

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПрАТ «ПРИВАТНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД «ЗАПОРІЗЬКИЙ
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

Кафедра Інформаційних технологій

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНА

Зав.кафедрою _____
д.с.н., доцент Левицький С.І.
«___» _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ БІБЛІОТЕКИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
ЕНЕРГОБАЛАНСУ БУДІВЛІ

Виконав
ст. гр. ПЗ-112м

(підпис)

А.І. Чаплинський

Керівник
к.т.н.

(підпис)

О.А. Хараджян

Запоріжжя
2023

ПРАТ «ЛВНЗ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

Кафедра Інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою

д.е.н., доцент Левицький С.І.
«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Студенту гр. ППЗ – 112м, спеціальності «Інженерія програмного забезпечення»

Чаплинський Андрій Ігорович

1. Тема: *Розробка програмної бібліотеки для розрахунку енергобалансу будівлі.*

затверджена наказом по інституту «__» _____ 2022 р. № _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: «__» _____ 2023 р.

3. Перелік питань, що підлягають розробці:

1. Аналіз проблем розрахунків енергоспоживання будівель.
2. Аналіз методів розрахунку енергоспоживання.
3. Розробка алгоритму визначення кліматичних параметрів.
4. Розробка структури файлу JSON.
5. Розробка структур даних програми.
6. Розробка класу розрахунку енергоспоживання.
7. Опис програми розрахунку кліматичних параметрів.
8. Розробка програмних модулів користувальницького інтерфейсу.

9. Розробка модулів обміну даними.

4. Календарний графік підготовки кваліфікаційної роботи

№ етапу	Зміст	Терміни виконання	Готовність по графіку %, підпис керівника	Підпис керівника про повну готовність етапу, дата
1	Збір практичного матеріалу за темою кваліфікаційної бакалаврської роботи	04.09.23- 17.10.23		
2	I атестація I розділ кваліфікаційної бакалаврської роботи	23.10.23- 28.10.23		
3	II атестація II розділ кваліфікаційної бакалаврської роботи	20.11.23- 25.11.23		
4	III атестація III розділ кваліфікаційної бакалаврської роботи, висновки та рекомендації, додатки, реферат	18.12.23- 23.12.23		
5	Перевірка кваліфікаційної бакалаврської роботи на оригінальність	18.12.23- 23.12.23		
6	Доопрацювання кваліфікаційної бакалаврської роботи, підготовка презентації, отримання відгуку керівника і рецензії	25.12.23- 06.01.24		
7	Попередній захист кваліфікаційної бакалаврської роботи	08.01.24- 13.01.24		
8	Подача кваліфікаційної бакалаврської роботи на кафедру	за 3 дні до захисту		
9	Захист кваліфікаційної бакалаврської роботи	15.01.24- 20.01.24		

Дата видачі завдання: 16.01.2023 р.

Керівник кваліфікаційної
бакалаврської роботи

_____ (підпис)

О.А. Хараджян

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання отримав до виконання

_____ (підпис)

А.І. Чаплинський

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 60 стор., 4 рис., 1 таблиця, 3 додаток, 14 використаних джерел.

Об'єкт роботи: енергоспоживання будівель.

Предмет роботи: системи розрахунку енергоспоживання будівель.

Мета роботи: розробка програми розрахунку параметрів енергоспоживання будівель.

Задачі роботи: аналіз проблем розрахунків енергоспоживання будівель; аналіз методів розрахунку енергоспоживання; розробка алгоритму визначення кліматичних параметрів; розробка структури файлу JSON; розробка структур даних програми; розробка класу розрахунку енергоспоживання; опис програми розрахунку кліматичних параметрів; розробка програмних модулів користувальницького інтерфейсу; розробка модулів обміну даними.

Розробка програмної бібліотеки для розрахунку енергобалансу будівлі є актуальною проблемою у світі сучасних технологій. Ця робота присвячена аналізу та розробці ефективного інструменту, який допоможе фахівцям в галузі енергетики та будівництва визначати та оптимізувати споживання енергії у будівлях.

Розробка алгоритму для визначення кліматичних параметрів є ключовим етапом, оскільки вона визначає точність та достовірність розрахунків. Розроблено програму для розрахунку енергоспоживання, що забезпечує виконання необхідних обчислень та аналіз даних для отримання енергобалансу будівлі.

JSON, QT, ЕНЕРГОАУДИТ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ, КЛІМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП	7
Розділ 1 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ	10
1.1. Проблеми споживання енергії будівлями	10
1.2. Методи розрахунку енергоспоживання.....	18
Розділ 2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ визначення кліматичних параметрів....	22
2.1. Структура файлу JSON.....	22
2.2. Структура даних програми	24
2.3. Розробка класу розрахунку енергоспоживання.....	30
Розділ 3 Опис програми розрахунку кліматичних параметрів	43
3.1. Структура програмних модулів користувальницького інтерфейсу ..	43
3.2. Модулі обміну даними	46
ВИСНОВКИ.....	51
РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТКИ.....	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Слово / словосполучення	Скорочення	Умови використання
О		
Організація економічного співробітництва та розвитку	ОЕСР	
J		
JavaScript Object Notation	JSON	

ВСТУП

У зв'язку зі зростаючим підвищенням уваги до енергоефективності та сталого розвитку, важливо розуміти та оптимізувати споживання енергії в будівлях. Розрахунок енергобалансу будівлі відіграє ключову роль у визначенні її енергоефективності та можливостях зменшення споживання енергії.

Ця робота спрямована на розробку програмної бібліотеки, яка дозволить проводити розрахунки енергоспоживання будівель. Дослідження складається з декількох ключових етапів, включаючи аналіз проблеми розрахунку енергоспоживання будівель, огляд існуючих методів розрахунку, розробку алгоритму для визначення кліматичних параметрів та структури файлу для зберігання даних.

Кожен розділ роботи присвячений окремому аспекту розробки програмної бібліотеки, що включає в себе розробку необхідних алгоритмів, структур даних та програмних модулів для реалізації розрахунків енергоспоживання та взаємодії з користувацьким інтерфейсом.

Ця робота має на меті створення програмного забезпечення, яке допоможе фахівцям у галузі енергетики та архітектури проводити ефективний аналіз та оптимізацію споживання енергії у будівлях для підвищення їхньої енергоефективності.

Дана робота розкриє деталі кожного етапу розробки програмної бібліотеки, починаючи від аналізу проблеми та завершуючи реалізацією програмних модулів для взаємодії з користувацьким інтерфейсом та обміну даними.

Кожен розділ буде детально розглядати відповідний аспект розробки програмної бібліотеки з метою створення інструменту, що дозволить ефективно та точно визначати енергобаланс будівель.

Написання цієї роботи є актуальним у зв'язку з постійною потребою у зменшенні споживання енергії та впровадженні енергоефективних рішень у будівництві.

Необхідність у створенні програмної бібліотеки для розрахунку енергобалансу будівлі обумовлена потребою у зручному та ефективному інструменті для фахівців у цій галузі, який спростить та полегшить процес роботи з визначення енергоефективності будівель та їхнього подальшого оптимізації.

Ця робота буде присвячена дослідженню, розробці та практичній реалізації програмної бібліотеки, яка стане корисним інструментом у сфері енергетики та будівництва.

З метою досягнення поставленої мети, розглянемо детально кожен з етапів розробки програмної бібліотеки для розрахунку енергобалансу будівлі.

Будемо досліджувати наступні аспекти: аналіз проблеми розрахунку енергоспоживання будівель, огляд існуючих методів розрахунку, розробка алгоритму для визначення кліматичних параметрів, створення структури файлу для зберігання даних, розробка необхідних структур даних та алгоритмів для програми, опис програми для розрахунку кліматичних параметрів, реалізація модулів користувацького інтерфейсу та модулів для обміну даними.

Кожен з цих етапів відіграє ключову роль у створенні функціональності програмної бібліотеки, яка буде забезпечувати користувачів необхідними інструментами для ефективного розрахунку енергобалансу будівлі.

Таким чином, подальші розділи детально проаналізують та описують кожен з етапів розробки програмної бібліотеки, щоб забезпечити повну розуміння процесу створення цього інструменту та його потенційних можливостей у практичному використанні.

Об'єкт роботи: енергоспоживання будівель.

Предмет роботи: системи розрахунку енергоспоживання будівель.

Мета роботи: розробка програми розрахунку параметрів енергоспоживання будівель.

Задачі роботи:

- аналіз проблем розрахунків енергоспоживання будівель;
- аналіз методів розрахунку енергоспоживання;

- розробка алгоритму визначення кліматичних параметрів;
- розробка структури файлу JSON;
- розробка структур даних програми;
- розробка класу розрахунку енергоспоживання;
- опис програми розрахунку кліматичних параметрів;
- розробка програмних модулів користувальницького інтерфейсу;
- розробка модулів обміну даними.

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ

1.1. Проблеми споживання енергії будівлями

Незважаючи на актуальну необхідність зупинити зміну клімату, світове використання енергії та пов'язані з нею викиди CO₂ продовжують зростати. Зростання населення та економік прискорили зростання викидів, оскільки глобалізація покращує рівень життя в усьому світі. Навпаки, підвищення ефективності частково компенсувало ці наслідки, дозволяючи економікам зростати. Тим часом енергія та викиди зросли однаковими темпами, таким чином зазнавши невдачі в декарбонізації за останні десятиліття.

Однак їхня стабілізація, здається, близька, оскільки темпи зростання впали вдвічі з 2013 року, а пандемія COVID-19 радикально змінила траєкторію викидів.

Регіональні відмінності свідчать про розкол світу навпіл. У 2019 році країни, що розвиваються (не члени ОЕСР), становили 82% населення світу, генерували близько 53% глобальної діяльності і відповідали за приблизно дві третини споживання та викидів. Однак люди в розвинених країнах (ОЕСР) все ще в 4 рази багатші і приблизно в 3 рази більше споживачів і викидів на душу населення. Розрив скорочується, оскільки економічна експансія забезпечує більший комфорт у країнах, що розвиваються, хоча й збільшує попит на енергію. На щастя, падіння споживання та викидів у розвиненому регіоні ось-ось нівелює зростання в країнах, що розвиваються, оскільки вони прагнуть зменшити нерівність.

Тим не менш, стабілізації викидів буде недостатньо, щоб обмежити підвищення глобальної температури до 1,5 °C. Щоб протистояти екологічній кризі, більшість кліматичних політик зосереджуються на декарбонізації шляхом

переходу від викопного палива, що містить шкідливі викиди, до чистих відновлюваних джерел і розробки методів захоплення та зберігання вуглецю. Однак ці рішення, ймовірно, будуть обмежені в глобальному масштабі в короткостроковій перспективі. Необхідно негайно внести зміни не тільки в технології постачання енергії, але й у її використанні. Тому детальний аналіз тенденцій споживання є критичним для зменшення впливу зміни клімату.

У глобальному масштабі основними секторами споживання є будівництво, транспорт, промисловість та інші, які об'єднують незначні види діяльності, такі як сільське господарство, лісове господарство та рибальство.

Будівництво було найбільш споживаючим сектором, за ним йшли промисловість і транспорт. Зростання чисельності населення, збільшення площі забудови, покращення будівельних послуг і рівня комфорту разом із збільшенням часу, проведеного всередині будівель, підвищили споживання будівель на 1,2%/рік з 2000 року. Ця тенденція до зростання зберігалася навіть у періоди кризи, такі як економічна рецесія або COVID-19. Прогнози показують, що без більш суворої політики використання енергії в будівлях продовжуватиме зростати в майбутньому, оскільки споживання в країнах, що розвиваються, набуває значення.

Внесок кожного сектора споживання в глобальні викиди CO₂ дозволяє оцінити їх вплив на навколишнє середовище. З цією метою необхідно звернути увагу на прямі викиди від спалювання палива, а також непрямі викиди в енергетичному секторі. У 2019 році промисловість залишалася найбільшим сектором викидів (38%), за нею йшли будівлі та транспорт (28%) із загальним викидом 33,6 Гтон. Будівлі найбільше страждають від непрямих викидів від енергетичного сектора, в результаті чого загальні викиди майже втричі перевищують прямий потік. Навпаки, прямі викиди становлять 97,5% загальних викидів на транспорті та 50% у промисловому секторі.

Підсумовуючи, будівлі відповідають за приблизно третину глобального споживання енергії та чверть викидів CO₂. Вони навіть представляють більші частки споживання в деяких із найбільш споживаючих країн (42% у Росії, 41%

у ЄС, 37% у Японії та 34% у США (IEA, 2021e)). Їх значний вплив поставив їх на передній план кліматичної політики завдяки їхньому високому потенціалу для підвищення енергоефективності та виробництва відновлюваної енергії. Однак розробка, оцінка та моніторинг цієї політики можуть бути успішними лише за наявності енергетичної інформації не лише для всього сектора, але й для типів будівель та енергетичних послуг. На жаль, збір інформації про будівлі серед існуючих джерел є серйозною проблемою.

Декілька дослідників розглядали енергетичний споживання в будівлях, хоча обмеженість даних була помітною. У роботі Pérez-Lombard та ін. (2008) цей сектор виділявся як ключовий у використанні енергії у 2008 році. Вони узагальнили дані про основні типи будівель та їхнє енергоспоживання для кількох країн, вказавши на недоліки у наявних даних. Ürge-Vorsatz та ін. (2015) надали спрощене уявлення про глобальну та регіональну картину в сфері житлових і комерційних будівель у 2010 році перед обговоренням основних факторів, що впливають на енергопотребу для опалення та охолодження. Берарді (2017) проаналізував історичні тенденції у будівництві до 2010 року та зробив прогнози для США, ЄС і країн БРІК, викликавши до впровадження ефективних політик, які майже відсутні у країнах, що розвиваються, та недостатньо представлені у розвинених країнах. Аналогічно, Allouhi et al. (2015) оновили стан використання енергії у будівництві у США, Австралії, Китаї та ЄС у 2011 році, як основу для розробки та впровадження політик збереження енергії. У 2016 році Цао та ін. (2016) порівняли енергоефективність, використання та типи палив у 2012 році для трьох основних споживачів (США, ЄС, Китай), звертаючи увагу на будівлі з нульовим споживанням енергії (ZEBs), щоб задовольнити ростучий попит на енергію. У 2019 році Лу та Лай (2019) презентували еволюцію використання енергії у житлових та комерційних будівлях до 2015 року у США, Китаї, Австралії та Великобританії, обговорили їхню енергетичну політику, системи рейтингів та ефективності стандартів. Вони наголосили на необхідності різних політик у розвинених і

розвиваючихся країнах: перші – на сприяння відновлюваній енергії, другі – на зменшення комерційного споживання. Нарешті, Guo et al. (2020) досліджували енергетичне використання та викиди на 2017 рік у деяких країнах, пропонуючи класифікацію відповідно до потреб у політиці. Вони також проаналізували взаємозв'язок цих цифр з енергетичними сумішами, населенням, площею, рівнем багатства і показником щастя.

Таким чином, існують певні часові прогалини в тенденціях споживання будівель протягом поточного століття. Глобальну картину сектору часто ігнорують, щоб зосередитися на житлових чи громадських будівлях або на тих країнах, де дані доступні. Крім того, в літературі бракує траєкторій основних факторів, що викликають зміни в цілому секторі. Крім того, не було висловлено критики основних складнощів у зборі даних, тому питання про необхідні зміни в енергетичній статистиці для визначення найбільш оптимального способу звітування про інформацію стосовно будівель залишаються нерозкритими та невирішеними. Отже, дана стаття проводить глибокий аналіз використання енергії будівлями у всьому світі, в розвинених та розвиваючихся регіонах, а також у країнах, що є найбільшими споживачами енергії у 21 столітті. В ній розглядаються прогрес у доступності даних та основні проблеми дослідження, щоб запропонувати згодні рішення. Чи існують комплексні бази даних щодо енергоспоживання будівель? Які відмінності між основними методами обліку? Який розподіл за типами будівель та енергетичними послугами є найбільш послідовним? Таким чином, стаття має на меті визначити вимоги до збору даних для належного моніторингу сектору та пояснити тенденції на основі аналізу основних факторів споживання енергії в будівлях.

Для досягнення цих цілей документ розпочинається з опису використання енергії в будівлях, його еволюції та дезагрегації в житловому та третинному секторах. Далі він аналізує енергетичні послуги будівель і склад паливних сумішей. У заключній частині статті здійснюється зв'язок споживання з кількома факторами, такими як населення, багатство, ефективність, площа та клімат, що додатково розглядаються.

Використання енергії в будівлях є основним сектором споживання енергії в усьому світі. Однак збір даних для цієї мети залишається серйозною проблемою. По-перше, будівлі зазвичай не визнаються самостійним сектором. Традиційно вони були приховані у великому секторі «Інші», незважаючи на те, що на них припадає найбільша частка споживання. Деякі джерела еволюціонували, щоб розділити «Інше» на різні підсектори, до яких можна додати «Житловий фонд» і «Послуги», щоб отримати дані про будівлі. Однак це доповнення все ще є проксі, оскільки іноді воно може включати деякі види діяльності, які не відбуваються в будівлях (використання енергії, не пов'язане з будівлями), наприклад вуличне освітлення, водопостачання, поштовий кур'єр тощо, які разом можуть представляти до 10% споживання будівель. Незважаючи на те, що декомпозиція на підсектори представляє інтерес, сектор будівель спочатку слід обліковувати окремо, а потім розбивати на житлові та нежитлові будівлі. По-друге, джерела відрізняються видами діяльності, включеними до кожного сектора споживання, що ускладнює порівняння. У своїх спробах стандартизувати визначення установи, що збирають дані, зазвичай визначають сектори відповідно до Міжнародної стандартної промислової класифікації ООН (ISIC).

Виявлено розбіжності щодо водопостачання, водовідведення, поводження з відходами та діяльності з відновлення, які вважаються сектором «Послуги» або «Іншим»; ремонт і монтаж машин і устаткування, які включені в промисловість або послуги; або поштову та кур'єрську діяльність як частину транспорту чи послуг. Ці визначення можуть відрізнятися навіть у базах даних з одного джерела: дані про будівлі в IEA World Energy Outlook включають невизначене споживання, тоді як воно враховується в розділі «Інше» в IEA World Energy Balances, що призводить до розривів між минулими та майбутніми тенденціями.

По-третє, визначення будівельного сектору неоднорідне не лише через види діяльності, які він включає, а й з точки зору вимірюваного потоку енергії. Деякі джерела враховують кінцеве споживання енергії (також відоме як енергія,

що постачається на місці або кінцеве споживання), тоді як інші також додають непряме споживання, пов'язане з втратами енергії в енергетичному секторі (загальне споживання енергії). Подібним чином більшість джерел даних обмежують свій облік прямими викидами від будівель, тобто викидами від спалювання викопного палива на місці. У цьому випадку вплив будівельного сектору на навколишнє середовище недооцінюється, оскільки необхідно також враховувати непрямі викиди внаслідок виробництва електроенергії та тепла. Це додає невизначеності до викидів будівель через припущення, необхідні для їх розрахунку за відсутності даних. Крім того, сектор будівель можна проаналізувати з точки зору життєвого циклу. Таким чином, можна також оцінити іншу непряму енергію та викиди, наприклад ті, що містяться в харчових продуктах, обладнанні та будівельних матеріалах та їх транспортуванні до будівельного майданчика. Однак ці непрямі потоки вже враховані в інших секторах, і їх включення в будівельний сектор вимагає складних методів обліку та припущень. Як наслідок, підхід життєвого циклу може відвернути увагу та перешкодити ефективності енергетичної політики в будівлях.

Ці питання можуть бути вирішені в разі введення загальноприйнятого визначення сфери будівництва та універсального методу конвертації енергії. Міжнародні організації та національні енергетичні агентства мають співпрацювати для узгодження своїх методик обліку, збору та звітності стосовно використання енергії в будівлях. Вже існує певна міжнародна співпраця щодо гармонізації стандартів, наприклад ISO 12655:2013, який зосереджений на представленні вимірюваного споживання енергії будівлями.

Незважаючи на такі труднощі, для порівняння регіональних і національних тенденцій енергоспоживання будівель вибираються найбільш надійні дані. З цією метою будівельний сектор визначається як сума житлових і комерційних показників, таким чином включаючи споживання енергії поза будівлями та виключаючи втрати в енергетичному секторі і втілену енергію з точки зору життєвого циклу. Глобальне збільшення споживання енергії в

будівлях зумовлене зростанням на 42% у країнах, що не є членами ОЕСР, починаючи з 2000 року, тоді як споживання в ОЕСР зменшується з 2000 року.

Найбільші країни-споживачі сильно впливають на тенденції в обох регіонах. Споживання будівель у Китаї та Індії різко зросло після економічного розширення та індустріалізації приблизно до 45%. Подібним чином тенденції в інших великих країнах, що розвиваються (членах БРІК), а саме в Бразилії, супроводжувалися вражаючим зростанням приблизно до 40%, за винятком Росії, яка відчула значне зростання лише після 2016 року. Натомість США та ЄС зупинили свою тенденцію до зростання приблизно 2010. Відтоді споживання енергії в будівлях у США зросло лише на 2%, тоді як у ЄС воно впало на 12% через підвищення ефективності огорожувальних конструкцій та обладнання.

Сектор будівель кластеризує багато типологій, які відрізняються своїми фізичними (вік, розмір, геометрія та конструкція) та експлуатаційними (діяльність, внутрішні навантаження, коефіцієнти вентиляції, графіки тощо), що впливає на попит на енергетичні послуги. Таким чином, класифікація типів будівель є базовою для розуміння того, як використовується енергія, і розробки раціональної енергетичної політики. Принаймні, їх слід розбити на житлові (побутові) і нежитлові (третинні або службові) будівлі, як це вже зроблено в більшості джерел.

У житловому секторі враховується споживання енергії в помешканнях. Однак існують труднощі з визначенням та відокремленням деяких видів діяльності, які слід віднести до інших секторів через їх призначення. Наприклад, зарядку електромобілів у домашніх гаражах слід віднести до транспортного сектору, тоді як домашня професійна діяльність має бути частиною нежитлового споживання. Ця проблема була висвітлена з розширенням дистанційної роботи під час карантину через COVID, оскільки незрозуміло, як виміряти цей потік енергії та хто має відповідати за його витрати. Крім того, в житловому секторі існують різні типології: односімейні (які можна розділити на окремі, двоквартирні та приєднані), багатосімейні (які

можна розбити за кількістю одиниць) і мобільні будинки. Третинний сектор охоплює комерційну та громадську діяльність у багатьох різних типах будівель (офіси, роздрібна торгівля, освіта, санітарія, хостинг, дозвілля тощо). На жаль, існує кілька послідовних і надійних досліджень для цього сектору через неоднорідність цих типологій і брак інформації через труднощі зі збором даних, оскільки третинні будинки зазвичай є багатьма орендарями та мають різні види діяльності. Крім того, джерела даних не завжди погоджуються щодо діяльності, включеної в цей сектор. Наприклад, ремонт і монтаж машин інколи входять до промисловості, тоді як складування для транспортування є частиною транспорту. Нарешті, дані для третинного сектору зазвичай включають небудівельне споживання (наприклад, вуличне освітлення), що не відповідає його визначенню.

Споживання житлових будинків становить приблизно три чверті енергії в будівлях на глобальному рівні. У регіоні, що не входить до ОЕСР, майже в п'ять разів більша чисельність населення призводить до удвічі більшого споживання енергії в житловому секторі, ніж у країнах ОЕСР, незважаючи на нижчий добробут. Швидкий демографічний та економічний ріст у регіоні, що розвивається, підвищив житлове споживання на 29%, на відміну від рівномірної тенденції розвиненого регіону. З іншого боку, 61% глобальної третинної енергії все ще споживається в ОЕСР, де економіка переходить від промисловості до послуг підвищила споживання не вдома на 16%. Третинне споживання в країнах, що розвиваються, продовжуватиме вражаюче зростання, оскільки вони підвищуватимуть свій рівень життя і, як наслідок, попит на освіту, охорону здоров'я, дозвілля та розваги. Незважаючи на те, що обидва чинники впливають на обидва сектори, населення має більший вплив на побутове споживання, тоді як багатство більш суттєво впливає на нежитлове використання енергії.

Розподіл між будівельними підсекторами різниться в різних країнах, головним чином через різний рівень доходу, кліматичні умови, економічну структуру тощо. Національні дані підтверджують розширення третинного

сектора, частки якого є вищими в країнах ОЕСР (Японія, США), ЄС), ніж у країнах, що не входять до ОЕСР (Бразилія, Росія, Китай, Індія), змінюючи зв'язок між послугами та багатством. Найвищі третинні частки в Японії (54%) і США (44%), де споживання приблизно порівну розподілено між житловими та комерційними будівлями. Серед країн, що розвиваються, важливість кожного підсектору визначається балансом між щільністю населення та доходом на душу населення.

1.2. Методи розрахунку енергоспоживання

Нижче показано співвідношення між ДБН В.2-31:2016 Теплова ізоляція будівель зі стандартами ЄС та ДСТУ.

Важливо зазначити, що досягнення конкретних показників енергоефективності існуючих промислових будівель можливе за допомогою різноманітних енергоефективних заходів (рис. 1.1). Приведення будівлі у відповідність до вимог кожної групи стандартів дасть різні результати для різних будівель.



Рис. 1.1. Структура будинку, як енергетичної системи

Тобто досягнення питомих показників енергоефективності на основі питомих витрат енергії на опалення та охолодження можливе за допомогою заходів із впровадження окремих груп стандартів. Вплив цих заходів можна оцінити лише шляхом розрахунку показника енергоефективності будівлі згідно

з ДСТУ-Н Б А 2.2-12:2015. -12:2015, щоразу змінюючи вхідні параметри. Тому потрібен алгоритм чи спеціалізоване програмне забезпечення, яке б не лише розраховувало показник енергоефективності будівлі згідно з ДСТУ-Н Б А 2.2-12:2015, а й пропонувало заходи щодо підвищення енергоефективності будівлі, на основі стандартів та досвіду ЄС з урахуванням економічної складової процесу впровадження енергоефективних заходів (рис. 1.2-1.3).

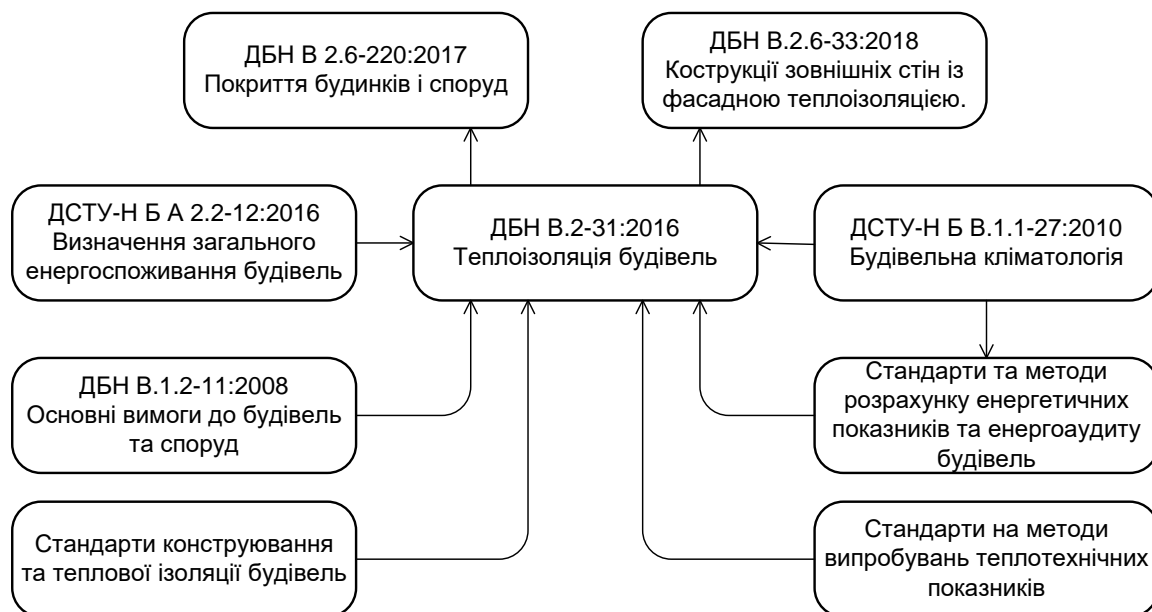


Рис. 1.2. Структура взаємозв'язків ДБН В.2.-31

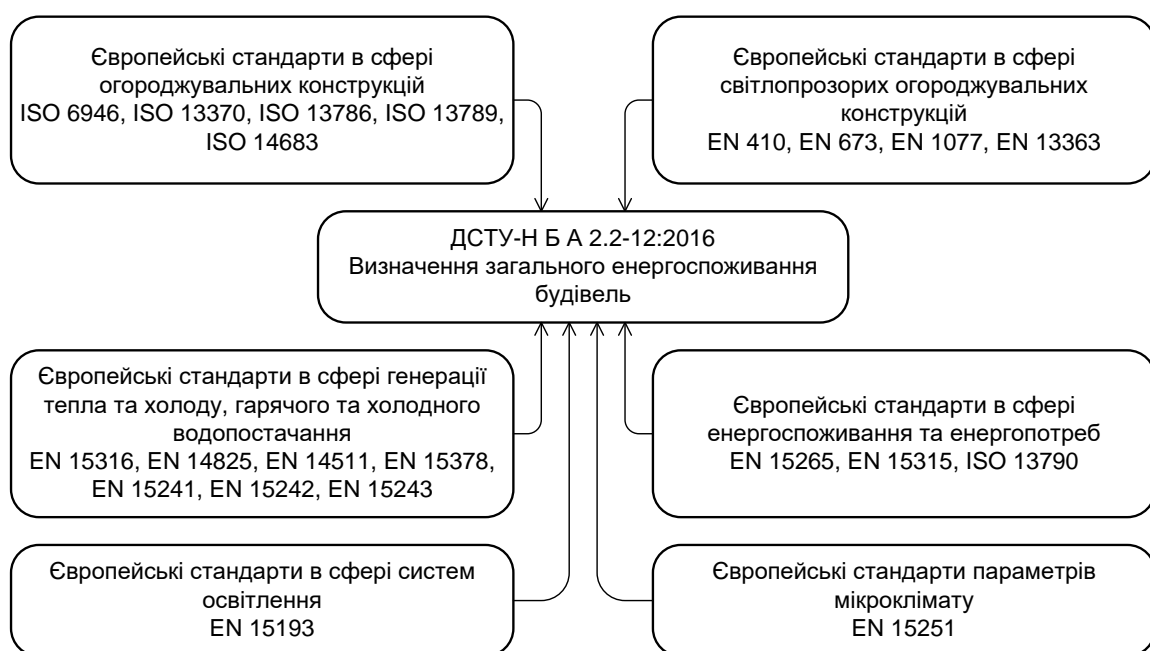


Рис. 1.3. Структура взаємозв'язків ДСТУ-Н Б А 2.2-12

Економічна складова при плануванні заходів з підвищення енергоефективності на підприємстві є дуже важливою, оскільки необхідно знайти шляхи фінансування, спланувати динаміку фінансування та розрахувати економію енергоспоживання, опалення та охолодження будівлі.

Однією з причин того, що розрахувати показники енергоефективності будівлі за українськими стандартами є складно, є те, що в одному ДСТУ фактично коротко була наведена ціла система стандартів і методів розрахунку ЄС.

В ЄС кожен стандарт детально регламентує та пояснює розрахунки у своїй галузі, в Україні

Метод розрахунку оцінки річного енергоспоживання при опаленні, охолодженні та вентиляції будівель житлового та громадського призначення виконується на основі ДСТУ Б А.2.2-12:2015.

Для розрахунку за ДСТУ Б А.2.2-12:2015 необхідні наступні вхідні дані:

- параметри теплопередачі трансмісією;
- параметри теплопередачі вентиляцією;
- параметри теплонадходжень від внутрішніх джерел теплоти;
- параметри теплонадходжень від сонячного випромінювання;
- кліматичні дані місця будівництва;
- властивості споруди, її систем та умов використання;
- вимоги комфорту;
- параметри зон будівлі.

Результатами розрахунку є:

- енергопотребы для опалення та охолодження;
- енергоспоживання при опаленні та охолодженні;
- річна енергопотреба горячего водопостачання;
- річне енергоспоживання горячего водопостачання.

Розрахунок виконується за алгоритмом, що представлений на рис. 1.4.

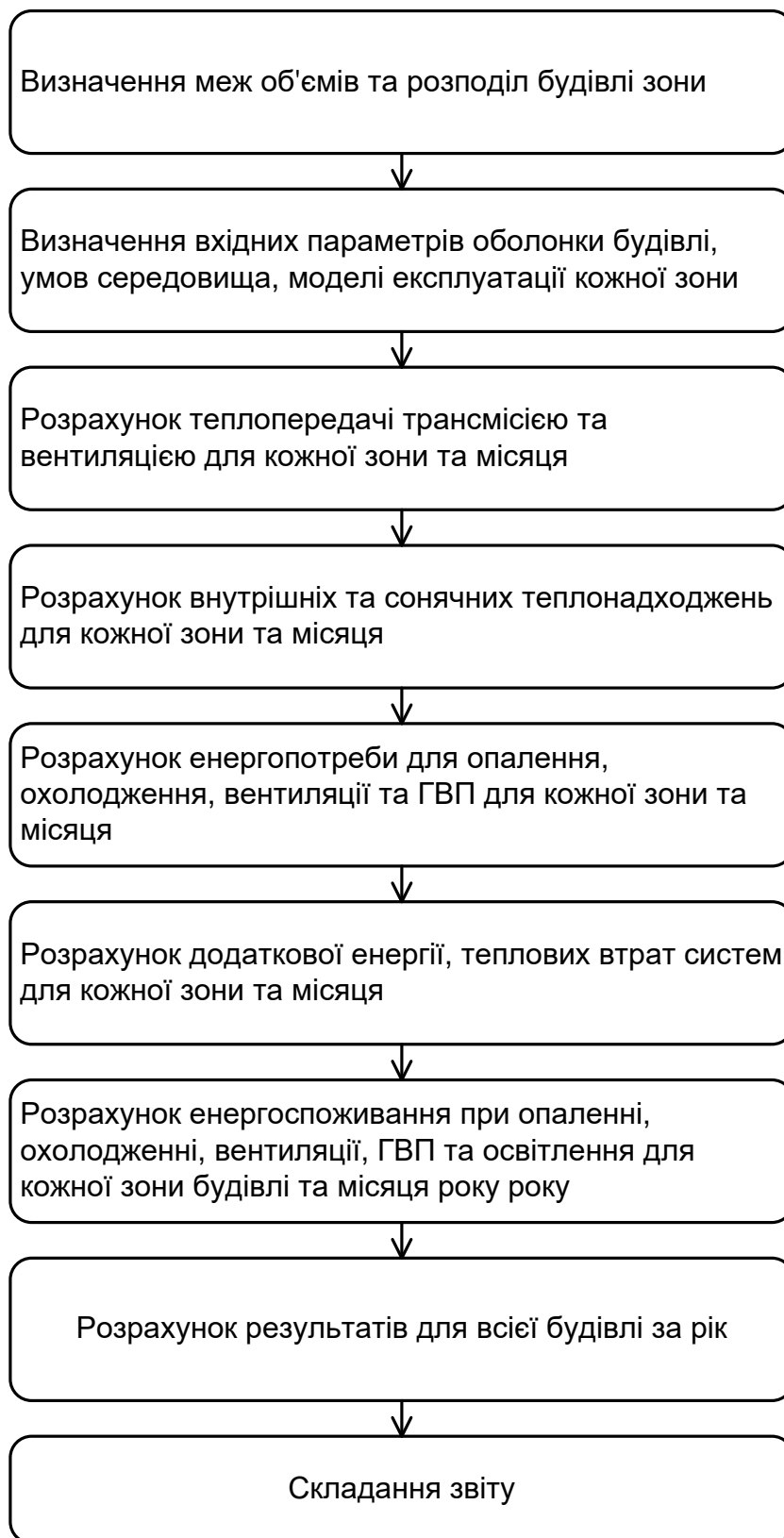


Рис. 1.4. Алгоритм розрахунку за ДСТУ Б А.2.2

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1. Структура файлу JSON

JSON — це текстовий формат обміну даними, отриманий від JavaScript, який використовується у веб-службах та інших мережевих програмах.

Розглянемо синтаксис JSON. JSON визначає лише дві структури даних: об'єкти та масиви. Об'єкт — це набір пар ім'я-значення, а масив — список значень. JSON визначає сім типів значень: рядок, число, об'єкт, масив, істина, хибність і нуль.

У наступному прикладі показано дані JSON для зразка об'єкта, який містить пари ім'я-значення. Значення імені "phoneNumbers" - це масив, елементами якого є два об'єкти.

```
{
  "first_Name": "Duke",
  "last_Name": "Java",
  "age": 18,
  "street_Address": "100 Main A",
  "state": "JA",
  "city": "JavaTown",
  "postalCode": "12345",
  "phoneNumbers": [
    { "Home": "666-888-4444" }
    { "Mobile": "234-333-2467" },
  ]
}
```

JSON має такий синтаксис. Об'єкти беруться у дужки ({}). Пари ім'я-значення розділяються комою. В парі Ім'я та значення відокремлюються двокрапкою. Імена в об'єкті є рядками, тоді як значення можуть мати один іншими визначеними типами.

Масиви позначаються квадратними дужками, а їх значення розділяються комою. Кожне значення в масиві може бути будь-якого типу.

Коли об'єкти та масиви містять інші об'єкти чи масиви, дані мають деревоподібну структуру.

JSON часто використовується як загальний формат для серіалізації та десеріалізації даних у програмах, які спілкуються між собою через Інтернет. Ці програми створюються з використанням різних мов програмування та працюють у дуже різних середовищах. JSON підходить для цього сценарію, оскільки це відкритий стандарт, його легко читати та писати, і він компактніший, ніж інші представлення.

RESTful веб-сервіси широко використовують JSON як формат даних у запитах і відповідях. Заголовок HTTP, який використовується для вказівки, що вміст запиту або відповіді є даними JSON

```
Content-Type: application/json
```

Представлення JSON зазвичай більш компактні, ніж представлення XML, оскільки JSON не має закриваючих тегів. На відміну від XML, JSON не має загальноприйнятої схеми для визначення та перевірки структури даних JSON.

Для створення та аналізу даних JSON існують дві моделі програмування, подібні до тих, що використовуються для документів XML.

Об'єктна модель створює дерево, яке представляє дані JSON у пам'яті. Після цього дерево можна переглядати, аналізувати або змінювати. Цей підхід є найбільш гнучким і дозволяє виконувати обробку, яка потребує доступу до повного вмісту дерева. Однак він часто повільніший, ніж потокова модель, і

потребує більше пам'яті. Об'єктна модель генерує вихідні дані JSON шляхом навігації по всьому дереву одночасно.

Потокова модель використовує парсер на основі подій, який читає дані JSON по одному елементу за раз. Синтаксичний аналізатор генерує події та зупиняється для обробки, коли об'єкт або масив починається або закінчується, коли він знаходить ключ або коли він знаходить значення. Кожен елемент може бути оброблений або відкинутий кодом програми, а потім аналізатор переходить до наступної події. Цей підхід є адекватним для локальної обробки, при якій обробка елемента не потребує інформації з решти даних. Потокова модель генерує вихідні дані JSON для певного потоку, викликаючи функцію з одним елементом за раз.

2.2. Структура даних програми

Для зберігання базових конфігураційних даних та даних про структури будівлі використовуються JSON формат файлів.

Базові дані з стандарту ДСТУ Б А.2.2-12:2015 зберігаються в файлі `base_data.json` структура якого має наступний вигляд

```
{
  "time_c": [ // параметри місяців
    {"name": "Січень", // назва місяця
      "day": 31, // кількість днів в місяці
      "hour": 744 // кількість годин в місяці
    },
    ...
    {"name": "Рік", "day": 365, "hour": 8760} // дані за рік
  ],
```

Коефіцієнт використання рухомого затінення `fSh,with`


```
"f_sh_with": [
```

Кліматичний район України згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27

```
{"region": "1",
```

Масив, де перший рядок напрямок, наступні рядки відповідають значенням коефіцієнтів для відповідного місяця

```
"k": [
[0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315], [], []},
{"region": "2", "k": [[0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315], [], []]},
{"region": "3a", "k": [[0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315], [], []]},
{"region": "3b", "k": [[0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315], [], []]},
{"region": "4", "k": [[0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315], [], []]} ],
```

Коефіцієнт затінення горизонту для опалювального періоду для кожного місяця

```
"F_hor_H": [ ],
```

Коефіцієнт затінення горизонту для періоду охолодження для кожного місяця

```
"F_hor_C": [],
```

Коефіцієнт затінення для звисів для опалювального періоду для кожного місяця

```
"F_ov_H": [],
```

Коефіцієнт затінення для звисів для періоду охолодження для кожного місяця

```
"F_ov_C": [],
```

Коефіцієнт затінення для ребер зліва для опалювального періоду для кожного місяця

```
"F_finl_H": [],
```

Коефіцієнт затінення для ребер зліва для періоду охолодження для кожного місяця

```
"F_finl_C": [],
```

Коефіцієнт затінення для ребер зправа для опалювального періоду для кожного місяця

```
"F_finr_H": [],
```

Коефіцієнт затінення для ребер зправа для періоду охолодження для кожного місяця

```
"F_finr_C": []
}
```

Кліматичні дані для точки де розташований об'єкт отримують з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Дані представлені в файлі `climet_data.json`, структура якого представлена нижче.

Середньомісячна температура зовнішнього середовища

```

{"tet_e":[-4.3, -3.3, 1.6, 9.6, 15.8, 19.4, 21.5, 20.7, 15.5,
8.9, 2.7, -2.0],

```

Прапорці для періодів опалення та охолодження

```

"flag_H":[1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1],
"flag_C":[0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0],

```

Сонячна радіація сприймаючої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності

```

"Isol_header":[0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, -1],
"Isol": [[]]
}

```

Дані про об'єкт розрахунку представлені в файлі in_data.json, структура якого представлена нижче.

Кліматичний район України згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27

```

{ "region": "2",

```

Кондиціонована площа підлоги

```

"Af": 100,

```

Масив параметрів елементів огорожувальних конструкцій.

```

"Wall_Section_arr": [

```

Внутрішній тип конструкції

```

{"type": 0,

```

Площа поверхні елемента оболонки зони

"A":25.5,

Частина обрамлення світлопрозорої конструкції

"Ff":0,

Коефіцієнта загального пропускання сонячної енергії світлопрозорої конструкції

"gn":0.7,

Коефіцієнта загального пропускання сонячної енергії рухомими завісами

"g_sh_move":1.0,

Коефіцієнта загального пропускання сонячної енергії нерухомими завісами

"g_sh_static":1.0,

Кути затінення від звисів

"shadow_al_vert":45,

Кути затінення від протилежних будинків та рельєфу

"shadow_al_hor":0,

Кути затінення від ребер зліва та справа

```
"shadow_bet_left":0,
"shadow_ber_right":0,
```

Приведений тепловий опір елементу

```
"R_sum_pr":3.3,
```

Безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною

```
"alpha_sc":0.4,
```

Коефіцієнт теплового випромінювання зовнішньою поверхнею огороження

```
"eps_surface":0.7,
```

Фасадна теплоізоляція з вентильованим повітряним прошарком та вентильованих горищних покриттів

```
"VentFacade":0,
```

Орієнтація поверхні

```
"azimut":0,
```

Кутом нахилу поверхні

```
"fi":90 }, ],
```

Параметри потоків повітря, які надходять в приміщення та виходять з нього

```
"Air_Stream_arr":[],
```

Параметри джерел додаткових теплових потоків

```
"Power_Stream":[
[{"FI_int_0c":1.2, внутрішній тепловий потік від людей
"FI_int_L":2, внутрішній тепловий потік від освітлення
"FI_int_A":2, внутрішній тепловий потік від обладнання
"time":448}, Графік використання, год/тиждень
] ] }
```

Усі параметри будівлі та параметри джерел теплових потоків при зчитуванні розміщуються у відповідних полях класів.

2.3. Розробка класу розрахунку енергоспоживання

Алгоритм розрахунку енергоспоживання будівлі або приміщення реалізовано в класі CalcMethod. Визначення класу та додаткових необхідних елементів представлено нижче

У якості локального сховища для даних використовується об'єкт QVector з переназначеним типом double

```
#include <QVector>
typedef QVector<double> vector_d;
```

Визначення класу має наступний вид

```
class CalcMethod
{
```

Приватні методи для виконання арифметичних дій (додавання, віднімання, множення на константу) з векторами

```
void vec_add(vector_d &a, vector_d &b, vector_d &res);
void vec_sub(vector_d &a, vector_d &b, vector_d &res);
void vec_mulconst(double a, vector_d &b, vector_d &res);
```

Методи розрахунку для теплопередачі трансмісією та вентиляцією

```
vector_d Calc_H_tr_adj();
vector_d Calc_H_ve_adj();
```

Метод розрахунку сонячних теплонадходжень для обох періодів експлуатації

```
vector_d Calc_Q_HC_sol(int mode); // 0= H 1= C
```

Метод розрахунку теплопередачі через підлогу

```
vector_d Calc_H_floor(int mode);
```

Публічний конструктор класу

```
public:
    CalcMethod();
```

Публічний метод розрахунку теплонадходжень

```

    void Calc();
};

```

Методи розрахунів реалізовані у файлі `calcmethod.cpp`, основні елементи якого представлено нижче.

Для взаємодії з іншими елементами програми підключені файли визначень

```

#include "calcmethod.h"
#include "localdata.h"
#include "basedata.h"
#include "climetdata.h"
#include "math_func.h"

```

Метод виконання додавання двох векторів. Вхідні та вихідні дані представлені у вигляді посилання.

```

void CalcMethod::vec_add(vector_d &a, vector_d &b, vector_d
&res)
{
    if( a.size()>b.size() || a.size()>res.size() ) return;
    int i;
    for(i=0; i<a.size(); i++)
        res[i] = a[i]+b[i];
}

```

Метод виконання віднімання двох векторів. Вхідні та вихідні дані представлені у вигляді посилання.

```

void CalcMethod::vec_sub(vector_d &a, vector_d &b, vector_d
&res)
{
    if( a.size()>b.size() || a.size()>res.size() ) return;

```



```

int i;
for(i=0; i<a.size(); i++)
    res[i] = a[i]-b[i];
}

```

Метод множення вектора на константу. Вхідні та вихідні дані представлені у вигляді посилання.

```

void CalcMethod::vec_mulconst(double a, vector_d &b, vector_d
&res)
{
    if( b.size()>res.size() ) return;
    int i;
    for(i=0; i<b.size(); i++)
        res[i] = a*b[i];
}

```

Метод основних обчислень.

```

void CalcMethod::Calc()
{
    int i, j;

```

Задана температура зони будівлі для опалення

```

double tet_int_set_H=21.0;

```

Задана температура зони будівлі для охолодження

```

double tet_int_set_C=24.0;

```

Змінні для локальних даних

```

vector_d Q_H_nd(MONTH_NUM); // Енергопотреба для постійного
опалення будівлі
vector_d Q_H_ht(MONTH_NUM); // Сумарна теплопередача в режимі
опалення
vector_d Q_H_gn(MONTH_NUM); // Сумарні теплонадходження в
режимі опалення
double nu_H_gn; // Безрозмірний коефіцієнт використання
надходжень
vector_d Q_C_nd(MONTH_NUM); // Енергопотреба для охолодження
будівлі
vector_d Q_C_ht(MONTH_NUM); // Сумарна теплопередача в режимі
охолодження
vector_d Q_C_gn(MONTH_NUM); // Сумарні теплонадходження в
режимі охолодження
double nu_C_ls; // Безрозмірний коефіцієнт використання

vector_d Q_H_tr(MONTH_NUM), Q_C_tr(MONTH_NUM); // Сумарна
теплопередача трансмісією
vector_d Q_H_ve(MONTH_NUM), Q_C_ve(MONTH_NUM); // Сумарна
теплопередача вентиляцією
vector_d Q_H_int(MONTH_NUM), Q_H_sol(MONTH_NUM); // Сума
внутрішніх теплонадходжень протягом даного періоду
vector_d Q_C_int(MONTH_NUM), Q_C_sol(MONTH_NUM); // Сума
сонячних теплонадходжень протягом даного періоду

```

Визначення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією зони

```
vector_d H_tr_adj = Calc_H_tr_adj();
```

Розрахунок сумарної теплопередачі трансмісією для опалення та охолодження

```
for(i=0; i<MONTH_NUM; i++)
{
```

```

        Q_H_tr[i]      =      H_tr_adj[i]*(tet_int_set_H
Climet_Data.tet_e[i])* Base_Data.time_c[i].hour;
        Q_C_tr[i]      =      H_tr_adj[i]*(tet_int_set_C
Climet_Data.tet_e[i])* Base_Data.time_c[i].hour;
    }

```

Розрахунок загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією

```
vector_d H_ve_adj = Calc_H_ve_adj();
```

Розрахунок сумарної теплопередачі вентиляцією

```

for(i=0; i<MONTH_NUM; i++)
{
    Q_H_ve[i]      =      H_ve_adj[i]*(tet_int_set_H
Climet_Data.tet_e[i])* Base_Data.time_c[i].hour;
    Q_C_ve[i]      =      H_ve_adj[i]*(tet_int_set_C
Climet_Data.tet_e[i])* Base_Data.time_c[i].hour;
}

```

Розрахунок внутрішніх теплонадходжень

```

for(j=0; j<MONTH_NUM; j++)
    Q_H_int[j] = 0;
for(i=0; i<Project_Data.Power_Stream.size(); i++)
{
    for(j=0; j<MONTH_NUM; j++)
    {
        Q_H_int[j] +=      Project_Data.Power_Stream[i].
power_stream_element[j].time *
        Project_Data.Af * (
        Project_Data.Power_Stream[i].
power_stream_element[j].FI_int_A +

```

```

        Project_Data.Power_Stream[i].
power_stream_element[j]. FI_int_L +
        Project_Data.Power_Stream[i].
power_stream_element[j]. FI_int_Oc);
    }
}
Q_C_int = Q_H_int;

```

Розрахунок сонячних теплонадходжень

```

Q_H_sol = Calc_Q_HC_sol(0);
Q_C_sol = Calc_Q_HC_sol(1);

```

Обчислення сумарної теплопередачі

```

vec_add(Q_H_tr, Q_H_ve, Q_H_ht);
vec_add(Q_C_tr, Q_C_ve, Q_C_ht);

```

Обчислення сумарних теплових надходжень

```

vec_add(Q_H_int, Q_H_sol, Q_H_gn);
vec_add(Q_C_int, Q_C_sol, Q_C_gn);

```

Формування вихідних даних

```

vector_d tmp1;
vec_mulconst(nu_H_gn, Q_H_gn, tmp1);
vec_sub(Q_H_ht, tmp1, Q_H_nd );
vec_mulconst(nu_C_ls, Q_C_gn, tmp1);
vec_sub(Q_C_ht, tmp1, Q_C_nd );
}

```

Реалізація методу розрахунку для теплопередачі трансмісією

```

vector_d CalcMethod::Calc_H_tr_adj()
{
// Узагальнені коефіцієнти теплопередачі
double H_g=0.01; // трансмісією до ґрунту
double H_U = 0.0; // трансмісією через некондиціоновані
об'єми;
double H_A = 0.0; // трансмісією до суміжних будівель

```

Розрахунок узагальненого коефіцієнта теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища

```

double H_D;
int i;
double sum=0.0;
for(i=0; i<Project_Data.Wall_Section_arr.size(); i++)
{
    if(Project_Data.Wall_Section_arr[i].type ==
project_data::wall)
        sum += Project_Data.Wall_Section_arr[i].A /
Project_Data.Wall_Section_arr[i].R_sum_pr;
}
H_D = sum;

```

Розрахунок сумарного результату

```

vector_d res(MONTH_NUM);
for(i=0; i<MONTH_NUM; i++)
{
    res[i] = H_D + H_g ;
}
return res;
}

```

Методи розрахунку для теплопередачі трансмісією та вентиляцією

```
vector_d CalcMethod::Calc_H_ve_adj()
{
    double ro_a_c_a = 0.33; //Теплоємність повітря одиниці
    об'єму
    vector_d res(MONTH_NUM);
    int i, j;
    for(i=0; i<Project_Data.Air_Stream_arr.size(); i++)
    {
        for(j=0; j<MONTH_NUM; j++)
        {
            res[j] +=
Project_Data.Air_Stream_arr[i].air_element[j].q_ve_k *
Project_Data.Air_Stream_arr[i].air_element[j].f_ve_t_k;
        }
    }
}
```

Розрахунок сумарного результату

```
for(i=0; i<MONTH_NUM; i++)
    res[i] *= ro_a_c_a;
return res;
}
```

Метод розрахунку сонячних теплонадходжень для обох періодів експлуатації

```
vector_d CalcMethod::Calc_Q_HC_sol(int mode)
{
    vector_d res(MONTH_NUM);
    const double Rse = 0.043; // Тепловий зовнішній
поверхневий опір непрозорої частини
```

```
int i,m;
```

Розрахунок сонячних теплонадходжень для кожного місяця

```
double sum=0.0;
for(m=0; m<MONTH_NUM; m++)
{
    sum=0.0;
    for(i=0; i<Project_Data.Wall_Section_arr.size(); i++)
    {
        data_wall_section *dws = &(Project_Data.
Wall_Section_arr[i]);
        double U = 1.0 / dws->R_sum_pr;
        U *= ((dws->VentFacade) ? 0.04 : 1.0);
```

Розрахунок для світлопрозорої конструкції

```
if(dws->type == project_data::window)
{
    double Isol = Climet_Data.get_Isol(m, dws-
>azimut, dws->fi);
    double fsh_gl = Base_Data.get_f_sh_with
(region, m, dws->azimut);
    double gl = dws->gn*0.9;
    double F_sh_gl = ( (1.0-fsh_gl)*gl +
fsh_gl*(gl*dws->g_sh_move) ) / gl;
    double F_sh_ob;
    if(mode == 0)
        F_sh_ob =
Base_Data.get_F_hor_ov_fin_H(region, m, dws->azimut, dws-
>shadow_al_hor, dws->shadow_al_vert, dws->shadow_bet_left, dws-
>shadow_ber_right);
    else
```

```

        F_sh_ob =
Base_Data.get_F_hor_ov_fin_C(region, m, dws->azimut, dws-
>shadow_al_hor, dws->shadow_al_vert, dws->shadow_bet_left, dws-
>shadow_ber_right);
        double Asol = F_sh_gl*gl*dws-
>g_sh_static*(1.0-dws->Ff)*dws->A;
        sum += F_sh_ob * Asol * Isol;
    }

```

Розрахунок для непрозорих огорожувальних конструкцій

```

        if(dws->type == project_data::wall || dws->type ==
project_data::roof)
        {
            double Isol = Climet_Data.get_Isol(m, dws-
>azimut, dws->fi);
            double F_sh_ob;
            if(mode == 0)
                F_sh_ob =
Base_Data.get_F_hor_ov_fin_H(region, m, dws->azimut, dws-
>shadow_al_hor, dws->shadow_al_vert, dws->shadow_bet_left, dws-
>shadow_ber_right);
            else
                F_sh_ob =
Base_Data.get_F_hor_ov_fin_C(region, m, dws->azimut, dws-
>shadow_al_hor, dws->shadow_al_vert, dws->shadow_bet_left, dws-
>shadow_ber_right);
            double Asol = dws->alpha_Sc* Rse * dws->A * U;
            sum += F_sh_ob * Asol * Isol;
        }

```

Додатковий тепловий потік за рахунок теплового випромінювання в атмосферу для відповідного елемента оболонки будівлі


```

        double delta_teta = 11.0; // Середня різниця між
        температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери.
        Для помірних широт приймають = 11 К.

        double h_r = 5* dws->eps_surface; // Коефіцієнт
        теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні

        sum += Rse * U * dws->A * h_r * delta_teta;
    }
    res[m] = sum;
}
return res;
}

```

Метод розрахунку теплопередачі через підлогу

```

vector_d CalcMethod::Calc_H_floor(int mode)
{
    vector_d res(MONTH_NUM);
    int i;
    const double Rse = 0.043; //Тепловий поверхневий опір для
    усіх зовнішніх поверхонь Rse = 0,043 м2 К/Вт
    if (mode == 0)
    {
        double sum = 0;
        for(i=0; i<Project_Data.Wall_Section_arr.size(); i++)
        {
            data_wall_section *dws =
            &(Project_Data.Wall_Section_arr[i]);
            if(dws->type != project_data::floor) continue;

            double B_ = dws->A/(0.5*dws->P);
            double dt = dws->w + dws->lambda*(dws->Rsi + dws-
            >Rf + Rse);

            double U;

```

Для неізолюваної або посередньо ізолюваної підлоги

```

        if(dt<B_)
        {
            U = 2*dws->lambda * log(1.0 + M_PI*B_/dt)/
(M_PI*B_+dt);
        }

```

Для добре ізольованої підлога

```

        else
        {
            U = dws->lambda / (0.457*B_ + dt);
        }
        sum += U;
    }

```

Розрахунок результируючих значень

```

        for(i=0; i<MONTH_NUM; i++)
            res[i] *= sum;
    }
    return res;
}

```

Таким чином для розрахунку необхідно викликати метод CalcMethod::Calc(), результатом роботи якого є щомісячні та річні значення потреби в енергії.

РОЗДІЛ 3

ОПИС ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1. Структура програмних модулів користувальницького інтерфейсу

Програма розроблена з використанням фреймворка Qt. Цей фреймворк забезпечує простий інтерфейс для створення кросплатформного користувальницького інтерфейсу та програм.

Розроблена програма складається з ряду класів, які реалізовані в наступних файлах:

- клас для синтаксичного аналізу json-файлів

json.hpp

Json_My.cpp

Json_My.h

- класи для зберігання базових даних, кліматичних даних та даних про об'єкт розрахунку

localdata.cpp

localdata.h

basedata.cpp

basedata.h

climetdata.cpp

climetdata.h

- класи з математичними функціями та методами для реалізації алгоритма розрахунку енерговитрат

math_func.cpp

math_func.h

calcmethod.cpp

calcmethod.h

- класи реалізації користувальницького інтерфейсу

```
dialog_id_all.cpp
dialog_id_all.h
dialog_id_all.ui
dialog_id_zonewall.cpp
dialog_id_zonewall.h
dialog_id_zonewall.ui
```

- головна функція програми та клас головного вікна програми

```
main.cpp
mainwindow.cpp
mainwindow.h
mainwindow.ui
```

- файл проекту

```
EnergyConsumption.pro
```

Розглянемо конструктор головного вікна програми. Спочатку виконується виклик конструкторів.

```
MainWindow::MainWindow(QWidget *parent)
    : QMainWindow(parent)
    , ui(new Ui::MainWindow)
{
```

Виконується ініціалізація графічного інтерфейсу

```
    ui->setupUi(this);
```

Зчитування та розбір файлів з конфігураційними даними та даними про будівлю

```

        Project_Data.Load(
LoadFile("../EnergyConsumption//in_data.json" ) );
        Base_Data.Load(
LoadFile("../EnergyConsumption//base_data.json" ) );
        Climet_Data.Load(
LoadFile("../EnergyConsumption//climet_data.json" ) );

```

Створення об'єкту для розрахунку енергетичних характеристик та виконання розрахунку

```

        CalcMethod calc_obj;
        calc_obj.Calc();
    }

```

Для уніфікації зчитування даних виконується завантаження файлу до рядка QString.

```

QString MainWindow::LoadFile(QString f_name)
{
    QString txt;

```

Створення об'єкта для файлу та відкриття файлу в режимі читання

```

    QFile file(f_name);
    if (!file.open(QIODevice::ReadOnly | QIODevice::Text))
        return txt;

```

Зв'язування файлу з текстовим потоком

```

    QTextStream in(&file);

```

Зчитування усіх рядків з файлу

```

while (!in.atEnd()) {
    txt += in.readLine();
}
return txt;
}

```

Метод `MainWindow::LoadFile` забезпечує зчитування файлів.

3.2. Модулі обміну даними

Як було сказано вище для зберігання даних використовується формат даних JSON. Для зчитування даних розроблено наступні класи:

`ClimetData` – для зберігання кліматичних даних;

`BaseData` – загальні нормативні дані;

`project_data` – основні дані проекту;

`data_wall_section` – для зберігання даних огорожувальних конструкцій;

`data_air_stream` – дані про повітряні потоки;

`data_power_stream` – дані про джерела енергії.

Розглянемо основні класи для зчитування даних.

Клас `ClimetData` має захищений метод `setData` для перетворення вхідного об'єкту JSON, а також загальнодоступний конструктор та методи зчитування даних файлу та помилок перетворення.

```

class ClimetData
{
    long setData(json *obj);
public:
    ClimetData();
    QString getErrorString() { return error; }
}

```

```
void Load(QString str);
```

Кліматичні дані зберігаються в наступних масивах. Розмірність масивів дорівнює 13. Дванадцять елементів відповідають місяцям, а тринадцятий – середнім значенням за рік.

```
    QVector<double>    tet_e; //середньомісячна    температура
зовнішнього середовища
    QVector<double>    Isol_header; // інтенсивність сонячного
випромінювання
    QVector<QVector<double>> Isol;
    double get_Isol(int mon, double azimuth, double alfa); //
alfa - кут поверхні
    QVector<long>    flag_H; // признак опалювального періоду
    QVector<long>    flag_C; // признак періоду охолодження
};
```

Для взаємодії з іншими елементами програми використовується глобальний об'єкт

```
ClimetData Climet_Data;
```

Розглянемо основні методи класу. Перетворення рядка у об'єкт JSON виконується з контролем виключень.

```
void ClimetData::Load(QString str)
{
    json obj;
    try
    {
        obj = json::parse(str.toStdString()); //, nullptr,
false);
    }
}
```

Обробник виключень фільтрує тільки виключення типу `json::parse_error`.

```

catch (json::parse_error& ex)
{
    QString str;
    str = QString("parse error at byte %1").arg(ex.byte);
    qDebug() << str;
}
setData(&obj);
}

```

Для перетворення елементів JSON у поля даних класу розроблено метод `setData`. Перетворення також виконано з контролем виключень.

```

long ClimetData::setData(json *obj)
{
    unsigned long i, j;
    try
    {
        json sections;

```

Перетворення поля `Isol_header` виконується наступним чином

```

        sections = obj->at("Isol_header");
        for(i=0; i<sections.size(); i++)
        {
            Isol_header.append(
sections.at(i) ) );
                JsonMy_toDouble(
        }
        Isol.clear();
        sections = obj->at("Isol");
        unsigned long i, j;
        for(i=0; i<sections.size(); i++)

```



```

{
    QVector<double> arr;
    json obj_j = sections.at(i);
    for(j=0; j<obj_j.size(); j++)
    {
        arr.append( JsonMy_toDouble( obj_j.at(j) ) );
    }
    Isol.append(arr);
}

```

Перетворення полів `flag_H`, `flag_C`, `tet_e` також виконується з урахуванням місяців

```

sections = obj->at("flag_H");
for(i=0; i<sections.size(); i++)
{
    flag_H.append( JsonMy_toLong( sections.at(i) ) );
}
sections = obj->at("flag_C");
for(i=0; i<sections.size(); i++)
{
    flag_C.append( JsonMy_toLong( sections.at(i) ) );
}
sections = obj->at("tet_e");
for(i=0; i<sections.size(); i++)
{
    tet_e.append( JsonMy_toDouble( sections.at(i) ) );
} } MY_JSON_CATCH(return 1)
return 0; }

```

Обчислення ефективної сонячної радіації з урахуванням нахилу поверхні

```

double ClimetData::get_Isol(int mon, double azimuth, double
alfa)

```

```
{  
    double hor = Isol[mon][Isol_header.size()-1];  
    QVector<double> tmp;  
    tmp = Isol[mon];  
    tmp[tmp.size()-1] = tmp[0];  
    QVector<QVector<double>> AY;  
    QVector<double> arg = Isol_header;  
    arg[arg.size()-1] = 360;  
    AY.append(arg);  
    AY.append(tmp);  
    double vert = GLI(AY, azimuth, true);  
    double h = hor*sin((alfa*M_PI)/180.0);  
    double v = vert*cos((alfa*M_PI)/180.0);  
    return sqrt( v*v + h*h );  
}
```

При розрахунках сонячної радіації враховується розташування поверхні як по азимуту, так і по куту нахилу до горизонту.

ВИСНОВКИ

Структура енергоспоживання будівлі включає різні системи та пристрої, що використовують енергію для забезпечення різних функцій та комфорту приміщень. Основні складові структури енергоспоживання будівлі включають, але не обмежуються, наступні елементи:

Опалення включає системи опалення, які забезпечують тепло в будівлі. Це можуть бути радіатори, конвектори, підлогове опалення або центральна система кондиціонування повітря.

Системи вентиляції та кондиціонування повітря не лише забезпечують свіжий повітря у будівлі, а й вимагають значних енергетичних ресурсів для роботи. При цьому вони також споживають енергію.

Енергоспоживання від системи освітлення представленого різними типами ламп, світлодіодами, освітлювальними приладами та системами автоматизації освітлення.

В деяких випадках крім обігріву, деякі будівлі також потребують систем охолодження влітку. Це можуть бути кондиціонери або системи центрального охолодження.

Енергія використовується для нагріву води для використання в системах гарячого водопостачання, та інших побутових потреб.

Побутові прилади та інше обладнання.

Структура енергоспоживання будівлі може значно відрізнитися в залежності від її призначення, розміру, кліматичних умов, технічного стану та наявності енергоефективних технологій. Оцінка та аналіз цієї структури є важливим етапом при розробці програмної бібліотеки для ефективного розрахунку енергобалансу будівлі.

Робота зосереджена на важливій проблемі підвищення енергоефективності будівель. Розроблена бібліотека допоможе здійснювати

більш точні та ефективні розрахунки споживання енергії, що сприятиме зменшенню витрат та покращенню сталих енергетичних рішень.

Розробка програмної бібліотеки для розрахунку енергобалансу будівлі має велике практичне значення у сфері будівництва та енергетики. Розроблена програма є інструментом для фахівців, які ведуть проекти будівництва або оцінюють енергоефективність існуючих будівель.

Відповідно до аналізу різних методів, було виявлено переваги та недоліки існуючих підходів, що послужило основою для вибору та розробки оптимального методу.

Розроблений алгоритм виконано у відповідності до ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні, оскільки він визначає точність та достовірність отриманих результатів. Його ефективність впливає на усі подальші розрахунки.

Ефективна структура файлу JSON та даних програми є важливими для збереження та оптимальної обробки інформації.

Програма розрахунку енергобалансу будівлі розроблена з використанням фреймворка QT.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розробка та впровадження програмних рішень, подібних до розробленої бібліотеки для ефективного розрахунку енергобалансу будівлі, є важливим етапом для підвищення енергоефективності та сприяє зменшенню витрат на енергію.

Важливо продовжувати аналізувати та удосконалювати структуру файлів та дані програмного забезпечення для забезпечення їхньої ефективності та зручності використання у майбутніх розрахунках енергобалансу будівлі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT).
2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні.
3. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергоефективність будинків. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT).
4. ДСТУ ISO 50001:2014 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування. (ISO 50001:2011, IDT).
5. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту.
6. ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги щодо їх проведення.
7. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції та ГВП.
8. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження.
9. Тимофеев М.В., Фаренюк Г.Г. Розрахунки енергоефективності будівель: Навч. пос. – К.: КНУБА, 2015. – 140 с.
10. Шовкалюк Ю.В. Інструменти і методи для підвищення енергоефективності будівельного фонду // Молодий вчений. – №1(53). – 2018.

11. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту / Є.М.Іншеков, Є.Є.Нікітін, М.В.Тарновский, А.В.Чернявський. – К.: 2014. – 247 с.
12. Управління ефективністю енерговикористання вищих навчальних закладів / Білоус І.Ю., Дешко В.І. та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 157 с.
13. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання / В.І.Дешко, І.Ю.Білоус // Будівельні конструкції: Міжвід. н.-т. зб. Вип.80, К., 2014. С. 68–72.
14. Аналіз програмних продуктів для оцінювання показників енергоефективності будівель / Шовкалюк М.М., Зіменко С.В. // Мат. VII Міжн. конф. «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» [Миколаїв]. – С. 72-77.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Вихідний код програми `mainwindow.cpp`