakharchenko, Yu.A., & Sokolova, N.P. (2014). Avtomatyzovana systema pobudovy optimal'nykh modeley vprovadzhennya enerhozberihayuchykh zakhodiv u zakladakh osvity [Automated system for building optimal models for implementing energy-saving measures in educational institutions]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya*, no. 2, pp. 63–67.
4. Osypov, V.M., Yudin, M.A., & Vorozheykin, O.O. (2013). Subrehional'na systema upravlinnya enerhozberzhennyam [Subregional energy saving management system]. *Ekonomichni innovatsiyi*, vol. 52, pp. 277–282.
5. Maksymov, M.V., & Babych, S.V. (2015). Doslidzhennya pytan' avtomatyzatsiyi keruvannya systemoyu teplopstachannya mista z optymizatsiyeyu struktury obyekta [Research on automation of city district heating system optimization with object structure]. *Vostochno-Europeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy*, no. 2/2(74), pp. 84–87.
6. Alessandra De Paola, Marco Ortolani, Giuseppe Lo Re, Giuseppe Anastasi, and SajalK.Das. 2014. Intelligent management systems for energy efficiency in buildings: A survey. *ACM Comput. Surv.* 47, 1, Article 13 (May 2014), 38 pages.
7. Rohdin, P., & Moshfegh, B. (2011). Numerical modelling of industrial indoor environments: A comparison between different turbulence models and supply systems supported by field measurements [Text]. *Original Research Article Building and Environment*. Volume 46, Issue 11, pp. 2365–2374.
8. Kutsenko, O.S., & Zatserklyanyy, H.A. (2012). Modelyuvannya teploobminu cherez ohorodzhuval'ni poverkhni budivli [Simulation of heat transfer through the building envelope]. *Visnyk NTU «KHP»*, no. 42(948), pp. 129–141.
9. Yerokhin, A.L., & Zatserklyanyy, H.A. (2016). Informatsiyna tekhnolohiya analizu konvektyvnoho teploobminu v prymyshchenni budivli [Information technology for analysis of convective heat transfer in a building]. *Systemy obrobky informatsiyi*, no. 9(146), pp. 187–192.
10. Yerokhin, A.L., & Zatserklyanyy, H.A. (2016). Rozrobka obyektно-orientovanoyi modeli dlya analizu teplovtrat u budivli nevyrobnychoho pryznachennya [Development of an object-oriented model for the analysis of heat losses in a non-industrial building]. *Tekhnolohycheskyy audit y rezervy proyzvodstva*, no. 5/1(31), pp. 26–33.
11. Zatserklyanyy, H.A., & Yerokhin, A.L. (2018). Informatsiyna tekhnolohiya analizu teplomasoobminnoho protsesu budivli [Information technology for analysis of heat and mass transfer process of a building]. *Materialy IX Mizhnarodnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh «Molodi vcheni 2018 – vid teorii do praktyky»*, 16 lyutoho, m. Dnipro, Ukraina, pp. 188–191.