

УДК 69.059:351.778.52

В.О. Сплавська, керівник: Г.Г. Фаренюк

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

За матеріалами науково-технічних публікацій та європейських нормативних документів проведено огляд методик енергетичного оцінювання будівель. Наведено загальні межі для оцінювання загального енергоспоживання будівлі, а також алгоритм розрахунку енергетичних оцінок, виражених через первинну енергію та викиди CO₂ відповідно до основних положень європейських нормативних документів.

Ключові слова: енергетична ефективність будівлі, енергетичне оцінювання, енергетичний моніторинг, енергетична оцінка.

В.А. Сплавская, руководитель: Г.Г. Фаренюк

ОЦЕНИВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

По материалам научно-технических публикаций и европейских нормативных документов проведено обзор методик энергетического оценивания зданий. Приведены общие границы для оценивания общего энергопотребления здания, а также алгоритм расчета энергетических оценок, выраженных через первичную энергию и выбросы CO₂ в соответствии с основными положениями европейских нормативных документов.

Ключевые слова: энергетическая эффективность зданий, энергетическое оценивание, энергетический мониторинг, энергетическая оценка.

V. Splavska, supervisor: G. Farenjuk

ENERGY ASSESSMENT OF BUILDINGS

Methods of energy assessment of the buildings was overviewed according to the materials of scientific and technical publications and European normative documents. General boundaries for assessment of overall energy use of the building and algorithm for calculation of energy ratings, expressed per primary energy and CO₂ emissions under main thesis of European normative documents, are given in this article.

Key words: energy efficiency of the building, energy assessment, energy monitoring, energy rating.

Вступ

Енергетичне оцінювання будівель здійснюється з метою:

- оцінки відповідності будівельним нормам та правилам, вираженої через обмеження на використання енергії або відповідну величину;
- забезпечення прозорості комерційних операцій за рахунок енергетичної сертифікації та/або демонстрації рівня енергетичної ефективності (сертифікація енергетичної ефективності);
- моніторингу енергетичної ефективності будівлі та її інженерних систем;

- допомоги при плануванні заходів з модернізації шляхом прогнозування економії енергії, отриманої від різних заходів.

Розрізняють два типи енергетичних оцінок: розрахована та вимірjana.

Оскільки способи отримання цих оцінок відмінні, вони не можуть бути порівняні безпосередньо. Однак, різниця між цими двома оцінками для однієї і тієї ж будівлі, може використовуватися для оцінки кумулятивного впливу існуючої споруди, систем та умов експлуатації порівняно зі стандартними показниками та статей енергоспоживання не включених до розрахункової енергетичної оцінки.

Завдання

Для енергетичної сертифікації будівель потрібен метод, який міг би застосовуватися як для нових так і для існуючих будівель, та рівноцінно розглядав їх. Така методика для отримання рівноцінних результатів з різних наборів даних надана у європейському стандарті EN 15603. Тому основним завданням даного дослідження буде аналіз основних етапів методики енергетичного оцінювання будівель.

Мета дослідження

Дане дослідження має на меті провести огляд методик енергетичного оцінювання та енергетичної сертифікації будівель наданих у європейських нормативних документах виданих CEN, відповідно до Наказу 2002/91/ЕСЕРВД.

Результати дослідження

В загальному випадку, оцінювання річного енергоспоживання будівлі, охоплює такі статті енергоспоживання як:

- опалення;
- охолодження та осушення;
- вентиляція та зволоження;
- гаряче водопостачання;
- освітлення (для житлових будівель є не обов'язковою статтею);
- інші послуги (у разі потреби).

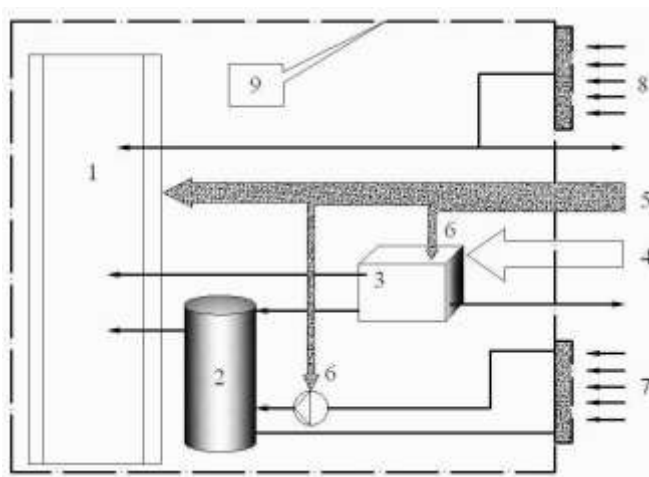
Енергоспоживання при освітленні та інших послугах включається до вимірjаної енергетичної оцінки.

Важливим етапом енергетичного оцінювання будівель є визначення границь оцінювання, вони повинні бути чітко визначені перед оцінюванням. Їх називають границями системи. Границі системи пов'язані з розрахунковим об'єктом (наприклад, квартира, будівля, тощо). У межах системи системні тепловтрати враховують в явному вигляді, а поза межами системи – з використанням відповідних коефіцієнтів перетворення.

Енергія може бути імпортованою чи експортованою через границі системи. Границею системи для енергоносіїв є лічильники.

Отже, якщо частина інженерної системи будівлі (наприклад, котел, охолоджувач, градирня тощо), розташована за межами огорожувальної конструкції будівлі, але формує частину врахованих комунальних послуг, то вона розглядається як така, що знаходиться у межах системи, і таким чином, втрати в системі враховуються в явному вигляді.

Для активних сонячних, вітрових і гідроенергетичних систем, падаюча сонячна радіація на сонячні панелі або кінетична енергія вітру чи води, не є частиною енергетичного балансу будівлі. Тільки енергія поставлена генеруючим обладнанням і додаткова енергія, необхідна для постачання енергії від джерела (наприклад, сонячного колектора) до будівлі враховуються в енергетичному балансі.



1 – споживач, 2 – акумулятор, 3 – котел, 4 – паливо, 5 – електроенергія, 6 – додаткова енергія, 7 – тепловий сонячний колектор, 8 – фотоелектрична панель, 9 - границя

Рисунок 1 – Приклади потоків енергії через границю системи

Розрізняють два основні варіанти енергетичних оцінок будівель:

- розрахункова енергетична оцінка;
- виміряна енергетична оцінка.

Розрахункова енергетична оцінка включає енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, гарячому водопостачанні і, за необхідності, освітленні. Вона не включає в себе енергію для інших комунальних послуг, якщо це не затверджено на національному рівні. Розрахункова енергетична оцінка може бути:

- стандартною, яка базується на вхідних даних про стандартні кліматичні умови, експлуатацію, оточення і вхідних даних щодо зайнятості, визначених на національному рівні і наведених у національному додатку. Така оцінка називається «проектною оцінкою», якщо застосовується для будівлі, що проектується;
- пристосованою, розрахована з урахуванням даних про клімат, зайнятість, оточення, адаптованих до існуючої будівлі та цілей розрахунку.

Виміряна енергетична оцінка ґрунтується на даних отриманих з вимірювального обладнання та лічильників, встановлених у будівлі. Оцінювання вимірної енергетичної оцінки має проводитися відповідно до п.7 EN 15603.

У наведеній нижче таблиці наведені основні типи оцінок, вихідні дані необхідні для проведення оцінювання та відповідні цілі оцінювання.

Таблиця 1

Тип оцінки	Назва оцінки	Вхідні дані			Мета оцінювання
		Використання будівлі	Клімат	Тип будівлі	
Розрахункова	Проектна	Стандартне	Стандартний	Проектована	Дозвіл на будівництво, сертифікат умов
	Стандартна	Стандартне	Стандартний	Існуюча	Сертифікат енергетичної ефективності, норми та правила
	Пристосована	Залежно від мети		Існуюча	Оптимізація, перевірка, планування модернізації
Виміряна	Експлуатаційна	Фактичне	Фактичний	Існуюча	Сертифікат енергетичної ефективності, норми та правила

Проводити енергетичне оцінювання будівлі можна за двома методами: цілісному та спрощеному.

У цілісному підході, сукупність наслідків тепловитоків і джерел в будівлі та інженерних системах будівлі, що можуть бути утилізовані для кондиціонування приміщення, розглядаються в розрахунку потреб в тепловій енергії.

Можуть бути потрібні ітерації, у зв'язку з тим, що теплові втрати інженерних систем будівлі залежать від вхідної енергії, яка, в свою чергу, залежить від системних джерел теплоти, які утилізують.

Методика розрахунку така:

- а) розробка підсистеми розрахунку відповідно до EN 15241, EN 15243 і EN 15316 серій та визначити регулярні тепловтрати, які утилізують;
- б) додавання регулярних тепловтрат в розрахунок потреб для опалення та охолодження, які утилізують, до інших джерел тепла, які утилізують, що вже включені (наприклад, сонячні і внутрішні теплонаходження, тепловтрати від освітлення, які утилізують, та/або інших інженерних систем будівлі подібних до гарячого водопостачання);
- в) повторне обчислення потреб теплової енергії для опалення і охолодження;

г) повторення кроків від а) до в), доки зміна енергопотреби між двома ітераціями не буде менше визначеної межі (наприклад, 1%) або зупиниться після кількох ітерацій, як затверджено на національному рівні;

д) обчислення різниці між енергією на початку та наприкінці ітерації. Результат - регулярні теплові втрати, які утилізують.

У спрощеному підході регулярні тепловтрати, які утилізують, що отримуються в результаті множення регулярних тепловтрат, які утилізують, на звичайний коефіцієнт утилізації, безпосередньо віднімаються від втрат кожної розглянутої інженерної системи будівлі. Це дозволить уникнути ітерацій.

Процедура розрахунку така:

а) розробка підсистеми розрахунків відповідно до стандартів EN 15241, EN 15243 і EN 15316 і визначення системних тепловтрат, які можуть бути утилізовані;

б) розрахунок системних тепловтрат, які можуть бути утилізовані, множенням теплових системних тепловтрат, які можуть бути утилізовані на звичайний коефіцієнтутилізації;

в) віднімаємо утилізовані теплові втрати системи від загальних теплових втрат системи.

Звичайні значення коефіцієнта утилізації затверджуються на національному рівні (якщо значення коефіцієнта не зазначено, то приймається значення рівне 80% коефіцієнта утилізації теплонадходжень в тепловому балансі, що розраховується відповідно до EN ISO 13790 за допомогою помісячного методу).

Однак, для складних систем (наприклад, установки для опалення і охолодження) рекомендується цілісний підхід для отримання більш точних результатів.

Періодичні вимірювання споживання енергії, дозволяють кількісно оцінити властивості, що стосуються будівлі, такі як: ефективний ККД котла, уявний коефіцієнт тепловтрат або еквівалентна світлосприймаюча площа, тому енергетичний моніторинг – важлива складова точності енергетичного оцінювання будівлі. Річне споживання енергії на опалення можна розрахувати за цими даними.

Метод енергетичного моніторингу «energysignature».

Енергоспоживання на опалення та охолодження залежить від кліматичних даних за відповідний період. Побудова графіка середньої потужності для опалення або охолодження для кількох періодів часу як функціональна залежність від середньої зовнішньої температури дозволяє прискорити процедуру виявлення несправностей у функціонуванні та надає детальну інформацію про енергетичну ефективність будівлі.

Згідно з цим методом моніторингу передбачається, що внутрішня температура постійна, а зовнішня вважається провідним параметром впливу. Застосування такого методу є найбільш ефективним у будівлях зі сталими внутрішніми теплонадходженнями і відносно низькими пасивними сонячними теплонадходженнями.

Енергоспоживання на опалення та охолодження, а також середня зовнішня температура або накопичена різниця температур записується з постійним інтервалом (наприклад, одна година, однак, для неавтоматизованого моніторингу часто використовується тиждень).

Середня потужність визначається діленням енергоспоживання між суміжними даними на тривалість інтервалу часу.

Графік середньої потужності будують як функцію від середньої зовнішньої температури або кількості градусо-днів. Для опалювального періоду отримується діаграма (рис. 2). Лінії проходять через контрольні точки протягом опалювального періоду (опалення ввімкнене, охолодження відключене), сезону охолодження (охолодження ввімкнене, опалення відключене) та проміжних сезонів (обидва відключені) з використанням лінійної регресії (рис.2).

Лінія, проведена поза періодом опалення (або охолодження) має в загальному випадку нахил близький до нульового і показує, по суті, системні втрати та енергію для комунальних послуг, окрім опалення та охолодження (наприклад, ГВП).

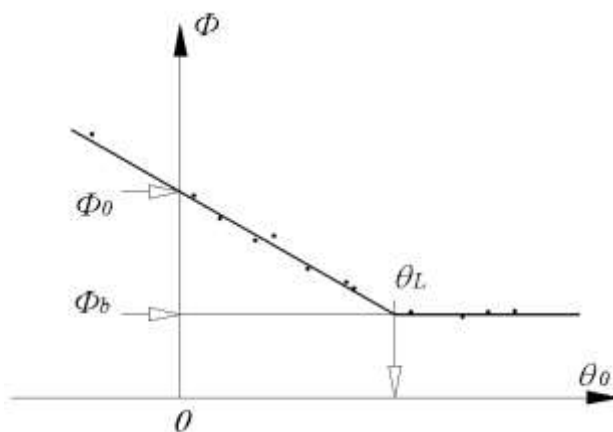
Лінія, проведена протягом періоду опалення (або охолодження) характеризується потужністю Φ_0 при $t_{\text{зовн.}} = 0^\circ\text{C}$ та нахилом H :

$$\Phi = \Phi_0 - H \cdot \theta_e, \quad (1)$$

де Φ – середня потужність;

θ_e – середня зовнішня температура.

$$H = \frac{\Phi_0 - \Phi_b}{\theta_L}$$



Φ – середня потужність між двома послідовними замірами;

Φ_0 – потужність при $t_{\text{зовн.}} = 0^\circ\text{C}$;

Φ_b – базова потужність, що не залежить від $t_{\text{зовн.}}$ (наприклад, для системних втрат і ГВП);

θ_L – зовнішня температура, яка є пороговим значенням для початку опалювального

сезону; θ_e – зовнішня середня температура між двома послідовними замірами

Рисунок 2 – Діаграма моніторингу «energysignature»

Нахил H відображає чутливість будівлі до зміни зовнішньої температури. Дане рівняння може бути порівняне з загальним, спрощеним середнім енергетичним балансом будівлі:

$$\Phi = H' \cdot (\bar{\theta}_i - \theta_e) + \Phi_a - \eta \cdot (A_e \cdot I_{\text{sol}}), \quad (2)$$

де Φ – середня потужність;

H' – коефіцієнт теплопередачі будівлі;

$\bar{\theta}_i$ – середня внутрішня температура;

Φ_a – потужність, що включає втрату системи і середню потужність для інших комунальних послуг, окрім опалення. У першому наближенні ця потужність не залежить від зовнішньої температури, і якщо характер використання будівлі постійний ця потужність може вважатися середньою потужністю, вимірною в ході проміжного періоду;

$\eta \cdot A_e$ – добуток еквівалентної світлосприймаючої площі та коефіцієнта використання;

I_{sol} – показник сонячної радіації.

Зіставивши формули (1) та (2), отримуємо $H' = H$, а також:

$$\Phi_0 = H \cdot \bar{\theta}_i + \Phi_a - \eta \cdot (A_e \cdot I_{sol}) \quad (3)$$

Сезонне споживання енергії на опалення може бути отримане за Φ_0 та H , сезонної середньої зовнішньої температури $\bar{\theta}_e$ і тривалості t опалювального періоду:

$$Q_h = (\Phi_0 - H \cdot \bar{\theta}_e) \cdot t \quad (4)$$

Ця оцінка може бути отримана для періоду менше опалювального період. Однак, широкий діапазон зовнішніх температур є необхідним для отримання задовільного рівня точності для H і Φ_0 .

$$\delta Q_h = \sqrt{t^2 \cdot \delta \Phi_0^2 + \theta_e^2 \cdot t^2 \cdot \delta H^2 + t^2 \cdot H^2 \cdot \delta \theta_e^2 + (\Phi_0 - H \cdot \theta_e)^2 \cdot \delta t^2} \quad (5)$$

Дисперсія окремих вимірювань вище або нижче лінії моніторингу, може бути наслідком результатом:

- змінності сонячних або внутрішніх тепло надходжень, цей метод не прийнятний для будівель з великими пасивними сонячними надходженнями;

- змінності коефіцієнтів теплопередачі, наприклад внаслідок впливу вітру на повітропроникну огорожувальну конструкцію будівлі; несправності в системі опалення або охолодження.

Аналіз можливих пояснень до значних відмінностей між конкретним записом і лінією дозволяє виявити несправності у роботі системи.

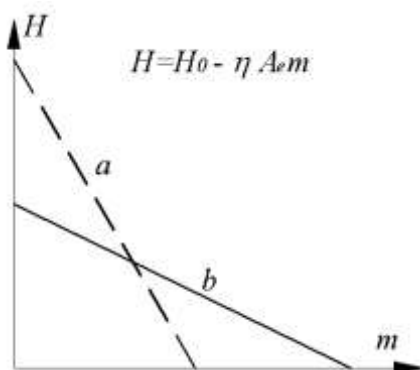
Н-метод енергетичного моніторингу

У пасивних сонячних будівлях, розкид точок навколо лінії стає суттєвим і описаний вище метод не підходить. Ділення загального теплового балансу на $\Delta\theta = (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)$ приводить до виразу для явного коефіцієнту тепловтрат будівлі:

$$H = \frac{\Phi - \Phi_a}{\Delta\theta} = H_0 - \eta \cdot A_e \cdot \frac{I_{sol}}{\Delta\theta} = H_0 - \eta \cdot A_e \cdot m \quad (6)$$

де m - „метеорологічна” змінна.

Нахил лінії регресії є добутком еквівалентної світлосприймаючої площі та коефіцієнта використання, а вісь ординат є ефективним коефіцієнтом тепловтрат.



H – явний коефіцієнт втрат тепла будівлею;
 m – метеорологічна змінна, яка представляє собою відношення сонячної радіації до різниці внутрішньої та зовнішньої температур

Рисунок 3 – Діаграма моніторингу «energysignature»

Лінія *a* показує, що будівлі з великою площею оскління з великими втратами та великими теплонадходженнями більш ефективні в помірному кліматі. Лінія *b* стосується добре ізольованої будівлі з незначними пасивними сонячними теплонадходженнями, яка є більш ефективною в північних кліматичних умовах.

Висновки

В даній статті проведено огляд основних методик енергетичного оцінювання будівель відповідно до методик наданих у європейських нормативних документах. Розглянуто основні типи енергетичних оцінок, необхідні вхідні дані та особливості їх застосування. Результати огляду скомпільовані та надані у таблиці 1.

В ході дослідження було розглянуто два підходи енергетичного оцінювання будівель: спрощений та цілісний. Встановлено, що для складних систем (наприклад, установки для опалення і охолодження) рекомендується застосовувати цілісний підхід для отримання більш точних результатів.

Також, встановлено, що періодичні вимірювання споживання енергії, дозволяють кількісно оцінити властивості, що стосуються будівлі, такі як: ефективний ККД котла, явний коефіцієнт тепловтрат або еквівалентна світлосприймаюча площа, тому енергетичний моніторинг – важлива складова точності енергетичного оцінювання будівлі. В даному дослідженні проаналізовано два методи енергетичного моніторингу: метод «energysignature» та H-m метод.

Використана література:

1. EN 15603:2008 Energyperformanceofbuildings — Overallenergyuseanddefinitionofenergyratings.
2. EN 15217:2007 Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings.
3. EN 13790:2008 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating.