

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова

ПАРФЕНЕНКО ЮЛІЯ ВІКТОРІВНА



УДК 658.264:004.9+004.891.2

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ
ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНО-БЮДЖЕТНОЇ СФЕРИ

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Неня Віктор Григорович,
Сумський державний університет,
доцент кафедри комп'ютерних наук (м. Суми).

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Шостак Ігор Володимирович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
професор кафедри інженерії
програмного забезпечення (м. Харків);

кандидат технічних наук
Груздо Ірина Володимирівна,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
старший викладач кафедри соціальної
інформатики (м. Харків).

Захист відбудеться «21» квітня 2016 р. о 12-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.089.04 у Харківському національному університеті міського господарства ім. О. М. Бекетова Міністерства освіти і науки України: 61002, м. Харків, вул. Революції, 12, конференц-зала № 1.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова за адресою: 61002, м. Харків, вул. Революції, 12.

Автореферат розісланий «__» березня 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю. Ю. Гусєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Системи централізованого тепlopостачання є основним джерелом теплової енергії для індивідуально-побутового сектору, промислових підприємств та соціально-бюджетної сфери міст. На сьогодні існує необхідність вирішення проблеми енергозбереження у комунальній теплоенергетиці. Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів та зростання їх вартості спричиняють підвищення тарифів на теплову енергію. Єдиним шляхом скорочення оплати за спожиту теплову енергію є зменшення обсягів її споживання. При цьому необхідно зберегти комфортні умови в опалюваних приміщеннях для споживачів.

Існує два основних напрями реалізації задач енергозбереження в системах централізованого тепlopостачання. Перший напрям полягає у підвищенні енергоефективності будівель шляхом утеплення стін, заміни вікон тощо. Другий напрям пов'язаний із розробленням та використанням систем управління теплозабезпеченням. Впровадження заходів із підвищення енергоефективності будівель не призводить до економії споживання теплової енергії, якщо їх не поєднувати з управлінням теплозабезпеченням на стороні споживача. Стосовно об'єктів соціально-бюджетної сфери значний потенціал енергозбереження міститься у своєчасному управлінні теплозабезпеченням з урахуванням графіка роботи закладу та зміни погодних умов.

Застосування інформаційних технологій під час вирішення задач економії споживання теплової енергії полягає в автоматизації процесів моніторингу та підтримки прийняття рішень при управлінні режимами теплозабезпечення.

Складність ієрархічної структури систем теплозабезпечення, а також необхідність урахування невизначеностей впливу зовнішнього середовища та неузгодженість критеріїв на різних рівнях управління визначають різноманітність наукових напрямів і технічних рішень реалізації окремих задач автоматизації управління процесом теплозабезпечення. Теоретичні основи системних досліджень у теплоенергетиці закладені Л. А. Мелентьєвим. Науково-методологічні основи моделювання трубопровідних мереж відображені у працях А. П. Меренкова, В. Я. Хасилева, А. Г. Євдокимова, А. Д. Тевяшева, Л. С. Попиріна, В. М. Дубового. Технології автоматизації моніторингу стану функціонування теплових мереж розглядаються у працях А. Г. Фіногеева, Ф. Вернстеда (Wernstedt), П. Давідсона (Davidsson). Питанню вирішення задач прогнозування потреб будівель у тепловій енергії присвячено праці Г. К. Вороновського, К. В. Махотило, Л. В. Масселя, Б. Чрамкова (Chramcov), П. Бачера (Bacher), М. Грзенди (Grzenda), П. Досталь (Dostál) та ін. Методологічні підходи до управління проектами з енергозбереження під час експлуатації та реконструкції систем теплозабезпечення розглядаються у працях М. К. Сухонос, Ю. Н. Харитонова.

Незважаючи на широке застосування інформаційних технологій для автоматизації розв'язання окремих задач у комунальній теплоенергетиці, на сьогоднішній час відсутній єдиний комплексний підхід до вирішення проблеми підвищення ефективності процесів прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери. Удосконалення інформаційної підтримки процесів прийнят-

тя рішень дозволить підвищити ефективність прийнятих рішень щодо управління режимами теплозабезпечення, що, у свою чергу, дозволить скоротити споживання теплової енергії будівлею при забезпеченні комфортних умов в опалюваних приміщеннях.

Таким чином, дисертаційне дослідження спрямоване на вирішення важливої науково-прикладної задачі, суть якої полягає у підвищенні ефективності управління теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери за рахунок розроблення спеціального методичного забезпечення, а також впровадження на його основі інформаційної технології підтримки прийняття рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконувалося на кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету у рамках науково-дослідних робіт «Науково-методологічні основи розробки інформаційних технологій для розподілених систем» (ДР № 0111U006119) і «Моделі та інформаційні технології проектування і управління в складних системах» (ДР № 0115U001569), а також комплексної цільової програми розвитку Сумського державного університету «Енергоєфективний СумДУ», в яких здобувач брала участь як виконавець.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності рішень щодо управління теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери шляхом розроблення моделей, інформаційної технології та системи підтримки прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно вирішити такі взаємозв'язані задачі:

- провести аналіз моделей, методів та інструментальних засобів, що використовуються при вирішенні задачі управління теплозабезпеченням будівель;
- створити модель моніторингу теплозабезпечення об'єкта соціально-бюджетної сфери;
- синтезувати модель короткострокового прогнозування споживання теплової енергії будівлею закладу соціально-бюджетної сфери;
- розробити моделі визначення режиму теплозабезпечення та формування рішення щодо управління режимами теплозабезпечення;
- розробити методичне забезпечення та інформаційну технологію підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери;
- спроектувати архітектуру, виконати програмну реалізацію та провести апробацію web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень (СППР) при управлінні режимами теплозабезпечення будівель закладу соціально-бюджетної сфери.

Об'єктом дослідження є процес прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

Предмет дослідження – моделі та інформаційна технологія розв'язання задач підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

Методи дослідження. Під час розв'язання поставлених задач було використано методологію системного аналізу для формалізації процедури підтримки прийнят-

тя рішень при управлінні теплозабезпеченням на стороні споживача, елементи теорії множин для формування моделі моніторингу теплозабезпечення, методи нейромережевого прогнозування для побудови моделі визначення прогнозованого значення теплоспоживання, методи чисельного моделювання для визначення параметрів потокорозподілу теплової мережі, методи теорії нечітких множин та нечіткої логіки для формування моделей підтримки прийняття рішень, методи структурного аналізу та функціонального моделювання інформаційних систем для побудови структурно-функціональних моделей процесів моніторингу, прогнозування, чисельного моделювання та підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в тому, що поставлено та вирішено важливу науково-прикладну задачу підвищення ефективності рішень щодо управління теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери шляхом розроблення та впровадження інформаційної технології підтримки прийняття рішень.

Конкретні нові наукові результати, одержані особисто автором, полягають у такому:

вперше:

– запропоновано модель для визначення режиму теплозабезпечення, що використовує математичний апарат нечіткої логіки, яка дозволяє встановити відповідність між фактичним значенням теплоспоживання та режимом теплозабезпечення;

– розроблено модель формування рішення щодо управління режимами теплозабезпечення з використанням математичного апарату нечіткої логіки, що дозволяє визначити значення управляючого параметра для встановлення необхідного режиму теплозабезпечення;

удосконалено:

– модель моніторингу теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери, яка, на відміну від існуючих, дозволяє здійснювати моніторинг процесу теплозабезпечення з урахуванням факторів впливу на нього, та зі ступенем деталізації параметрів функціонування системи теплозабезпечення, необхідним для підтримки прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери;

– модель прогнозування теплоспоживання будівель соціально-бюджетної сфери на основі штучних нейронних мереж, яка дає можливість комплексного врахування факторів впливу на потребу будівлі у тепловій енергії, що дозволяє підвищити точність прогнозування;

набуло подальшого розвитку:

– інформаційне забезпечення управління процесом теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери за рахунок розробленої інформаційної технології підтримки прийняття рішень, яке дозволяє підвищити ефективність рішень щодо регулювання теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери на місцевому рівні.

Практичне значення одержаних результатів. На основі узагальнення відомих результатів та одержаних автором наукових положень закладено методичну основу удосконалення інформаційного забезпечення процесу підтримки прийняття

рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери на місцевому рівні. Розроблено математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення процесу підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

Проведено апробацію використання інформаційної технології підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери шляхом розроблення на її основі СППР «HeatSAM», яка використовувалася при регулюванні теплозабезпечення будівель Сумського державного університету (акт впровадження від 02.12.2014 р.), а також Садівської ЗОШ селища Сад Сумського району (акт впровадження від 15.01.2015 р.). Апробація підтвердила ефективність запропонованої у дисертаційному дослідженні інформаційної технології. Досягнуто зменшення рівня споживання теплової енергії на опалення будівель при регулюванні теплозабезпечення при збереженні необхідного температурного режиму в опалюваних приміщеннях.

Результати дисертаційного дослідження використовувалися у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету при підготовці бакалаврів за напрямом «Комп'ютерні науки», спеціалістів та магістрів зі спеціальності «Інформаційні технології проектування» (акт впровадження від 20.01.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові та практичні результати роботи, що виносяться на захист, одержані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто автору належать такі наукові результати: інформаційна технологія моніторингу функціонування системи теплозабезпечення [1]; системна модель процесу централізованого теплозабезпечення [2]; концептуальна модель інформаційної системи аналізу теплозабезпечення та її реалізація у підсистемі збирання даних інформаційно-аналітичної системи моніторингу та прогнозування теплозабезпечення будівель [4, 22]; алгоритмічне забезпечення розв'язання задач моніторингу функціонування системи теплозабезпечення, формування моделі топології теплової мережі, а також візуалізації даних моніторингу [5, 18, 19]; архітектура та реалізація інформаційно-аналітичної системи моніторингу та прогнозування теплозабезпечення будівель [6, 7, 20, 21]; комплексна модель розрахунку поточкорозподілу в системі теплопостачання [8, 16]; системна модель та інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням [9, 14]; модель прогнозування теплоспоживання будівель соціально-бюджетної сфери [10, 17]. Праці [3, 11, 12, 13, 15] опубліковані здобувачем особисто.

Апробація результатів дисертації. Апробація результатів дисертаційного дослідження проводилася на наукових конференціях та семінарах: II Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті (ІСПО)-2009» (м. Суми, 2009 р.); IX Міжнародній науково-технічній конференції «Математичне моделювання та інформаційні технології» (м. Одеса, 2009 р.); X Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інформаційні системи і технології» (м. Одеса, 2010 р.), 17-й Міжнародній науково-технічній конференції з автоматичного управління «Автоматика-2010» (м. Харків, 2010 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Наука і соціальні проблеми суспільства: інформатизація та

інформаційні технології» (м. Харків, 2011 р.); 17-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» (м. Харків, 2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT-2011)» (м. Київ, 2011 р.); VI Міжнародній конференції «IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2011)» (м. Прага, Чехія, 2011 р.); I та III Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні системи та технології» (м. Суми, 2012, 2014 рр.); III та IV Міжнародних науково-технічних конференціях студентів і науковців «Сучасні інформаційні технології» (м. Одеса, 2013, 2014 рр.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні» (м. Київ, 2014 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення у галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (м. Запоріжжя, 2014 р.); 20-й та 21-й Міжнародних наукових конференціях «Information and Software Technologies (ICIST 2014, ICIST 2015)» (м. Каунас, Литва, 2014, 2015 рр.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, спеціалістів, аспірантів конференції «Проблеми енергоресурсозбереження у промисловому регіоні. Наука і практика» (м. Маріуполь, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерні науки в міському та регіональному господарстві» (м. Харків, 2015 р.), наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету (м. Суми, 2009–2015 рр.).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження викладені у 22 друкованих працях, серед яких 9 статей – у наукових фахових виданнях України, 1 стаття – у закордонному науковому виданні, що індексується наукометричною базою даних Scopus, 10 тез доповідей – у збірниках праць наукових конференцій, серед яких 1 тези доповідей вміщено до видання, що індексується наукометричною базою даних Scopus. Також за результатами дисертаційного дослідження одержано 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 160 найменувань та 1 додатка на 5 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 171 сторінка, серед них 144 сторінки основного тексту. Дисертаційна робота містить 79 рисунків та 18 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, показано зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими темами та програмами, визначено особистий внесок здобувача в наукових роботах, опублікованих у співавторстві, подано інформацію про апробацію та публікацію результатів дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану застосування інформаційних технологій під час реалізації задач енергетичного менеджменту у теплоенергетиці. Впровадження системи енергетичного менеджменту є необхідною умовою

підвищення енергоефективності закладів соціально-бюджетної сфери. Автоматизація таких основних функцій енергетичного менеджменту, як контроль, облік, аналіз та прийняття управлінських рішень потребує розроблення і впровадження інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень.

Проведено аналіз системи теплозабезпечення (СТ) як об'єкта управління. Установлено, що управління СТ проходить за умов невизначеностей, пов'язаних із нестационарністю процесів у СТ, а також стохастичним характером зовнішніх факторів впливу на процес теплозабезпечення. Управління СТ закладу соціально-бюджетної сфери на місцевому рівні здійснюється на стороні споживача в індивідуальному тепловому пункті (ІТП) та являє собою замкнений процес, що має на меті встановлення необхідного кінцевого споживачеві режиму теплозабезпечення, який би забезпечував санітарні норми температури повітря в опалювальних приміщеннях при зміні значень зовнішніх факторів впливу на потребу у теплозабезпеченні. Процес управління СТ вимагає проведення моніторингу функціонування СТ в режимі реального часу, подання даних моніторингу у формі, зручній для прийняття рішень, а також розроблення моделей прогнозування теплоспоживання та підтримки прийняття рішень, використання яких дозволяє забезпечити ефективність та підвищити оперативність прийняття рішень.

На основі проведеного аналітичного огляду наукових праць, пов'язаних із дослідженням питань інформаційної підтримки процесів прийняття рішень у теплоенергетиці, а також аналізу функціональних можливостей існуючих програмних продуктів, призначених для автоматизації задач управління теплозабезпеченням будівель, обґрунтовано актуальність та виконано постановку задачі дисертаційного дослідження.

Основні результати розділу опубліковано у працях [2, 15].

У **другому розділі** розглянуто задачу та виділено складові інформаційного забезпечення підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери на стороні споживача.

Підтримка прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери на стороні споживача здійснюється за схемою, наведеною на рис. 1. У ході проведення оперативного моніторингу збираються дані параметрів теплозабезпечення, а також дані про значення факторів впливу на потребу у теплозабезпеченні. Дані моніторингу після попередньої обробки розміщуються в базі даних. Аналітична підтримка прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери здійснюється з використанням комплексу моделей, до складу якого входять модель моніторингу, модель прогнозування теплоспоживання, модель розрахунку параметрів поточного розподілу, а також моделей визначення поточного режиму теплозабезпечення та надання рекомендацій для встановлення необхідного режиму теплозабезпечення.

Для формування рішення щодо управління режимом теплозабезпечення використовуються знання експертів – фахівців з енергетичного менеджменту, що зберігаються в базі знань. Особа, яка приймає рішення (ОПР), на основі результату аналізу усіх даних, що використовуються у процесі прийняття рішення, повинна визнача-

ти управляючий вплив на СТ, у результаті реалізації якого встановлюється необхідний або підтримується вже встановлений режим теплозабезпечення.

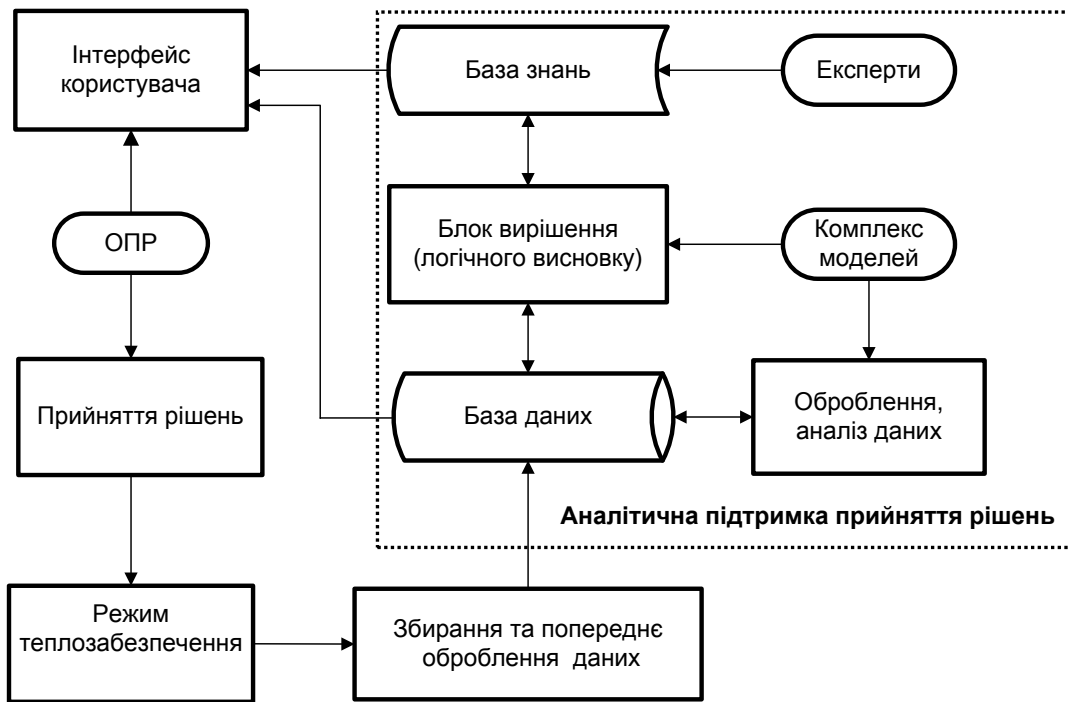


Рисунок 1 – Схема процесу підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери

Джерело: складено автором самостійно.

В якості інформаційного забезпечення підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери на стороні споживача запропоновано СППР, що містить компоненти

$$DS = (O, H_c, H_m, S_c, C_{ch}, C_s, Z, D_s), \quad (1)$$

де O – множина ОПР; H_c – множина апаратного забезпечення; H_m – множина приладів обліку, з яких знімаються показники; S_c – множина програмного забезпечення; C_{ch} – множина каналів зв'язку; C_s – множина сигналів зв'язку; Z – множина завдань, які повинна виконувати СППР; D_s – множина даних, на основі яких приймаються рішення.

Процес роботи СППР може бути поданий у вигляді відображення

$$\text{Proc} \rightarrow O \times H_c \times H_m \times S_c \times C_{ch} \times C_s \times Z \times D_s. \quad (2)$$

Множина завдань Z , які повинна виконувати СППР при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери, подана у вигляді

$$Z = Z_m \cup Z_s \cup Z_p \cup Z_f, \quad (3)$$

де Z_m – множина завдань моніторингу; Z_s – множина завдань моделювання теплової мережі; Z_p – множина завдань прогнозування теплоспоживання; Z_f – множина завдань формування рішень.

Розроблено модель моніторингу теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери із використанням математичного апарату теорії множин. Множина параметрів моніторингу $M_p = M_{po} \cup M_{pi}$ складається із підмножини M_{po} , яка містить параметри, що знімаються в оперативному режимі, та множини M_{pi} , яка містить параметри, які обчислюються на основі зібраних в оперативному режимі даних. Множина $M_{po} = M_{wo} \cup M_{ho}$ параметрів моніторингу, що знімаються в оперативному режимі, складається із підмножин параметрів теплозабезпечення M_{ho} та параметрів погодних умов M_{wo} .

Множина параметрів теплозабезпечення M_{ho} , моніторинг яких здійснюється в оперативному режимі, може бути подана у вигляді $M_{ho} = M_{hmo} \cup M_{ps0} \cup M_{iso}$, де M_{hmo} – множина параметрів, знятих із лічильника теплової енергії; M_{ps0} – із датчиків тиску; M_{iso} – із датчиків температури. Множина моніторингу погодних умов, що здійснюється в оперативному режимі, $M_{wo} = \{t, v, p, h\}$ складається з елементів, що містять зібрані в оперативному режимі дані про температуру, швидкість вітру, атмосферний тиск, вологість повітря відповідно.

Множина об'єктів обліку параметрів теплозабезпечення $M_{ho} = M_{hmo} \cup M_{ps0} \cup M_{iso}$ складається з підмножин лічильників M_{hmo} , датчиків тиску M_{ps0} та датчиків температури M_{iso} , які встановлено на об'єкті обліку.

Модель зв'язку параметрів моніторингу теплозабезпечення та будівель, для яких здійснюється моніторинг, подано у вигляді: $R_{ho} = \{(p_h, b_h) \mid p_h \in M_{ho} \wedge b_h \in B_h\}$, де B_h – множина усіх будівель закладу соціально-бюджетної сфери.

Тоді модель значень параметрів моніторингу теплозабезпечення, що знімаються в оперативному режимі із приладів обліку, можна подати у вигляді

$$D_{ho} = \{(r_h, s_h, time, date) \mid r_h \in R_{ho} \wedge s_h \in S_h \wedge time \in T_h \wedge date \in D\}, \quad (4)$$

де S_h – множина усіх значень, яких можуть набувати параметри моніторингу; T_h – множина часових інтервалів, через які відбувається їх реєстрація, $T_h = \{time : time \in Z, 0 \leq time \leq 23\}$; $D = \{(date, type) \mid date \in D_s, type \in T_s\}$, де $|D_s| = n$, а n – кількість днів опалювального сезону, T_s – множина типів днів тижня, що визначаються графіком роботи закладу соціально-бюджетної сфери.

Модель значень параметрів моніторингу погодних умов можна представити у вигляді

$$D_{wo} = \{(p_w, s_w, time, date) \mid p_w \in M_{wo} \wedge s_w \in S_w \wedge time \in T_w \wedge date \in D_s\}, \quad (5)$$

де S_w – множина усіх значень, яких можуть набувати параметри моніторингу погодних умов; $T_w = \{time_n : time_n = 2 + 3(n-1), 1 \leq n \leq 7\}$, $|T_w| = 8$.

Множина M_{pi} містить середньодобові показники моніторингу, обчислені на основі зібраних в оперативному режимі даних.

Дані, зібрані при проведенні моніторингу теплозабезпечення, використовуються при прогнозуванні потреби будівлі закладу соціально-бюджетної сфери у тепловій енергії, при визначенні поточного режиму теплозабезпечення, а також при формуванні рішень щодо управління режимом теплозабезпечення.

Для вирішення задачі прогнозування потреби будівлі закладу соціально-бюджетної сфери у тепловій енергії використано метод нейромережевого прогнозування.

Процедура побудови математичної моделі прогнозування теплоспоживання є задачею знаходження такої моделі нейронної мережі, яка б виконувала нелінійну апроксимацію відображення, при якому забезпечується прийнятне значення заданого критерію якості:

$$Zp \rightarrow Y(t) = F(X), \quad (6)$$

де X – множина значень входів нейронної мережі; Y – прогнозоване (вихідне значення); $F(\cdot)$ – оператор нейромережевого відображення значення вхідних факторів у значенні вихідної величини.

Множина значень входів нейронної мережі X складається з набору часових рядів $X = (x_{1t}, \dots, x_{5t}, y_t)$, які містять щодобові дані моніторингу показників: x_{1t} – температури навколишнього середовища, °C; x_{2t} – швидкості вітру, м/с; x_{3t} – атмосферного тиску, мм рт. ст.; x_{4t} – вологості повітря, %; x_{5t} – типу дня тижня; y_t – теплоспоживання.

Результуюча змінна нейромережевого прогнозування Y – витрати теплової енергії на обігрівання об'єкта теплоспоживання за одну добу, Гкал.

Для реалізації нейромережевого прогнозування теплоспоживання будівель побудовано моделі прогнозування на основі архітектур нейронних мереж:

– нелінійної нейронної мережі типу NIO, що враховує при прогнозуванні лише вхідні змінні:

$$Y(t) = F(X(t-1), X(t-2), \dots, X(t-n)), \quad (7)$$

– нелінійної нейронної мережі типу NAR, що враховує при прогнозуванні лише дані попередніх прогнозів:

$$Y(t) = F(Y(t-1), Y(t-2), \dots, Y(t-n)) \quad (8)$$

– нелінійної нейронної мережі типу NARX, що поєднує як вхідні змінні, так і дані попередніх прогнозів:

$$Y(t) = F(Y(t-1), Y(t-2), \dots, Y(t-n), X(t-1), X(t-2), \dots, X(t-n)), \quad (9)$$

де $Y(t)$ – вихідна змінна моделі прогнозування теплоспоживання; $Y(t-1), \dots, Y(t-n)$ – значення вихідної змінної моделі прогнозування теплоспоживання у попередні періоди часу; $X(t-1), \dots, X(t-n)$ – поточні та попередні значення вхідних змінних моделі прогнозування теплоспоживання; t – змінна, що задає значення дискретного моменту часу; n – змінна, що визначає період затримки прогнозування.

зу. Навчання нейронних мереж, побудованих на основі моделей (7–9), проводилося із використанням даних про теплоспоживання, метеорологічних умов та графіка роботи закладу за попередні опалювальні сезони. Для навчання побудованих нейронних мереж використано метод нелінійної оптимізації Левенберга-Марквардта.

Проведено обчислювальні експерименти для оцінювання достовірності побудованих моделей прогнозування. Визначено значення помилок прогнозу: середньої абсолютної помилки прогнозу MAE, середньої абсолютної помилки прогнозу у відсотках MAPE, квадратного кореня із середньоквадратичної помилки прогнозу RMSE. Було встановлено, що найбільшу точність має прогноз теплоспоживання з використанням моделі нелінійної нейронної авторегресійної мережі типу NARX. Значення помилки MAPE для цього типу нейронної мережі складає менше 5%, що підтверджує високу точність прогнозування.

Для прийняття рішень щодо управління режимами теплозабезпечення використовуються як поточні значення теплоспоживання будівлі, так і прогнозовані. Якщо управління теплозабезпеченням здійснюється не на вході в будівлю, а на об'єкті розподілу теплоносія на декілька будівель, тобто віддалено від місця зняття показників моніторингу, то зібрані значення теплоспоживання повинні бути відкориговані для врахування зміни фізичних властивостей параметрів теплоносія при його транспортуванні мережею теплопостачання. Для реалізації задачі уточнення значень теплоспоживання необхідно проводити розрахунок параметрів потокорозподілу на основі топологічної моделі мережі теплопостачання та моделі функціонування СТ.

Топологічна модель мережі теплопостачання базується на теорії графів. Схему мережі теплопостачання можна представити двома упорядкованими множинами: множиною вузлів $I = \{i: i = 1 \dots m\}$, яку можна розглядати як множину вершин графа, та множиною труб $J = \{j: j = 1 \dots n\}$, що є множиною ребер графа, яка відображає парні зв'язки між вузлами мережі теплопостачання.

Граф мережі теплопостачання можна подати за допомогою матриці інциденцій A , що будується за правилами:

$$A_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{якщо ребро } e_i \text{ входить у вершину } v_j, \\ -1, & \text{якщо ребро } e_i \text{ виходить із вершини } v_j, \\ 0, & \text{якщо ребро } e_i \text{ не інцидентне вершині } v_j. \end{cases} \quad (10)$$

Матриця контурів B , що використовується при формуванні моделі функціонування СТ, будується за правилами:

$$B_{rj} = \begin{cases} 0, & \text{якщо ребро } i \text{ не належить контуру } r, \\ +1, & \text{якщо ребро } i \text{ входить до контуру } r \text{ і його орієнтація} \\ & \text{збігається із напрямом обходу контуру,} \\ -1, & \text{якщо ребро } i \text{ входить у контур } r, \text{ але його орієнтація} \\ & \text{не збігається із напрямом обходу контуру.} \end{cases} \quad (11)$$

Топологічна модель мережі теплопостачання використовується при візуалізації схеми мережі теплопостачання та відображенні даних моніторингу з прив'язкою до топології мережі, а також при формуванні моделі функціонування СТ.

Чисельний розрахунок параметрів поточкорозподілу теплоносія виконується за моделлю, що представлена системою рівнянь, розмірність якої визначається кількістю гілок та контурів у мережі тепlopостачання:

$$\begin{cases} A \times Q^r = Q_{\text{вузл}}^r, \\ S \times |Q^r| \times Q^r \times B = B \times H_n, \end{cases} \quad (12)$$

де A – матриця інциденцій; B – матриця контурів; Q^r – витрата теплоносія; $Q_{\text{вузл}}^r$ – витрата теплоносія у вузлі; S – витрата напору у гілці; H_n – напір насоса.

Розв’язання системи рівнянь (12) дозволяє встановити параметри поточкорозподілу методом послідовних наближень.

Для побудови моделей визначення поточного режиму теплозабезпечення та визначення регульовального параметра для встановлення необхідного режиму теплозабезпечення обрано методи теорії нечітких множин та нечіткої логіки як засіб формалізації експертних знань.

Модель нечіткого логічного виведення значення режиму теплозабезпечення подано у вигляді

$$R_c = \begin{cases} f(ZY1), \text{ if } Zw \text{ is } Zw1, \\ f(ZY2), \text{ if } Zw \text{ is } Zw2, \\ f(ZY3), \text{ if } Zw \text{ is } Zw3, \\ f(ZY4), \text{ if } Zw \text{ is } Zw4, \end{cases} \quad (13)$$

де R_c – режим теплозабезпечення; $ZY1, ZY2, ZY3, ZY4$ – лінгвістичні змінні, що визначають кількість спожитої теплової енергії за різних температурних умов навколишнього середовища, Гкал, заданих на універсальній множині $[0; 50]$; Zw – лінгвістична змінна, яка характеризує стан температурних умов навколишнього середовища, °C, задана на універсальній множині $[-30; 20]$; $Zw1, Zw2, Zw3, Zw4$ – терми лінгвістичної змінної Zw .

Згідно із цією моделлю спочатку визначається стан температурних умов навколишнього середовища як функція від середньодобового значення температури повітря $Zw = F(Xw)$, де вихідна змінна Zw задає належність температури повітря навколишнього середовища певному стану; Xw – температура повітря навколишнього середовища, °C.

Залежно від одержаного значення змінної Zw значення режиму теплозабезпечення R_c визначається із формули (13) за однією із чотирьох моделей нечіткого логічного виведення, побудованих з використанням лінгвістичних змінних $ZY1, ZY2, ZY3, ZY4$. Для реалізації моделей нечіткого логічного виведення рішення щодо визначення стану температурних умов та поточного режиму теплозабезпечення обрано алгоритм Сугено.

У загальному вигляді модель нечіткого логічного виведення рішення щодо управління режимами теплозабезпечення об’єктів соціально-бюджетної сфери можна подати функцією

$$Z = F(ZY, BY), \quad (14)$$

де Z – значення регулювального параметра; ZY – змінна, що характеризує поточний режим теплозабезпечення, Гкал, задана на універсальній множині $[0; 50]$; BY – змінна, що характеризує необхідний режим теплозабезпечення, Гкал, задана на універсальній множині $[0; 50]$.

На основі експертного опитування для моделей (13) та (14) визначено термножини лінгвістичних змінних та побудовано функції належності кожної лінгвістичної змінної. Для моделі (13) обрано трапецієподібну форму функцій належності для термів вхідних змінних, вихідні змінні задаються константними значеннями. Для нечіткого логічного виведення рішення щодо визначення режиму теплозабезпечення обрано алгоритм Сугено. Результатом роботи моделі (13) є визначення поточного режиму теплозабезпечення R_c серед можливих значень «Нижче за необхідний», «Допустимий», «Оптимальний», «Перевищує оптимальний». Визначення поточного режиму дозволяє контролювати додержання належних температурних умов в опалювальних приміщеннях та своєчасно виявляти відхилення від запланованого режиму. Для моделі (14) обрано трапецієподібну форму функцій належності для термів вхідних змінних і трикутну форму – для вихідної змінної. Для нечіткого логічного виведення рішення щодо управління режимом теплозабезпечення обрано алгоритм Мамдані.

Приклад правила нечіткого логічного виведення рішення щодо управління режимом теплозабезпечення наведено в табл.1. Чіткі значення змінних фактичної та прогнозованої кількостей теплової енергії, що витрачається на опалювання будівлі соціально-бюджетної сфери, входять до складу передумов правил як предикати.

Таблиця 1 – Приклад формального нечіткого правила виведення СППР

Передумова	ZY is $ZYM1$, BY is $BYM2$
Формулювання правила	If ZY is $ZYM1$ and BY is $BYM2$ then $Z=NC$;
Інтерпретація	Якщо зараз встановлено «Режим допустимий 1» і завтра потрібно буде встановити «Режим допустимий 1», то зміну регулювального параметра «Залишити без змін»

Джерело: складено автором самостійно.

Результатом роботи моделі (14) є рекомендація щодо регулювання поточного режиму теплозабезпечення до необхідного серед можливих значень «Допустимий», «Оптимальний».

ОПР одержує дані про відповідність поточного режиму теплозабезпечення одному з можливих значень та рекомендації щодо управління теплозабезпеченням об'єкта соціально-бюджетної сфери для встановлення необхідного режиму, на основі яких дає вказівки щодо регулювання функціонування системи теплозабезпечення на стороні споживача.

Таким чином, розроблений комплекс моделей реалізує завдання збирання, оброблення та аналізу даних, на основі яких приймаються рішення щодо управління

централізованим теплозабезпеченням закладів соціально-бюджетної сфери з урахуванням факторів впливу на коливання потреби у теплозабезпеченні.

Основні результати розділу опубліковано у працях [3, 8, 10, 13, 16].

Третій розділ присвячено розробленню системних моделей, алгоритмічного забезпечення та інформаційної технології підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери. У результаті проведеного системного аналізу інформаційних взаємозв'язків між складовими процесу управління централізованим теплозабезпеченням із використанням методології SADT на основі нотацій IDEF0 та IDEF3 побудовано функціональні моделі процесів моніторингу, прогнозування, чисельного розрахунку параметрів поточкорозподілу, а також формування рішення щодо визначення режиму теплозабезпечення й надання рекомендацій щодо його регулювання. Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття рішень при управлінні режимами централізованого теплозабезпечення будівель, що об'єднує моделі та алгоритмічне забезпечення реалізації задач моніторингу параметрів функціонування теплозабезпечення будівель та метеорологічних умов навколишнього середовища, прогнозування теплоспоживання будівель, розрахунку параметрів поточкорозподілу теплоносія в мережі тепlopостачання, а також підтримки прийняття рішень для надання рекомендацій щодо необхідності коригування встановленого режиму теплозабезпечення.

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери складається із шести взаємозв'язаних етапів. Функціональна модель запропонованої інформаційної технології зображена на рис. 2.

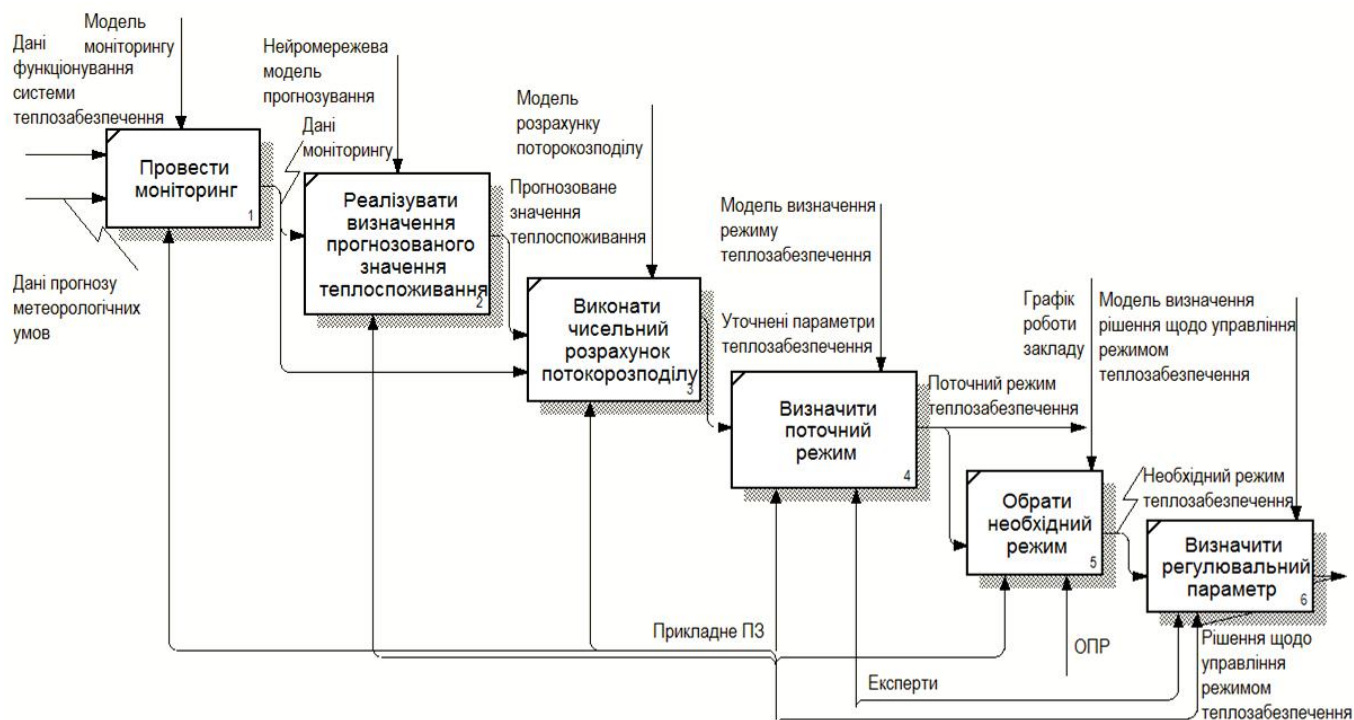


Рисунок 2 – Функціональна модель інформаційної технології підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери
Джерело: складено автором самостійно.

Етап 1. Проведення моніторингу. На цьому етапі виконуються збирання даних, використуваних при управлінні теплозабезпеченням, їх перевірка на коректність та збереження у базі даних. Множини даних моніторингу складаються із погодинних даних, що збираються в оперативному режимі, та даних щодобових показників моніторингу, які обчислюються на основі зібраних в оперативному режимі даних.

У результаті проведення моніторингу у базу даних заносяться записи про параметри функціонування теплозабезпечення об'єкта соціально-бюджетної сфери за певних метеорологічних умов навколишнього середовища та графіка роботи закладу, а також дані прогнозу метеорологічних умов навколишнього середовища.

Етап 2. Визначення прогнозованого значення теплоспоживання. Прогнозування потреби будівлі закладу соціально-бюджетної сфери у тепловій енергії здійснюється із використанням попередньо навченої нейронної мережі, модель якої наведена у розділі 2.

У результаті виконання етапу 2 визначаємо прогнозовану кількість теплової енергії, що дозволить забезпечити необхідні умови в опалюваних приміщеннях за певних значень факторів впливу на процес теплозабезпечення.

Етап 3. Чисельний розрахунок параметрів поточного поділу. Цей етап є обов'язковим у разі, якщо необхідно проводити уточнення одержаних показників моніторингу та визначеного прогнозованого значення теплоспоживання для врахування втрат теплової енергії теплоносія під час його транспортування.

При проведенні чисельного розрахунку використовуються топологічна модель мережі тепlopостачання (10, 11) та модель чисельного розрахунку параметрів поточного поділу теплоносія (12).

Етап 4. Визначення поточного режиму теплозабезпечення. На цьому етапі на основі побудованої моделі нечіткого логічного виведення рішення (13) здійснюється встановлення належності теплоспоживання об'єкта соціально-бюджетної сфери при певному стані погодних умов одному з можливих режимів.

Виконується порівняння визначеного режиму із запланованим значенням, на підставі якого можна оцінювати ефективність рішень щодо управління режимами теплозабезпечення.

Етап 5. Вибір необхідного режиму. ОПР здійснює вибір режиму теплозабезпечення, який необхідно встановити на наступну добу, та запускає на виконання модель визначення регульовального параметра, після чого виконується етап 6.

Етап 6. Визначення регульовального параметра. На цьому етапі виконується формування рішення щодо управління режимом теплозабезпечення на основі моделі нечіткого логічного виведення рішення (14).

Таким чином, ОПР одержує рекомендації щодо управління режимом теплозабезпечення у вигляді кількісного значення регульовального параметра.

Розроблена інформаційна технологія дозволяє проводити збирання, оброблення та зберігання даних, необхідних для управління теплозабезпеченням, внаслідок чого приймаються обґрунтовані рішення щодо регулювання теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери, що дозволяє забезпечити необхідний режим теплозабезпечення.

Основні результати розділу опубліковано у працях [1, 10, 11, 12, 14, 17].

Четвертий розділ присвячений опису розробленої СППР «HeatCAM», призначеної для підтримки прийняття рішень при управлінні режимами теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери, яка реалізує функціональні блоки запропонованої у розділі 3 інформаційної технології підтримки прийняття рішень. Узагальнену архітектуру СППР «HeatCAM» у вигляді UML-діаграми компонентів подано на рис. 3.

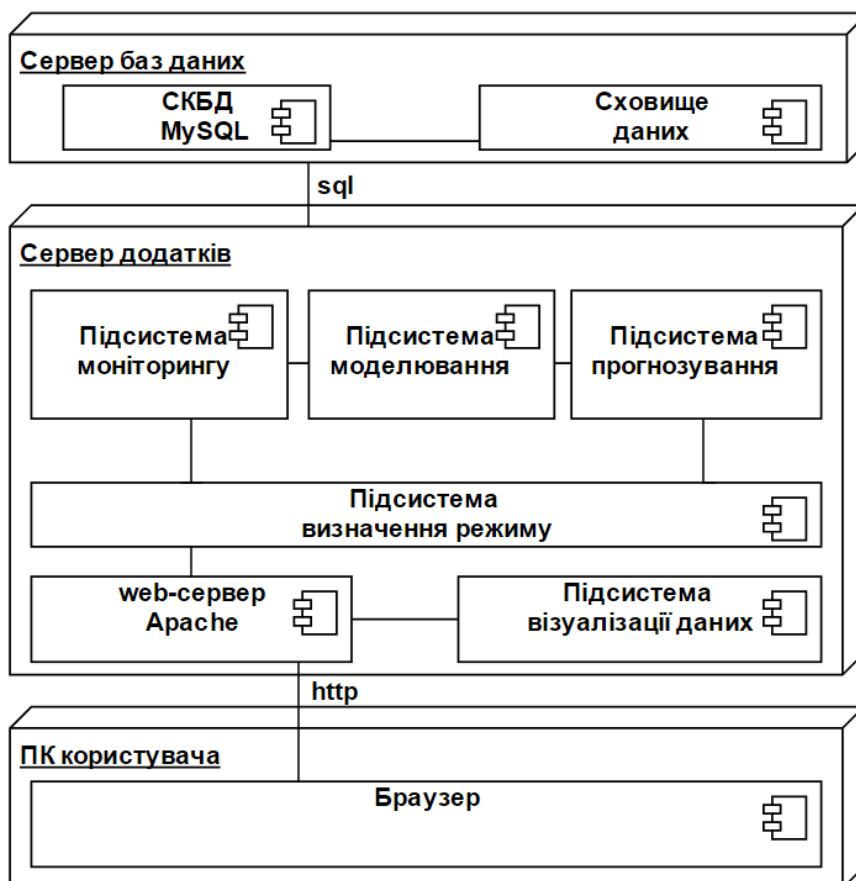


Рисунок 3 – Загальна архітектура СППР «HeatCAM»

Джерело: складено автором самостійно.

Вона включає в себе засоби збереження даних та маніпулювання даними, web-сервер, браузер клієнта, а також сукупність програмних модулів, що реалізують обробку даних.

СППР «HeatCAM» реалізована у вигляді web-додатка з авторизованим доступом на основі клієнт-серверної архітектури. Користувач із будь-якого комп'ютеризованого робочого місця, що має вихід у мережу Інтернет, може здійснювати роботу із СППР «HeatCAM» через web-інтерфейс системи. Обробка запитів користувача, які передаються протоколом http, здійснюється web-сервером Apache.

Функціональні можливості СППР «HeatCAM» реалізуються сукупністю програмних додатків, розроблених із використанням мови програмування PHP. Завдяки модульній структурі кожен користувач має доступ до необхідних йому компонентів СППР. Дані, обробка яких здійснюється запропонованою інформаційною системою, зберігаються в базі даних під управлінням СКБД MySQL.

Основними функціями СППР «HeatSAM» є моніторинг погодинних даних показників функціонування СТ та факторів впливу на потребу у теплозабезпеченні, а також визначення на їх основі щодобових даних моніторингу, прогнозування теплоспоживання, розрахунок параметрів поточного розподілу, визначення поточного режиму теплозабезпечення, формування рекомендацій щодо встановлення необхідного режиму теплозабезпечення, а також візуалізації даних на web-сторінці.

Таким чином, застосування СППР «HeatSAM», побудованої на основі поданої архітектури, забезпечує оперативне відстежування поточного стану теплозабезпечення, а також інформаційну підтримку прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

Для оцінювання якості прийнятих рішень було проведено експериментальне дослідження, у результаті якого встановлено, що під час аналізу 700 рішень, запропонованих СППР «HeatSAM» при управлінні теплозабезпеченням будівель Сумського державного університету, кількість правильних рішень становить 671. Таким чином, ризик прийняття неправильних рішень становить 4,1 %.

Виконано порівняння рівня теплоспоживання в опалювальному сезоні 2013–2014 рр., коли прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням здійснювалося без використання рекомендацій, наданих СППР «HeatSAM», та опалювального сезону 2014–2015 рр., під час якого управління теплозабезпеченням здійснювалося на основі наданих СППР «HeatSAM» рекомендацій.

Обчислено середнє значення кількості теплової енергії, що витрачається на опалювання будівлі за одну добу при цілих значеннях температури повітря навколишнього середовища в діапазоні від -15 до $+10$ °C в опалювальному сезоні 2013–2014 та 2014–2015 рр., та виконано порівняння обчислених значень рівня теплоспоживання, внаслідок чого встановлено, що використання СППР «HeatSAM» при управлінні теплозабезпеченням дозволило скоротити споживання теплової енергії у натуральних показниках на 15 % при збереженні комфортних умов в опалюваних приміщеннях.

Основні результати розділу опубліковано у працях [5, 6, 7, 9, 21, 22].

У **додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи в систему управління адміністративно-господарською діяльністю Сумського державного університету, Садівської ЗОШ селища Сад Сумського району, а також навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні сформульовано та вирішено актуальну задачу підвищення ефективності рішень щодо управління централізованим теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

Результатом проведеного дослідження є теоретичне узагальнення існуючих підходів до інформаційного забезпечення процесу управління централізованим теплозабезпеченням та реалізація інформаційної технології підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери, що відпо-

відно до мети і задач дослідження відображено в наукових та практичних результатах.

1. Проведено аналіз моделей та засобів інформаційного забезпечення управління централізованим теплозабезпеченням, на основі якого сформульовано мету й задачі дослідження.

2. Виконано аналіз системи теплозабезпечення як об'єкта управління, у результаті якого виділено складові інформаційного забезпечення процесу управління централізованим теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери на стороні споживача.

3. Розроблено модель моніторингу теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери, яка поєднує дані параметрів теплозабезпечення та факторів впливу на потребу в теплозабезпеченні зі ступенем деталізації, необхідним для підтримки прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням.

4. Удосконалено модель короткострокового прогнозування теплоспоживання будівель соціально-бюджетної сфери шляхом урахування впливу зміни погодних умов та режиму роботи закладу на потребу в теплозабезпеченні.

5. Розроблено моделі нечіткого логічного виведення рішення щодо визначення режиму теплозабезпечення та формування рішення щодо управління теплозабезпеченням закладу соціально-бюджетної сфери.

6. Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери, використання якої дозволяє підвищити ефективність рішень щодо управління теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

7. На основі розроблених моделей та інформаційної технології побудовано архітектуру, здійснено програмну реалізацію, а також проведено апробацію використання СППР «HeatSAM» для підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням будівель Сумського державного університету.

Достовірність запропонованих моделей та інформаційної технології підтверджена практично при застосуванні СППР «HeatSAM» як інструментарію підтримки прийняття рішень.

Наукові положення, висновки та практичні результати, одержані в ході проведення дисертаційного дослідження, пройшли апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях, обговорювалися на наукових семінарах та викладені у матеріалах наукових конференцій, статтях і звітах про науково-дослідну роботу.

Таким чином, було досягнуто мету дисертаційного дослідження, що полягає у підвищенні ефективності рішень щодо управління теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери шляхом розроблення моделей, інформаційної технології та системи підтримки прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності, внаслідок чого досягається скорочення споживання теплової енергії закладами соціально-бюджетної сфери при збереженні належних температурних умов в опалюваних приміщеннях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Парфененко Ю. В. Інформаційна технологія моніторингу функціонування системи теплопостачання підвищеної надійності [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. Г. Неня // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 4/9 (46). – С. 22–25.
2. Парфененко Ю. В. Аналіз функціонування системи теплопостачання як об'єкта управління [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. Г. Неня, О. І. Пономаренко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2010. – № 57. – С. 264–268.
3. Парфененко Ю. В. Інформаційна модель топології мережі теплопостачання [Текст] / Ю. В. Парфененко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – 2010. – № 21. – С. 136–140.
4. Парфененко Ю. В. Концептуальна модель інформаційної системи аналізу теплозабезпечення [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. В. Шендрик, С. І. Красніков // Інформаційні системи та мережі : [збірник наукових праць] / відповідальний редактор В. В. Пасічник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – С. 131–139.
5. Парфененко Ю. В. Розробка інструментальних засобів контролю теплозабезпечення будівель [Текст] / Ю. В. Парфененко, Р. П. Окопний, В. Г. Неня // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 34. – С. 22–25.
6. Інформаційно-аналітична система моніторингу та прогнозування теплозабезпечення будівель [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. В. Шендрик, В. Г. Неня, Р. П. Окопний // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 743. – Ч. 1. – С. 38–43.
7. Information System for Monitoring and Forecast of Building Heat Consumption [Text] / Yu. Parfenenko, V. Shendryk, V. Nenja, S. Vashchenko // Communications in Computer and Information Science. – Springer International Publishing, 2014. – Vol. 465. – P. 1–11.
8. Алексенко О. В. Визначення параметрів теплової мережі мікрорайону на основі комплексної адаптивної моделі [Текст] / О. В. Алексенко, В. Г. Неня, Ю. В. Парфененко, М. М. Проклова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон : Видавництво Херсонського національного технічного університету. – 2014. – № 3 (50). – С. 108–113.
9. Парфененко Ю. В. Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні режимами централізованого теплозабезпечення [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. Г. Неня, А. О. Бондаренко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 1/2 (21). – С. 8–13.
10. Парфененко Ю. В. Прогнозування теплоспоживання будівель соціально-бюджетної сфери з використанням нейронних мереж [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. В. Шендрик, О. С. Галіченко // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2015. – № 2 (33). – С. 41–46.

11. Парфененко Ю. В. Аналіз даних для моніторингу функціонування системи теплопостачання [Текст] / Ю. В. Парфененко // Інтелектуальні системи в промисловості і освіті (ІСПО)-2009 : тези доповідей Другої міжнародної науково-технічної конференції, Суми, 3–5 грудня 2009. – Суми : СумДУ, 2009. – С. 96–97.
12. Парфененко Ю. В. Інформаційна підтримка моніторингу системи теплопостачання [Текст] / Ю. В. Парфененко // Інформаційні системи і технології : Тези доповідей X Всеукраїнської науково-технічної конференції, Одеса, 21-22 квітня 2010. – Одеса : ОДАХ, 2010. – С. 117–119.
13. Парфененко Ю. В. Удосконалення математичної моделі при розробці автоматизованих систем теплогідравлічного розрахунку теплових мереж [Текст] / Ю. В. Парфененко // Автоматика-2010 : тези доповідей 17 Міжнародної науково-технічної конференції з автоматичного управління, Харків, 27–29 вересня 2010. – Харків : ХНУРЕ, 2010. – Т. 2. – С. 255–256.
14. Парфененко Ю. В. Інформаційне забезпечення підтримки прийняття рішень у комунальній теплоенергетиці [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. Г. Неня // Наука і соціальні проблеми суспільства: інформатизація та інформаційні технології : збірник наукових праць IV Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, 24–25 травня 2011. – Харків : ХНУРЕ, 2011. – С. 14–15.
15. Парфененко Ю. В. Системний підхід до аналізу функціонування системи теплопостачання міста [Текст] / Ю. В. Парфененко // Системний аналіз та інформаційні технології : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, Київ, 23–28 травня 2011. – Київ : ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2011. – С. 136.
16. Baranova I. V. Complex mathematical model for computer calculation of delivery and heat distribution in pipeline system [Text] / I. V. Baranova, Y. V. Parfenenko, V. G. Nenja // IDAACS'2011 : Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems : Technology and Application, Prague, CzechRepublic, September 15–17, 2011. – Vol. 2. – P. 556–559.
17. Парфененко Ю. В. Інформаційне забезпечення прогнозування теплоспоживання будівлі [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. В. Шендрик // Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті : матеріали 17-го Міжнародного молодіжного форуму, Харків, 22–24 квітня 2013. – Харків : ХНУРЕ, 2013. – С. 76-77.
18. Реалізація алгоритму формування моделі топології тепломережі як складової web-системи [Текст] / М. М. Проклова, О. В. Алексенко, Ю. В. Парфененко, В. Г. Неня // Сучасні інформаційні системи і технології : матеріали Третьої міжнародної науково-практичної конференції, Суми, 14–16 травня 2014. – Суми : ВВП «Мрія-1» ТОВ, 2014. – С. 138–140.
19. Парфененко Ю. В. Візуалізація даних інформаційної системи моніторингу теплозабезпечення [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. В. Шендрик // Сучасні інформаційні технології 2014 : матеріали Четвертої міжнародної конференції студентів і молодих науковців, Одеса, 22–26 квітня 2014. – Одеса : ТЕС, 2014. – С. 164–165.
20. Parfenenko Yu. Tools of Energy Management in District Heating [Text] / Yu. Parfenenko, V. Shendryk // GRPISNU 2014 : Proceedings of the II International Conference Global and Regional Problems of Informatization in Society and Nature Using, Kyiv, June, 26-27 2014. – Kyiv, 2014. – P. 112–113.

- 21.А. с. № 51299 Україна. Комп'ютерна програма «Інформаційно-аналітична система моніторингу та прогнозування теплозабезпечення будівель «HeatSAM»» / В. В. Шендрик, В. Г. Неня, Ю. В. Парфененко, Р. П. Окопний. – зареєстр. 18.09.2013.
- 22.А. с. № 51760 Україна. Комп'ютерна програма «Heat Data Storage» / Ю.В. Парфененко, В. В. Шендрик, В. Г. Неня. – зареєстр. 16.10.2013.

АНОТАЦІЯ

Парфененко Ю. В. Моделі та інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, 2016.

Дисертаційна робота присвячена розробленню науково-методичних основ удосконалення інформаційного забезпечення підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери.

Розроблено модель моніторингу теплозабезпечення об'єкту соціально-бюджетної сфери.

Удосконалено модель нейромережевого прогнозування теплоспоживання будівель закладу соціально-бюджетної сфери шляхом врахування як кліматичних, так і соціальних факторів впливу на потребу у теплозабезпеченні.

Побудовано моделі визначення поточного режиму теплозабезпечення та надання рекомендацій щодо управління режимом теплозабезпечення з використанням математичного апарату нечіткої логіки.

Запропоновано інформаційну технологію підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери, на основі якої розроблено СППР «HeatSAM».

Ключові слова: інформаційна технологія, теплозабезпечення, моніторинг, прогнозування, управління, система підтримки прийняття рішень.

АННОТАЦИЯ

Парфененко Ю. В. Модели и информационная технология поддержки принятия решений при управлении теплообеспечением объектов социально-бюджетной сферы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Харьков, 2016.

Диссертационная работа посвящена разработке научно-методических основ усовершенствования информационного обеспечения поддержки принятия решений при управлении теплообеспечением объектов социально-бюджетной сферы.

Обоснована актуальность применения информационных технологий при реализации задач энергосбережения в системах централизованного теплоснабжения.

Проведен анализ системы теплообеспечения как объекта управления, а также существующих моделей и инструментальных средств, используемых для информационной поддержки принятия решений при управлении теплоснабжением.

Рассмотрены составляющие информационного обеспечения, а также приведена схема процесса поддержки принятия решений при управлении теплообеспечением объектов социально-бюджетной сферы на стороне потребителя.

Разработана модель мониторинга теплообеспечения, обеспечивающая необходимую для управления теплоснабжением степень детализации параметров мониторинга.

Усовершенствована модель нейросетевого прогнозирования теплотребления зданий учреждений социально-бюджетной сферы путем учета как климатических, так и социальных факторов влияния на потребность в тепловой энергии.

Построены модели определения текущего режима теплообеспечения и выдачи рекомендаций по управлению режимом теплообеспечения с использованием математического аппарата нечеткой логики.

Разработаны функциональные модели и алгоритмическое обеспечение реализации задач мониторинга теплообеспечения, определения прогнозируемого значения теплотребления здания, численного расчета параметров потокораспределения тепловых сетей, формирования решения по управлению теплообеспечением здания, а также функциональная модель информационной технологии поддержки принятия решений при управлении теплоснабжением объектов социально-бюджетной сферы.

Рассмотрено практическое применение представленных в диссертационной работе научных положений.

На основе разработанных моделей и информационной технологии построено архитектуру и выполнено программную реализацию web-ориентированной СППР «HeatSAM», которая состоит из подсистем мониторинга, моделирования, прогнозирования, определения режима, а также визуализации данных на web-странице.

Приведены примеры использования СППР «HeatSAM» в качестве инструментария поддержки принятия решений при управлении режимами теплообеспечения объектов социально-бюджетной сферы.

Ключевые слова: информационная технология, теплообеспечение, мониторинг, прогнозирование, управление, система поддержки принятия решений.

ABSTRACT

Parfenenko Yu. V. Models and Information Technology of Decision Support in the Management of Heat Supply of Social and Public Sector Objects. – Manuscript.

The thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences in the speciality 05.13.06 – Information Technologies. – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Kharkiv, 2016.

The dissertation is devoted to the development of scientific and methodological foundations of improvement of information support of decision support in the management of heat supply of social and public sector objects.

The model of the heat supply monitoring, which provides the grade of the monitoring parameters, has been developed.

The model of neural network forecasting of the heat demand of social and public sector buildings has been improved by considering both climatic and social factors influence on the heat energy demand.

The models for determination of the current heating mode and the issuance the recommendations on the management of the heating mode using fuzzy logic have been built.

The information technology of decision support in the management of heat supply of social and public sector have been proposed on which basis the DSS «HeatCAM» has been designed.

Keywords: information technology, heat supply, monitoring, forecasting, management, decision support system.

Відповідальний за випуск Ю. Ю. Гусєва

Підписано до друку 09.03.2016.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1 Тираж 100 пр. Зам. № 188.

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.