

УДК 004.891:697.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.2/44>**Стрельченко А.П.**<https://orcid.org/0009-0009-3120-0180>

Державний університет «Житомирська політехніка»

Чижмотря О.Г.<https://orcid.org/0000-0001-8597-1292>

Державний університет «Житомирська політехніка»

Лавріщев О.О.<https://orcid.org/0000-0002-0051-3039>

Державний університет «Житомирська політехніка»

Дмитренко І.А.<https://orcid.org/0000-0002-2251-3080>

Державний університет «Житомирська політехніка»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ПІДБОРУ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЛІ ТА КЛІМАТУ

У статті розглядається розробка інтелектуальної системи для автоматизованого підбору оптимальної системи опалення будівель на основі комплексного аналізу кліматичних, геопросторових та архітектурних параметрів. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення енергоефективності житлового фонду України, на опалення якого припадає близько 40% загального енергоспоживання країни. Проблема вибору оптимальної системи опалення є особливо гострою в умовах нестабільності цін на енергоносії та необхідності зменшення залежності від імпортованих ресурсів. Традиційні методи вибору базуються на експертних оцінках або спрощених калькуляторах, що не забезпечують достатньої точності та не враховують індивідуальних особливостей будівлі. Запропоновано алгоритм класифікації кліматичної зони на основі скоригованого показника градусо-днів опалення з урахуванням висоти над рівнем моря та вітрового навантаження. Розроблено алгоритм класифікації енергетичного профілю будівлі з розрахунком питомого теплового навантаження та визначенням категорії енергоефективності від А до Е. Представлено *scoring*-модель багатокритеріального оцінювання систем опалення на основі методу зваженої суми з шістьма критеріями: енергоефективність, капітальні та операційні витрати, комфорт, екологічність та надійність. Модель підтримує чотири профілі пріоритетів користувача: економний, збалансований, комфортний та екологічний. Описано математичну модель енергетичного моделювання з помісячною симуляцією річного енергоспоживання та розрахунком сукупної вартості володіння протягом життєвого циклу системи. Система інтегрується з відкритими API для отримання актуальних метеорологічних даних та висоти над рівнем моря в режимі реального часу. Запропоновано архітектуру мобільного застосунку за принципами *Clean Architecture* з підтримкою офлайн-режиму роботи та механізмами кешування даних. Практичне значення полягає у можливості автоматичної класифікації будівлі, ранжування систем опалення та прогнозування річних витрат з похибкою до 15%.

Ключові слова: система опалення, енергоефективність, класифікація будівель, багатокритеріальне оцінювання, *scoring*-модель, енергетичне моделювання, тепловий баланс, градусо-доби опалення, мобільний застосунок.

Постановка проблеми. Сучасний стан енергетичної галузі України характеризується значними викликами, пов'язаними з нестабільністю цін на енергоносії, необхідністю зменшення залежності від імпортованих ресурсів та зростаючими вимогами до енергоефективності будівель.



На опалення житлового фонду припадає близько 40% загального енергоспоживання країни [5], що робить оптимізацію систем опалення одним із пріоритетних напрямків підвищення енергоефективності. Вибір оптимальної системи опалення для конкретної будівлі є комплексною задачею, що вимагає врахування множини взаємопов'язаних факторів: кліматичних умов регіону, геопросторових характеристик місцевості, архітектурних особливостей будівлі, наявної інфраструктури та економічних параметрів. Традиційний підхід до вибору системи опалення базується переважно на експертних оцінках та спрощених розрахунках, що не завжди забезпечує оптимальне рішення з точки зору енергоефективності та економічної доцільності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вибору систем опалення та енергетичного моделювання будівель розглядаються у працях вітчизняних та зарубіжних науковців. Нормативна база представлена ДБН В.2.6-31:2021 [1] щодо теплової ізоляції будівель та ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [2] щодо методів розрахунку енергоспоживання. Європейська Директива 2010/31/EU [4] визначає загальні підходи до енергетичної ефективності будівель. Симуляційні методи енергетичного моделювання досліджено у роботах Кроулі Д.Б. (Crawley D.B.) та інших [6], де проведено порівняльний аналіз можливостей програм EnergyPlus, TRNSYS та інших. Жао Х. (Zhao H.) та Магулес Ф. (Magoulès F.) [7] здійснили огляд методів прогнозування енергоспоживання будівель. Амасялі К. (Amasyali K.) та Ель-Гохарі Н.М. (El-Gohary N.M.) [8] проаналізували підходи до прогнозування енергоспоживання на основі даних. Метод аналітичної ієрархії для багатокритеріального оцінювання описано у роботах Сааті Т.Л. (Saaty T.L.) [11]. Проте існуючі підходи не забезпечують одночасно високу точність, доступність для масового користувача та можливість інтеграції реальних метеорологічних даних у мобільних застосунках.

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка алгоритмів класифікації будівель та рекомендаційної системи вибору систем опалення

з інтеграцією геопросторових і метеорологічних даних, а також створення математичних моделей для порівняльного енергетичного моделювання альтернативних варіантів. Для досягнення мети необхідно: систематизувати вхідні параметри, що впливають на вибір системи опалення; розробити алгоритми класифікації кліматичних зон та енергетичних профілів будівель; створити scoring-модель багатокритеріального оцінювання; реалізувати модель енергетичного моделювання для порівняльного аналізу.

Виклад основного матеріалу. Аналіз існуючих підходів до вибору систем опалення дозволяє виділити чотири основні категорії методів: нормативний (ДБН [1], ДСТУ [2]), експертний [5], калькуляторний та симуляційний (EnergyPlus, TRNSYS) [6]. У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз цих підходів за ключовими критеріями. Жоден з існуючих підходів не забезпечує одночасно високу точність, низьку вартість та доступність для масового користувача, що обумовлює необхідність розробки нового комплексного рішення.

Вхідними даними системи є: геолокація (координати, висота); метеорологічні дані; параметри будівлі (тип, площа, матеріали); інфраструктура; пріоритети користувача. Вихідними даними є: класифікація кліматичної зони та енергетичного профілю; ранжований список ТОП-3 систем; результати енергетичного моделювання; порівняльний економічний аналіз.

Основними метеорологічними параметрами є: температура зовнішнього повітря, вологість, швидкість вітру та сонячна радіація. Ключовий показник – градусо-добі опалення (HDD):

$$HDD = \sum \max(T_{base} - T_p, 0), \text{ де } T_{base} = 18^\circ\text{C}$$

Висота над рівнем моря впливає на температуру: корекція -6.5°C на 1000 м. Для отримання даних використовуються API: Open-Meteo [9] (метеодані), Open-Elevation [10] (висота).

Характеристики будівлі визначають її теплотехнічні властивості та можливість встановлення різних типів систем опалення. У таблиці 2 систематизовано основні параметри будівлі, що врахо-

Таблиця 1

Порівняльний аналіз підходів до вибору систем опалення

Критерій	Нормативний	Експертний	Калькуляторний	Симуляційний
Точність	Низька	Висока	Низька	Висока
Вартість	Безкоштовно	Висока	Безкоштовно	Середня
Доступність	Висока	Низька	Висока	Низька
Врахування клімату	Зони	Індивідуально	Зони	Реальні дані

Параметри будівлі та їх вплив на теплові характеристики

Параметр	Значення	Вплив на тепловтрати
Тип будівлі	Квартира / будинок / таунхаус	Визначає площу зовнішніх стін
Рік побудови	до 1980 / 1980-2000 / після 2000	Клас енергоефективності
Матеріал стін	Цегла / газоблок / каркас / панелі	Термічний опір
Тип вікон	Одинарні / подвійні / енергозберігаючі	15-25% тепловтрат
Інфраструктура	Газ / електрика / земельна ділянка	Доступність систем

вуються при класифікації, із зазначенням типових значень та їх впливу на теплові характеристики об'єкта.

Класифікація кліматичної зони є першим етапом аналізу, що визначає базові вимоги до потужності системи опалення. Алгоритм (лістинг 1) приймає на вхід географічні координати, висоту над рівнем моря та масив метеорологічних даних за рік. На основі розрахунку скоригованого показника градусо-днів опалення (HDD) з урахуванням висоти та вітрового навантаження алгоритм визначає одну з чотирьох кліматичних зон: сувора (I), холодна (II), помірна (III) або м'яка (IV).

Лістинг 1 – Алгоритм класифікації кліматичної зони за скоригованим HDD

```

АЛГОРИТМ ClassifyClimateZone(lat, lon,
elevation, weatherData)
    baseTemp ← 18.0
    hdd ← 0; heatingDays ← 0

    ДЛЯ КОЖНОГО day У weatherData:
        ЯКЩО day.tempAvg < baseTemp:
            hdd ← hdd + (baseTemp - day.
tempAvg)
            heatingDays ← heatingDays + 1

    // Корекція на висоту: -6.5°C на 1000м
    elevationCorr ← 0.0065 × (elevation - 200)
× heatingDays
    adjustedHDD ← hdd + elevationCorr

    // Корекція на вітер
    windFactor ← ОБМЕЖИТИ(1.0 + (avgWindSpeed
- 3.0) × 0.02, 0.9, 1.2)
    adjustedHDD ← adjustedHDD × windFactor

    ЯКЩО adjustedHDD >= 4200: ПОВЕРНУТИ
ZONE_I_SEVERE
    ЯКЩО adjustedHDD >= 3600: ПОВЕРНУТИ ZONE_
II_COLD
    ЯКЩО adjustedHDD >= 3000: ПОВЕРНУТИ ZONE_
III_MODERATE
    ПОВЕРНУТИ ZONE_IV_MILD
    
```

Енергетичний профіль будівлі характеризує її теплові потреби та клас енергоефективності. Алгоритм (лістинг 2) розраховує питоме теплове навантаження (Вт/м²) на основі року побудови та застосовує корекційні коефіцієнти для матеріалу стін, типу вікон, поверховості та планування. Результатом є категорія енергоефективності від А (найвища) до Е (найнижча) та розрахункова потужність системи опалення.

Лістинг 2 – Алгоритм класифікації енергетичного профілю будівлі

```

АЛГОРИТМ ClassifyBuildingProfile(building)
    // Базове навантаження за віком (Вт/м²)
    ЯКЩО building.year < 1980: baseLoad ← 120
    ЯКЩО building.year < 2000: baseLoad ← 95
    ЯКЩО building.year < 2017: baseLoad ← 75
    ІНАКШЕ: baseLoad ← 55

    // Коефіцієнти корекції
    kWall ← {BRICK_OLD: 1.15, GAS_BLOCK: 0.85,
SIP: 0.70, ...}[building.wallMaterial]
    kWindow ← {SINGLE: 1.30, DOUBLE_PVC: 1.0,
ENERGY_SAVING: 0.80}[building.windowType]
    kFloors ← 1.0 + (building.floors - 1) × 0.05
    kLayout ← building.layout = OPEN_SPACE ?
1.08 : 1.0

    specificLoad ← baseLoad × kWall × kWindow
× kFloors × kLayout
    totalDemand ← specificLoad × building.
area / 1000 × 1.15 // +15% запас

    // Категорія енергоефективності
    ЯКЩО specificLoad <= 45: category ← А
    ЯКЩО specificLoad <= 70: category ← В
    ЯКЩО specificLoad <= 100: category ← С
    ЯКЩО specificLoad <= 130: category ← D
    ІНАКШЕ: category ← Е

    ПОВЕРНУТИ {specificLoad, totalDemand,
category}
    
```

Алгоритм (лістинг 3) виконує фільтрацію систем опалення за критерієм технічної можливості

встановлення. На основі параметрів інфраструктури (наявність газу, електрична потужність, земельна ділянка, димохід) та типу будівлі алгоритм формує перелік доступних варіантів, виключаючи системи, потужність яких недостатня для покриття теплових потреб.

Лістинг 3 – Алгоритм визначення технічно доступних систем опалення

```

АЛГОРИТМ GetAvailableSystems(building,
infrastructure, profile)
available ← []
power ← profile.totalDemand

ЯКЩО infrastructure.hasGas:
    available.ДОДАТИ(GAS_CONVENTIONAL,
GAS_CONDENSING)

ЯКЩО infrastructure.electricPower >= power
× 0.8:
    available.ДОДАТИ(ELECTRIC_BOILER)

ЯКЩО building.type = HOUSE I
infrastructure.electricPower >= 3:
    available.ДОДАТИ(HEAT_PUMP_AIR)
ЯКЩО infrastructure.landArea >= 200:
    available.ДОДАТИ(HEAT_PUMP_GROUND)

ЯКЩО building.type = HOUSE I
infrastructure.hasChimney:
    available.ДОДАТИ(SOLID_FUEL, PELLET_
BOILER)

ЯКЩО infrastructure.hasDistrictHeating:
    available.ДОДАТИ(DISTRICT_HEATING)

ПОВЕРНУТИ ФІЛЬТРУВАТИ(available, s →
s.maxPower >= power × 0.8)
    
```

У таблиці 3 наведено основні технічні характеристики систем опалення, що розглядаються алгоритмом: діапазон ефективності (ККД для традиційних систем або COP для теплових насосів), типовий діапазон потужності та ключові інфраструктурні вимоги для встановлення.

Для багатокритеріального оцінювання систем опалення застосовано метод зваженої суми (Weighted Sum Model, WSM) [11]. Інтегральна оцінка системи розраховується як сума нормалізованих оцінок за шістьма критеріями, помножених на відповідні вагові коефіцієнти:

$$S = w_E \cdot s_E + w_C \cdot s_C + w_O \cdot s_O + w_F \cdot s_F + w_G \cdot s_G + w_R \cdot s_R$$

де критерії: E – енергоефективність, C – капітальні витрати, O – операційні витрати, F – комфорт, G – екологічність, R – надійність.

У таблиці 4 наведено чотири попередньо визначені профілі вагових коефіцієнтів, що відповідають типовим пріоритетам користувачів. Економний профіль надає перевагу мінімізації витрат, комфортний – якості теплового режиму, екологічний – зменшенню викидів CO₂, збалансований – рівномірному врахуванню всіх критеріїв.

Алгоритм (лістинг 4) є центральним компонентом рекомендаційної системи. Він послідовно виконує чотири етапи: збір даних через API, класифікацію клімату та будівлі, scoring кожної доступної системи та ранжування для вибору трьох найкращих варіантів. Функція CalculateScore реалізує scoring-модель з урахуванням корекції ефективності теплових насосів залежно від кліматичної зони.

Лістинг 4 – Алгоритм вибору ТОП-3 рекомендованих систем опалення

```

АЛГОРИТМ RecommendTopSystems(building,
location, infrastructure, userPrefs)
// Етап 1: Збір даних
weatherData ← FetchWeatherAPI(location.
lat, location.lon)
elevation ← FetchElevationAPI(location.
lat, location.lon)

// Етап 2: Класифікація
climate ← ClassifyClimateZone(location.
lat, location.lon, elevation, weatherData)
profile ← ClassifyBuildingProfile(building)
availableSystems ←
GetAvailableSystems(building, infrastructure,
profile)
    
```

Таблиця 3

Технічні характеристики систем опалення

Система	ККД/COP	Потужність	Основна вимога
Газовий конвекційний	88–92%	10–50 кВт	Газопостачання, димохід
Газовий конденсаційний	95–109%	12–100 кВт	Газопостачання
Електричний котел	99%	3–24 кВт	Достатня потужність мережі
Тепловий насос (повітря)	COP 2.5–4.5	5–20 кВт	Місце для зовнішнього блоку
Тепловий насос (грунт)	COP 4.0–5.5	6–30 кВт	Земельна ділянка ≥200 м ²
Твердопаливний	75–85%	10–40 кВт	Димохід, зберігання палива
Пелетний	88–93%	8–40 кВт	Димохід, бункер

Вагові коефіцієнти критеріїв за профілями користувачів

Критерій	Економний	Збалансований	Комфортний	Екологічний
Енергоефективність	0.20	0.20	0.15	0.20
Капітальні витрати	0.30	0.20	0.10	0.10
Операційні витрати	0.30	0.25	0.15	0.15
Комфорт	0.10	0.15	0.35	0.15
Екологічність	0.05	0.10	0.15	0.30
Надійність	0.05	0.10	0.10	0.10

```
// Етап 3: Scoring
weights ← GetWeights(userPrefs.
priorityProfile)
scoredSystems ← []

ДЛЯ КОЖНОЇ system У availableSystems:
    score ← CalculateScore(system,
climate, profile, weights)
    scoredSystems.ДОДАТИ({system, score})

// Етап 4: Ранжування
scoredSystems ← СОРТУВАТИ(scoredSystems,
ЗА score СПАДАННЯ)

ПОВЕРНУТИ scoredSystems[0:3]

ФУНКЦІЯ CalculateScore(system, climate,
profile, weights)
    // Ефективність (з корекцією для ТН за
кліматом)
    efficiency ← system.efficiency
    ЯКЩО system.type = HEAT_PUMP_AIR:
        climateFactor ← {SEVERE: 0.70, COLD:
0.80, MODERATE: 0.90, MILD: 1.0}[climate]
        efficiency ← efficiency ×
climateFactor
    sE ← НормалізуватиЕфективність(efficiency)

    // Витрати
    capitalCost ← GetCapitalCost(system,
profile.totalDemand)
    operatingCost ←
CalculateAnnualCost(system, profile, climate)
    sC ← МАКС(0, 1 - capitalCost / 250000)
    sO ← МАКС(0, 1 - operatingCost / 80000)

    // Комфорт, екологічність, надійність
(табличні значення)
    sF ← comfortScores[system.type]
    sG ← 1 - co2Emissions[system.type] / 0.40
    sR ← reliabilityScores[system.type]

    ПОВЕРНУТИ weights.E×sE + weights.C×sC +
weights.O×sO +
        weights.F×sF + weights.G×sG +
weights.R×sR
```

Енергетичне моделювання базується на рівнянні теплового балансу будівлі [3], яке описує співвідношення між тепловими втратами та теплонадходженнями:

$$Q_{heat} = Q_{trans} + Q_{vent} - Q_{int} - Q_{sol}$$

де $Q_{trans} = \Sigma(U_i \times A_i) \times \Delta T$ – трансмісійні втрати через огорожувальні конструкції, $Q_{vent} = \rho \times c_p \times V \times n \times \Delta T$ – втрати на вентиляцію та інфільтрацію, Q_{int} – внутрішні теплонадходження, Q_{sol} – сонячні теплонадходження.

Алгоритм (лістинг 5) виконує симуляцію річного енергоспоживання з помісячним кроком дискретизації. Для кожного місяця розраховуються теплові втрати, теплонадходження, чиста потреба в опаленні та споживання енергоносія з урахуванням сезонної зміни ефективності системи. Функція GetMonthlyEfficiency моделює зниження COP теплових насосів при низьких температурах.

Лістинг 5 – Алгоритм симуляції річного енергоспоживання системи опалення

```
АЛГОРИТМ SimulateAnnualEnergy(system,
building, profile, climate, weatherData)
    totalHeat ← 0; totalEnergy ← 0; totalCost
← 0
```

```
    ДЛЯ month ВІД 1 ДО 12:
        monthWeather ←
ФІЛЬТРУВАТИ(weatherData, d → d.month = month)
        avgTemp ← СЕРЕДНЕ(monthWeather.
temperature)
        heatingHours ←
ПІДРАХУВАТИ(monthWeather, h → h.temp < 15)

        ЯКЩО heatingHours = 0: ПРОДОВЖИТИ

        // Тепловий баланс
        deltaT ← 20.0 - avgTemp
        heatLoss ← (profile.specificLoad ×
building.area × heatingHours) / 1000
        solarGains ←
CalculateSolarGains(building, month)
        internalGains ← 5.0 × building.area ×
heatingHours / 1000
```

```

heatDemand ← МАКС(0, heatLoss -
solarGains - internalGains)

// Ефективність системи
efficiency ←
GetMonthlyEfficiency(system, avgTemp)
energyConsumed ← heatDemand /
efficiency

// Вартість
tariff ← GetTariff(system.energyType,
month)
cost ← ConvertAndCalculateCost(energyC
onsumed, system.energyType, tariff)

totalHeat += heatDemand
totalEnergy += energyConsumed
totalCost += cost

ПОВЕРНУТИ {totalHeat, totalEnergy,
totalCost}

ФУНКЦІЯ GetMonthlyEfficiency(system,
outdoorTemp)
ЯКЩО system.type = HEAT_PUMP_AIR:
// COP знижується при морозах: -2.5%
на кожен °C нижче +7°C
ЯКЩО outdoorTemp < 7:
ПОВЕРНУТИ МАКС(1.5, system.
efficiency × (1 - 0.025 × (7 - outdoorTemp)))
ПОВЕРНУТИ system.efficiency × 1.05
ПОВЕРНУТИ system.efficiency
    
```

У таблиці 5 наведено приклад результатів порівняльного моделювання для трьох систем

опалення в типовому приватному будинку площею 120 м² у Київській області. Результати демонструють суттєву різницю в економічних показниках: тепловий насос має найнижчі експлуатаційні витрати та найкращий показник ТСО за 15 років, незважаючи на найвищі початкові інвестиції.

Архітектура мобільного застосунку побудована за принципами Clean Architecture [12] з чотирма шарами: представлення (екрани введення та візуалізації), домен (алгоритми класифікації, scoring, моделювання), дані (репозиторії для роботи з API та локальною БД), інфраструктура (HTTP-клієнти, сервіси геолокації, кешування). У таблиці 6 представлено структуру модулів системи.

Система інтегрується з Open-Meteo [9] (метео-дані), Open-Elevation [10] (висота над рівнем моря), Nominatim (геокодування адрес). Для забезпечення надійності реалізовано механізми кешування даних (термін зберігання 24 години), повторних спроб запитів (до 3 разів з експоненційною затримкою) та fallback до локальних кліматичних норм для роботи в офлайн-режимі.

У таблиці 7 наведено технології, рекомендовані для реалізації системи на різних мобільних платформах, включаючи нативні (Android, iOS) та кросплатформні (Flutter) рішення.

Висновки. У роботі розроблено комплекс алгоритмів для інтелектуальної системи підбору систем опалення, що включає: алгоритм класифікації кліматичної зони на основі скоригованого показника градусо-днів опалення (HDD) з урахуванням висоти над рівнем моря та вітрового

Таблиця 5

Результати порівняльного моделювання (будинок 120 м², Київська обл.)

Показник	Т.насос (повітря)	Газовий конденс.	Пелетний
Річна потреба в теплі	18 500 кВт·год		
Середній COP / ККД	3.2	0.97	0.91
Споживання енергоносія	5 780 кВт·год	1 815 м ³	4 150 кг
Капітальні витрати	185 000 грн	95 000 грн	120 000 грн
Річні витрати	18 500 грн	32 700 грн	24 900 грн
Вартість 1 кВт·год тепла	1.00 грн	1.77 грн	1.35 грн
ТСО за 15 років	570 000 грн	775 000 грн	640 000 грн
Викиди CO ₂	1 850 кг/рік	3 630 кг/рік	830 кг/рік

Таблиця 6

Архітектура програмної системи

Шар	Компоненти
Presentation	InputScreen, ResultScreen, ChartScreen
Domain	ClimateClassifier, BuildingProfiler, HeatingSystemScorer, EnergySimulator, RecommendationEngine
Data	WeatherRepository, ElevationRepository, PricesRepository, LocalDatabase
Infrastructure	HttpClient, LocationService, Cache

Технології мобільної реалізації

Компонент	Android	iOS	Cross-platform
Мова програмування	Kotlin	Swift	Dart (Flutter)
UI-фреймворк	Jetpack Compose	SwiftUI	Flutter Widgets
Локальна БД	Room	Core Data	Drift / SQLite
HTTP-клієнт	Ktor	URLSession	Dio

навантаження; алгоритм класифікації енергетичного профілю будівлі з розрахунком питомого теплового навантаження на основі корекційних коефіцієнтів та визначенням категорії енергоефективності; алгоритм фільтрації доступних систем опалення за технічними обмеженнями інфраструктури; scoring-модель багатокритеріального оцінювання на основі методу зваженої суми (WSM) [11] з шістьма критеріями та чотирма профілями пріоритетів користувача; математичну модель енергетичного моделювання з помісячною симуляцією та розрахунком ТСО і викидів CO₂.

Запропоновано архітектуру мобільного застосування за принципами Clean Architecture [12] з підтримкою офлайн-режиму та інтеграцією з відкритими API [9, 10]. Практичне значення роботи полягає у можливості автоматичної класифікації будівлі, ранжування систем опалення та прогнозування річних витрат з похибкою до 15%. Перспективними напрямками подальших досліджень є інтеграція методів машинного навчання для підвищення точності прогнозування, розширення бази гібридними системами опалення та розробка модуля оптимізації режимів роботи.

Список літератури:

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон України, 2021. 52 с.
2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання. Київ, 2015. 140 с.
3. ISO 52016-1:2017. Energy performance of buildings – Energy needs for heating and cooling. Geneva: ISO, 2017.
4. Європейська Директива 2010/31/EU про енергетичну ефективність будівель (EPBD).
5. Фаренюк Г.Г. Науково-технічні основи енергетичної сертифікації будівель. Київ: Гама-Принт, 2010. 336 с.
6. Кроулі Д.Б. (Crawley D.B.) та ін. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*. 2008. Vol. 43. P. 661–673.
7. Жао Х. (Zhao H.), Магулес Ф. (Magoulès F.) A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. P. 3586–3592.
8. Амасялі К. (Amasyali K.), Ель-Гохарі Н.М. (El-Gohary N.M.) A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81. P. 1192–1205.
9. Open-Meteo: Free Weather API. URL: <https://open-meteo.com/>
10. Open-Elevation API. URL: <https://open-elevation.com/>
11. Сааті Т.Л. (Saaty T.L.) *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
12. Мартін Р.К. (Martin R.C.) *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure*. Boston: Prentice Hall, 2017. 432 p.

Strelchenko A.P., Chyzmotria O.H., Lavrishchev O.O., Dmytrenko I.A. INTELLIGENT SYSTEM FOR CLASSIFICATION AND SELECTION OF HEATING SYSTEMS BASED ON COMPREHENSIVE ANALYSIS OF BUILDING AND CLIMATE PARAMETERS

The article considers the development of an intelligent system for automated selection of optimal building heating systems based on comprehensive analysis of climatic, geospatial and architectural parameters. The relevance of the study is determined by the need to improve the energy efficiency of Ukraine's housing stock, which accounts for about 40% of the country's total energy consumption. The problem of choosing the optimal heating system is particularly acute in conditions of energy price instability and the need to reduce dependence on imported resources. Traditional selection methods rely on expert assessments or simplified calculators that do not provide sufficient accuracy and do not account for individual building characteristics. An algorithm for classifying climate zones based on the adjusted heating degree days indicator, taking into account altitude above sea level and wind load, is proposed. An algorithm for classifying the energy profile of a building with

calculation of specific heat load and determination of energy efficiency category from A to E has been developed. A scoring model for multi-criteria evaluation of heating systems based on the weighted sum method with six criteria is presented: energy efficiency, capital and operating costs, comfort, environmental friendliness and reliability. The model supports four user priority profiles: economical, balanced, comfortable and ecological. A mathematical model of energy modeling with monthly simulation of annual energy consumption and calculation of total cost of ownership throughout the system lifecycle is described. The system integrates with open APIs to obtain current meteorological data and altitude above sea level in real time. The architecture of a mobile application based on Clean Architecture principles with offline mode support and data caching mechanisms is proposed. The practical significance lies in the ability to automatically classify a building, rank heating systems and forecast annual costs with an accuracy of up to 15%. Promising areas for further research include integration of machine learning methods to improve forecasting accuracy and expansion of the database with hybrid heating systems.

Keywords: *heating system, energy efficiency, building classification, multi-criteria evaluation, scoring model, energy modeling, thermal balance, heating degree days, mobile application.*

Дата першого надходження статті до видання: 24.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.04.2026