

УДК 004

**АЛГОРИТМ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ОПАЛЕННЯ З  
УРАХУВАННЯМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ТА ГЕОГРАФІЧНОГО  
РЕЛЬЄФУ ТЕРИТОРІЇ**

**Стрельченко А. П.,**

магістрант

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Чижмотря О. Г.,**

старший викладач

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Лавріщев О. О.,**

завідувач відділення

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

**Анотація:** у світі зростає необхідність підвищення енергоефективності та зниження впливу на довкілля через використання інноваційних теплотехнологій. В сучасних умовах універсальні та адаптивні інструменти для вибору опалювальних систем мають бути доступні широкому колу користувачів із різних країн і кліматичних зон. Відтак, метою цього дослідження є розробка узагальненого алгоритму, що враховує метеорологічні умови й географічний рельєф, який ляже в основу мобільного додатку для оптимального вибору джерела опалення. Такий додаток дасть можливість автоматизувати процес вибору, підвищити точність рекомендацій і забезпечити користувачів індивідуальними, адаптованими порадами незалежно від локації.

**Ключові слова:** алгоритм, алгоритмічна модель, мобільний додаток, оптимальне джерело опалення.

Основна мета – створення алгоритмічної моделі для автоматизованого підбору оптимального джерела опалення з урахуванням локальних метеоданих (температура, вологість, тривалість опалювального сезону) і географічних характеристик (висота над рівнем моря, нахили тощо). Збір та інтеграція

типової інформації про клімат і рельєф в єдину базу даних. Визначення критеріїв відбору джерел за енергоефективністю, вартістю та екологічністю. Розробка алгоритму із багатоетапною обробкою даних.

Існуючі системи – RETScreen [1], Polysun [2], онлайн-калькулятори та різні мобільні додатки – дозволяють проводити оцінку джерел опалення з переважним акцентом на фінансові та кліматичні параметри. Водночас вони рідко включають комплексний аналіз географічних особливостей, таких як рельєф території, що призводить до обмежень в точності і практичній ефективності рекомендацій.

Офіційні державні стандарти і галузеві методики часто фрагментарно враховують ці фактори, не інтегруючи їх у єдину модель. В цьому контексті відсутній універсальний підхід, здатний адаптуватись до різних регіонів і пропонувати широкий спектр оптимальних рішень, що і є метою розробки запропонованого алгоритму.

Розроблений алгоритм складається з шести послідовних етапів, що забезпечують системний підхід до вибору оптимального джерела опалення. Структура алгоритму представлена в таблиці 1, де детально описано кожен етап обробки даних – від первинного збору метеорологічної та географічної інформації до формування фінальної рекомендації для користувача.

**Таблиця 1**

**Опис розробленого алгоритму**

Етап	Опис
Збір даних	Кліматичні параметри (температура, вологість), географія (координати, висота, нахили).
Обробка	Нормалізація і корекція даних, усунення аномалій, аналіз сезонних патернів.
Оцінка	Розрахунок енерговитрат для джерел: теплові насоси, газові котли, біомаса, електрокотли.
Корекція	Врахування рельєфу через коефіцієнт корекції, що враховує додаткові теплові втрати у складних рельєфах.
Ранжування	Інтегральна оцінка з урахуванням енергоефективності, вартості монтажу і експлуатації, екологічності.
Вибір	Вивід рекомендації щодо оптимального джерела тепlopостачання для користувача.

Кліматичні параметри та географічні координати є фундаментальними для теплотехнічних розрахунків. Температура визначає теплові втрати через огорожувальні конструкції за законом Фур'є:  $Q = k \times F \times \Delta t$ . Вологість впливає на ентальпію повітря, корозійну активність та ефективність конденсаційних котлів. Географічні координати необхідні для визначення кліматичної зони за ДБН В.2.6-31:2016 та розрахунку сонячної радіації. Без цих базових параметрів неможливий жоден енергетичний розрахунок системи теплопостачання.

Нормування даних приводить різні параметри до єдиної безрозмірної шкали:  $x_{norm} = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})$ . Корекція включає фільтрацію викидів методом  $3\sigma$  (дані, що відхиляються більше ніж на 3 стандартних відхилення, вважаються аномальними) та заповнення пропусків інтерполяцією.

Аналіз сезонних змін базується на декомпозиції часового ряду:  $Y(t) = T(t) + S(t) + R(t)$ , де  $T(t)$  – тренд,  $S(t)$  – сезонна компонента,  $R(t)$  – випадкова складова.

Метеодані містять похибки та викиди. Одноразовий екстремум температури не повинен визначати потужність всієї системи. Використовуються статистично обґрунтовані параметри (температура забезпеченістю 0,92 за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010).

Етап оцінки передбачає розрахунок енергетичних характеристик основних типів джерел теплопостачання. Теплові насоси характеризуються коефіцієнтом перетворення  $COP = Q_{корисне} / W_{затрачене}$ , який суттєво залежить від температури зовнішнього повітря: при  $+7^\circ\text{C}$  досягає 3,5–4,5, при  $-15^\circ\text{C}$  знижується до 2,0–2,5, що робить їх найефективнішими в помірному кліматі. Твердопаливні котли оцінюються за ККД  $\eta = Q_{корисне} / (m_{палива} \times Q_{нижча})$ , причому пелетні котли (85–92%) значно перевершують вугільні (65–75%) та дров'яні (60–70%). Біомаса має енергетичну щільність 14–18 МДж/кг, є вуглецево-нейтральною, проте її використання обмежене сезонною доступністю. Електрокотли демонструють  $\eta_{кінцеве} = 98–100\%$ , однак повна ефективність з урахуванням первинної енергії становить лише

30-35% через втрати при виробництві та передачі електроенергії. Вибір саме цих чотирьох типів обґрунтований тим, що вони представляють основні категорії за принципом дії: використання низькопотенціального тепла довкілля, традиційне спалювання палива, відновлювані ресурси та універсальний енергоносії. Етап корекції враховує вплив топографічних факторів на теплові втрати. Температура знижується з висотою за градієнтом  $\Delta T = -0,6^\circ\text{C}$  на 100 м, що враховується коефіцієнтом  $k_h = 1 + 0,01 \times (h - h_0)/100$ . Експозиція схилів впливає на надходження сонячної радіації: південні схили отримують на 15-30% більше енергії ( $k_{\text{exp}} = 0,85-0,90$ ), північні – мінімум ( $k_{\text{exp}} = 1,10-1,15$ ). Вітровий режим посилюється на підвищеннях за формулою  $V_{\text{місцева}} = V_{\text{базова}} \times k_{\text{топо}}$ , де  $k_{\text{топо}} = 1,1-1,4$ , при цьому подвоєння швидкості вітру збільшує інфільтраційні втрати на 50–80%. Інтегральний коефіцієнт рельєфу  $k_{\text{рельєф}} = k_{\text{висота}} \times k_{\text{експозиція}} \times k_{\text{вітер}}$  набуває типових значень 1,0 для рівнини та 1,15–1,30 для гірської місцевості. Нехтування рельєфними факторами призводить до недооцінки теплових втрат на 15–30%, що може спричинити недостатню потужність системи та аварійні ситуації. Етап ранжування базується на трьох критеріях сталого розвитку. Енергоефективність визначається питомим споживанням первинної енергії  $PEE = E_{\text{кінцева}} / (\eta_{\text{система}} \times \eta_{\text{транспорт}} \times \eta_{\text{виробництво}})$  з коефіцієнтами для електроопалення 2,5–3,0, газу 1,05–1,15, теплового насоса 0,8–1,0, біомаси 1,05–1,10. Економічність оцінюється за сукупною вартістю володіння  $TCO = CAPEX + \sum(OPEX_t / (1 + r)^t)$ , де типові капітальні витрати для електроопалення становлять 50–100 €/кВт з експлуатаційними 300–500 €/рік, для теплового насоса – 800–1500 €/кВт та 100–150 €/рік відповідно. Екологічність характеризується викидами CO<sub>2</sub> (кг/кВт·год): електроенергія – 0,45, газ – 0,20, біомаса – 0,01–0,05, тепловий насос – 0,15. Інтегральний показник  $I_{\text{score}} = w_1 \times E_{\text{score}} + w_2 \times C_{\text{score}} + w_3 \times Eco_{\text{score}}$ , де  $\sum w = 1$ , з типовими вагами для приватних домогосподарств (0,2; 0,6; 0,2) та екологічних проектів (0,3; 0,3; 0,4). Ці три критерії відповідають концепції сталого розвитку згідно з Директивою ЄС 2010/31/EU та Паризькою угодою, охоплюючи

економічну ефективність, екологічну відповідальність та енергетичну безпеку. Етап вибору забезпечує перехід від кількісної оцінки до практичної рекомендації. Методологія базується на правилі домінування та Парето-оптимальності: рішення вважається оптимальним, якщо неможливо поліпшити один критерій без погіршення іншого. Структура рекомендації включає оптимальний варіант з кількісним обґрунтуванням, 2–3 альтернативи з фронту Парето, умови застосовності кожного варіанту та аналіз чутливості до зміни параметрів ( $\pm 20\%$ ). Цей етап є інтерфейсом між математичною моделлю та реальним впровадженням системи теплопостачання.

Алгоритм відображає класичну схему системного аналізу: формування бази даних  $\rightarrow$  підготовка  $\rightarrow$  моделювання  $\rightarrow$  адаптація  $\rightarrow$  порівняння  $\rightarrow$  рішення. Структура забезпечує ієрархічність (кожен етап базується на попередньому), модульність (незалежне вдосконалення блоків), верифікованість (перевірка на кожному етапі) та універсальність (застосовність для будь-яких умов через параметризацію).

Розроблений алгоритм дозволить ефективно інтегрувати кліматичні й рельєфні дані у вибір оптимального джерела опалення, що особливо актуально для країн із різноманітним географічним профілем. Створення мобільного додатку на його основі надасть змогу користувачам у глобальному масштабі приймати обґрунтовані рішення щодо енергозбереження та екологічності в опаленні. Подальші дослідження зосередяться на включенні додаткових параметрів, таких як тип будівлі, доступність ресурсів і поведінкові аспекти користувачів.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. RETScreen Expert [Електронний ресурс] // Natural Resources Canada. – Режим доступу: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465> (дата звернення: 23.11.2025).
2. Polysun Simulation Software [Електронний ресурс] // Vela Solaris. – Режим доступу: <https://www.velasolaris.com> (дата звернення: 23.11.2025).