УДК 004.303.064
DOI: 10.15587/2312-8372.2020.198265

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВТРАТИМИ БУДІВЕЛЬНОЇ СПОРУДИ

Єрохін А. Л., Зацеркляний Г. А.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТЕРЯМИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ерохин А. Л., Зацеркляный Г. А.

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR HEAT LOSSES MANAGEMENT OF CONSTRUCTION STRUCTURES

Yerokhin A., Zatserklianyi H.

Об'єктом дослідження є непродуктивні тепловтрати у будинках і будівельних спорудах, обумовлених характером тепломасообмінного процесу, який функціонує у складній архітектурно-конструктивній схемі. Одним зі шляхів зменшення непродуктивних тепловтрат у будинках і будівельних спорудах є використання інформаційно-управляючих технологій та систем для управління такими об'єктами. Ці технології та системи на основі опрацювання інформації про стан будівель і будівельних споруд повинні забезпечувати формування ефективних управлінських рішень, спрямованих на зменшення непродуктивних тепловтрат і оптимізацію структури споживання паливно-енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі. На сьогодні як в системах управління енергоефективністю будинків, так і поза ними, тепломасообмінні процеси аналізуються або в найпростішій постановці, або в окремих елементах архітектурно-конструктивної схеми будівельної споруди. Такий підхід до моделювання тепломасообмінного процесу не забезпечує достатньо повне оцінювання непродуктивних тепловтрат. Це обумовлено тим, що сам процес тепломасообміну є складною взаємопов'язаною та взаємообумовленою системою та функціонує у складній архітектурно-конструктивній системі будівельної споруди. В даній роботі пропонується компонентно-орієнтована інформаційна технологія, яка спирається на математичну модель взаємопов'язаного та взаємообумовленого тепломасообмінного процесу, що функціонує в будь-якій складній архітектурно-конструктивній схемі будинку чи будівельної споруди. Ця модель порівняно з іншими використовуваними моделями охоплює всі основні властивості тепломасообміну як в огороджувальних конструкціях, так і в пароповітряних просторах. Вона враховує надходження тепла у приміщення будинку від систем опалення та освітлення, сонячної радіації та людей, які

перебувають у будинку. А отже, дозволяє більш повно оцінити тепловтрати в будинку чи будівельній споруді.

Ключові слова: *взаємопов'язаний та взаємообумовлений тепломасообмінний процес, моделювання тепломасообміну, інформаційно-управляючі технології.*

Объектом исследования являются непроизводительные теплопотери в зданиях и строительных сооружениях, обусловленные характером тепломассообменного процесса, который функционирует в сложной архитектурно-конструктивной схеме. Одним из путей уменьшения непроизводительных теплопотерь в зданиях и строительных сооружениях является использование информационно-управляющих технологий и систем для управления такими объектами. Эти технологии и системы на основе обработки информации о состоянии зданий и строительных сооружений должны обеспечивать формирование эффективных управленческих решений, направленных на уменьшение непроизводительных теплопотерь и оптимизацию структуры потребления топливно-энергетических ресурсов в жилищно-коммунальном секторе. На сегодня как в системах управления энергоэффективностью зданий, так и вне, тепломассообменные процессы анализируются или в простой постановке, или в отдельных элементах архитектурно-конструктивной схемы строительного сооружения. Такой подход к моделированию тепломассообменного процесса не обеспечивает достаточно полной оценки непроизводительных теплопотерь. Это обусловлено тем, что сам процесс тепломассообмена является сложной взаимосвязанной и взаимообусловленной системой и функционирует в сложной архитектурно-конструктивной системе строительного сооружения. В данной работе предлагается компонентно-ориентированная информационная технология, которая опирается на математическую модель взаимосвязанного и взаимообусловленного тепломассообменного процесса, который функционирует в любой сложной архитектурно-конструктивной схеме дома или строительного сооружения. Эта модель по сравнению с другими используемыми моделями охватывает все основные свойства тепломассообмена как в ограждающих конструкциях, так и в паровоздушных пространствах. Она учитывает поступление тепла в помещение дома от систем отопления и освещения, солнечной радиации и людей, находящихся в здании. А значит, позволяет более полно оценить теплопотери в доме или строительном сооружении.

Ключевые слова: *взаимосвязанный и взаимообусловленный теплообменный процесс, моделирование тепломассообмена, информационно-управляющие технологии.*

1. Вступ

Інформаційні технології, пов'язані з використанням сучасної комп'ютерної техніки та 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 структури споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Дана робота направлена на розв’язування актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає у зменшенні непродуктивних теплових втрат у будинках і будівельних спорудах, обумовлених характером тепломасообмінного процесу. Дане дослідження можна розглядати як логічне продовження роботи [1].

2. Об’єкт дослідження та його технологічний аудит

Об’єктом дослідження в даній роботі є теплові втрати будівельної споруди. Цей об’єкт не достатньо вивчений, оскільки обумовлений складним тепломасообмінним процесом, який функціонує в архітектурно-конструктивній схемі будинку. Вивчення цього об’єкту має спиратися на математичне моделювання в рамках сучасних інформаційних технологій.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження спрямована на розробку інформаційної технології роботи з даними, моделями та методами при оцінюванні теплових втрат будівельних споруд в системі управління енергоефективністю.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Побудувати структурно-функціональну схему системи підтримки прийняття рішень з оцінювання тепловтрат у будинку чи будівельній споруді.
2. Розробити вимоги до створення та формалізації процесу побудови інформаційної технології з аналізу та оцінювання взаємопов’язаного та взаємообумовленого тепломасообмінного процесу в системі управління енергоефективністю будинків і будівельних споруд.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

В останні роки науковою громадськістю проводиться робота, спрямована на обґрунтування, розробку схем та компонентів систем управління енергоефективністю. До систем управління енергоефективністю, зокрема, відносяться система, запропонована в роботі [2]. Докладний огляд систем управління енергоефективністю будівельних споруд приведений у роботі [3].

В роботі [4] вивчається вплив атмосферних збуджень на теплопередачу будівельних компонентів зовнішніх стін будинків. При цьому вплив конвективного теплообміну всередині приміщення не враховується. В роботі [5] наведено чисельний аналіз впливу коефіцієнта теплопровідності різних будівельних матеріалів на тепломасоперенесення в квадратній порожнині. Двовимірні рівняння збереження маси, імпульсу, енергії та концентрації з турбулентною моделлю k–ε розв’язані методом скінченого об’єму. Задача про визначення теплового потоку через зовнішні стіни не розглядається.

В роботі [6] виконано чисельне дослідження природної конвекції при односторонній та перехресній вентиляції методом скінченого об’єму з урахуванням впливу внутрішніх джерел тепла. У роботі [7] розглядаються

основні термічні процеси в автоматизованих системах управління для споживання тепла будівлями. А також виявлено, що ефективність роботи цих систем залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів.

Існує ряд програмних пакетів для комплексного дослідження тепломасообмінних процесів у будівлях. До них, зокрема, відносяться:

– DOE-2 (DOE-2.3), розроблена Lawrence Berkley National Laboratory, США [8];

– EnergyPlus (EnergyPlus 8.1.0), розроблена Lawrence Berkley National Laboratory, USA CERL, University of Illinois, США [9];

– BSim, розроблена Danish Building Research Institute, Данія [10];

– ESP-r, розроблена Universitu of Strathclyde, Великобританія [11].

Ці програми спираються на національні нормативні будівельні документи та приховані математичні моделі, що знаходяться в основі їх розрахункових алгоритмів. А це ускладнює їх коректне застосування у будівельній практиці. Крім того, як показали дослідження [12], проведені з метою оцінки валідності вказаних комп'ютерних програм, результати розрахунку можуть значно різнитися в залежності від вибраної комп'ютерної програми.

Отже, проведений аналіз показує, що розгляд тепломасообмінних процесів в системах управління енергоефективністю виконується або в окремих елементах будівельної споруди, або у найпростішій постановці. Разом із тим, цього не достатньо для пошуку шляхів досягнення можливої енергоефективності будівлі з використанням інформаційно-управляючої системи. Таким чином, виникає потреба у такому математичному забезпеченні, яке б розглядало тепломасообмін як єдиний взаємопов’язаний та взаємообумовлений процес для будь-якої архітектурно-конструктивної схеми будівлі чи будівельної споруди. Таке математичне забезпечення варто подати в рамках інформаційної технології.

5. Методи дослідження

При дослідженні використані такі наукові методи:

– усталені підходи до побудови інформаційних систем підтримки прийняття рішень;

– усталені підходи до побудови інформаційної технології роботи з даними, моделями та методами.

6. Результати 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 [13]. В даній роботі за математичні вибрані моделі, розроблені в роботі [1].

Звідси випливають завдання формалізації даних та знань предметної області:

– створення інтерфейсу для збирання та обміну між базами даних та базою моделей та 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.

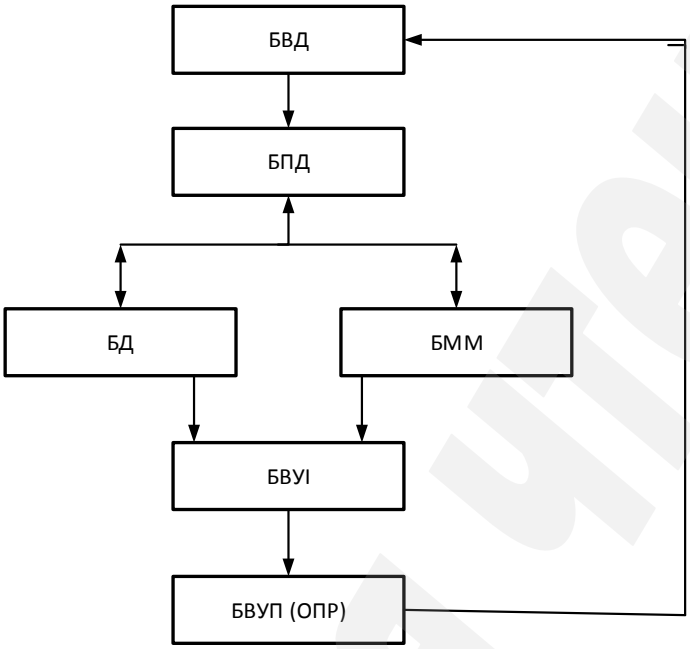

Рис. 1. Структурно-функціональна схема системи підтримки прийняття рішень із оцінювання тепломасообмінного процесу в системі управління енергоефективністю

На рис. 1 наведені такі позначення: БВД – блок введення даних; БПД – блок попереднього опрацювання даних; БД – бази даних; БММ – блок моделей та методів; БВУП (ОПР) – блок вироблення управляючого впливу; БВУІ – блок вироблення управляючої інформації.

До управляючої інформації відносяться:

– геометричні параметри та матеріал елементів огороджувальної конструкції;

– параметри пароповітряного простору;

– тип та геометричні та теплофізичні параметри систем опалення та 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 огороджувальної 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 (online analytical processing – аналітична обробка у реальному часі).

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:

$$IS=<PI, PMM, PD, PB, PDM>,$$

де *PI* – процес обміну даними; *PMM*, *PD* – процеси зберігання даних у базі моделей та методів і 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 та 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:

Eman 1. Формування моделі інформаційної технології оцінювання тепломасообмінного процесу. Модель інформаційної технології є сукупністю взаємопов'язаних між собою процесів та об'єктів, які так чи інакше беруть участь у цих процесах. Об'єктами в розглядуваному випадку є:

– структура даних (*SD*);

– комплекс математичних моделей та методів (*CMM*);

– множина інформаційних процесів (*SIP*);

– взаємодія процесів між собою (*ISIP*).

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

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

Eman 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 для оцінювання тепломасообмінного процесу 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:

$$ISIP \rightarrow \{TS, DP, DA, RP\},$$

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 та теплофізичні параметри, які характеризують огороджувальні конструкції, зовнішнє середовище, пароповітряні простори, системи надходження та поглинання тепла тощо. Ці величини одержуються різними шляхами: від автоматичних систем моніторингу енергоспоживання, безпосереднім вимірюванням, з довідників та ін. Вони, як правило, подаються в різних одиницях виміру та в різних форматах.

При цьому розрізняються два типи початкових даних: змінних, які залежать від конкретного досліджуваного об’єкту та параметрів його устаткування. А також відносно сталих, що характеризують теплофізичні параметри елементів огороджувальних конструкцій та параметри методів розрахунку деяких джерел тепла:

$$SD=<SD_s, SD_з>,$$

де SD_s – сукупність сталих початкових даних;

$SD_з$ – сукупність змінних початкових даних.

Сталі дані подають геометричні та теплотехнічні показники будівельних матеріалів і конструкцій, основні технічні дані систем опалення та освітлення, тепловиділення від людей тощо.

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. Сховище, 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 (Structured query language – мова структурованих запитів – декларативна мова програмування для взаємодії користувача з базами даних) до сховищ даних (на основі реляційної або не реляційної СУБД (система управління базами даних). 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 та 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 огороджувальні 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.

На п’ятому етапі на основі управляючої інформації особа, яка приймає рішення, формує управляючий вплив. Він полягає у зміні параметрів у допустимих межах, які характеризують теплофізичні і геометричні параметри самої будівельної споруди чи її інженерного обладнання. Рекомендовані особою, яка приймає рішення, параметри об’єкту 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:

$$СММ = <СММ_{ТС}, СММ_{СНТ}, СММ_{R}, СММ_{ТО}>,$$

де $СММ_{ТС}$ – методи оцінювання теплопровідності [8];

$СММ_{СНТ}$ – методи оцінювання конвективного теплообміну [9];

$СММ_{R}$ – методи оцінювання променевого випромінювання [10];

$СММ_{ТО}$ – методи реалізації моделей тепломасообмінних взаємодій [10].

До методів оцінювання теплопровідності відносяться тривимірна $СММ_{ТС}3$ та одновимірна $СММ_{ТС}1$ моделі, реалізовані за допомогою модифікованого методу скінчених елементів [8]:

$$СММ_{ТС} = <СММ_{ТС}3, СММ_{ТС}1>.$$

До методів оцінювання конвективного теплообміну відносяться методи, які ґрунтуються на моделі нестаціонарного, тривимірного, турбулентного потоку пароповітряної суміші $СММ_{СНТ}3$, реалізованої методом скінчених об’ємів, і на квазістаціонарній моделі $СММ_{СНТ}0$, реалізованій методом Рунге-Кутта [9]:

$$СММ_{СНТ} = <СММ_{СНТ}3, СММ_{СНТ}0>.$$

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 та опалення, сонячної радіації та людей [11]:

$$СММ_{ТО} = <СММ_{ТОп}, СММ_{ТОо}, СММ_{ТОос}, СММ_{ТОор}, СММ_{ТОл}>,$$

де $СММ_{ТОп}$ – надходження (втрати) пароповітряної суміші через грань чи її частину деякого об’єму;

$СММ_{ТОо}$ – надходження тепла від системи опалення;

$СММ_{ТОос}$ – надходження тепла від системи освітлення;

CMM_{TOop} – надходження тепла за рахунок сонячної радіації;

$CMM_{TOл}$ – надходження тепла від людей.

При визначенні надходження тепла від системи опалення передбачені такі типи систем опалення:

– традиційна система опалення (підвіконні радіатори різних типів) $CMM_{TOo}1$;

– нетрадиційні системи опалення з рідинним теплоносієм (теплі підлоги, опалювальні панелі тощо) $CMM_{TOo}2$;

– з використанням електричного опалення $CMM_{TOo}3$:

$$CMM_{TOo}=<CMM_{TOo}1, CMM_{TOo}2, CMM_{TOo}3>.$$

Множину інформаційних процесів (*SIP*) формалізуємо за допомогою виразу:

$$SIP = <DC, PP, EI, SI, PR>,$$

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:

*A*1 – усунення дублювання даних;

*A*2 – приведення до єдиного формату подання;

*A*3 – одержання безрозмірних величин.

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:

$$ISIP = <TS, DP, DA, RP>,$$

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.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Запропонована інформаційна технологія забезпечує проведення обчислювального експерименту з пошуку засобів зменшення непродуктивних тепловтрат будівельної споруди.

Weaknesses. До слабких сторін даного дослідження варто віднести те, що час реалізації алгоритму в рамках запропонованої інформаційної технології великий, а це важливо при розв'язуванні оптимізаційної задачі. Цей недолік компенсується використанням на певних етапах реалізації задачі оптимізації більш простих моделей процесу тепломасообміну.

Opportunities. Планується застосувати одержані результати для аналізу тепломасообмінних процесів в інших об'єктах.

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 та функціональними параметрами цих об'єктів. А отже, більш повно враховувати особливості тепломасообміну у системах управління енергоефективністю.

Threats. Є зарубіжні аналоги інформаційних технологій, але невідоме їх математичне забезпечення.

8. Висновки

1. Побудована структурно-функціональна схема системи підтримки прийняття рішень з оцінювання тепловтрат як складової системи управління енергоефективністю будинку чи будівельної споруди. Ця система забезпечує одержання управляючої інформації, на основі якої особа, що приймає рішення, виробляє в ітеративному режимі управляючий вплив на пошук засобу досягнення тієї чи іншої можливої енергоефективності будинку чи будівельної споруди.

2. Розроблена модель інформаційної технології, яка є сукупністю взаємопов'язаних між собою процесів та об'єктів, що так чи інакше беруть участь у цих процесах. Об'єктами в розглядуваному випадку є:

– структура даних (*SD*);

– комплекс математичних моделей та методів (*CMM*);

– множина інформаційних процесів (*SIP*);

– взаємодія процесів між собою (*ISIP*).

References

1. Yerokhin, A. L., Zatserklyanyy, G. A. (2016). Development of the object-oriented model for the health losses analysis in the non-process building. *Technology Audit and Production Reserves, 5 (1 (31)),* 26–34. doi: http://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.80561

2. Oung, K. (2013). *Energy Management in Business: The Manager's Guide to Maximising and Sustaining Energy Reduction*. Gower Publishing, 278. doi: http://doi.org/10.4324/9781315579559

3. De Paola, A., Ortolani, M., Lo Re, G., Anastasi, G., Das, S. K. (2014). Intelligent Management Systems for Energy Efficiency in Buildings. *ACM Computing Surveys, 47 (1),* 1–38. doi: http://doi.org/10.1145/2611779

4. Janssen, H., Blocken, B., Carmeliet, J. (2007). Conservative modelling of the moisture and heat transfer in building components under atmospheric excitation. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 50 (5-6)*, 1128–1140. doi: http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.06.048

5. Gijón-Rivera, M., Serrano-Arellano, J., Xamán, J., Álvarez, G. (2016). Effect of different building materials on conjugate heat and mass transfer. Ingenier. mecáni. tecnolog. *Desarroll, 5 (4)*. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-73812016000100395

6. Rocha, L. J. C., Souza, H. A. (2016). Numerical study of the influence of internal heat source in naturally ventilated offices. *Rem: Revista Escola de Minas, 69 (1)*, 45–51. doi: http://doi.org/10.1590/0370-44672015690099

7. Tsynaeva, E., Tsynaeva, A. (2017). The study of thermal processes in control systems of heat consumption of buildings. *Problems of Thermal Physics and Power Engineering*. Moscow. doi: http://doi.org/10.1088/1742-6596/891/1/012159

8. *The home of DOE-2 based building energy use and cost analysis software*. Available at: http://www.doe2.com/

9. *Energy plus energy simulation software.* U.S. Department of Energy. Available at: http://elearning-southzeb.eu/mod/page/view.php?id=111

10. *Statens byggeforskningsinstitut.* Available at: http://www.sbi.dk/indeklima/simulering

11. *ESP-r*. Available at: http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm

12. Zhu, D., Hong, T., Yan, D., Wang, C. (2013). A detailed loads comparison of three building energy modeling programs: EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E. *Building Simulation, 6 (3)*, 323–335. doi: http://doi.org/10.1007/s12273-013-0126-7

13. Rohdin, P., Moshfegh, B. (2011). Numerical modelling of industrial indoor environments: A comparison between different turbulence models and supply systems supported by field measurements. *Building and Environment, 46 (11)*, 2365–2374. doi: http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.019

The object of research in this work is unproductive heat loss in buildings and construction structures, due to the nature of the heat and mass transfer process, which operates in a complex architectural and structural scheme. One of the ways to reduce unproductive heat losses in buildings and construction is the use of information and control technologies and systems for managing such objects. These technologies and systems based on information processing on the state of buildings and construction facilities should ensure the formation of effective managerial 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 the energy efficiency control systems of buildings and outside of their heat and mass transfer processes, they are analyzed either in a simple statement or in separate elements of the architectural design of a building structure. Such an approach to modeling the heat and mass transfer process does not provide a sufficiently complete assessment of unproductive heat loss. This is due to the fact that the process of heat and mass transfer is a complex interconnected and interdependent system and operates in a complex architectural and structural system of a building

structure. In this paper, a component-oriented information technology is proposed that relies on a mathematical model of an interconnected and interdependent heat and mass transfer process that operates in any complex architectural and structural scheme of a house or building structure. This model, in comparison with other models used, covers all the basic properties of heat and mass transfer both in building envelopes and in vapor-air spaces. It takes into account the heat input to the house from heating and lighting systems, solar radiation and people in the building. So, it allows to more fully evaluate the heat loss in a house or building.

Keywords: *interconnected and interdependent heat exchange processes, heat and mass transfer modeling, information and control technologies.*

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ