

УДК 697.7

О. В. БУЛГАКОВ, І. А. НЕМИРОВСЬКИЙ**ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ БУДІВЛЕЮ З УРАХУВАННЯМ ЗМІННОГО ДОБОВОГО ГРАФІКУ ВНУТРІШНЬОЇ ТЕМПЕРАТУРИ**

Порівнюються декілька методів розрахунку витрат теплової енергії будівлею, у тому числі і за допомогою математичного моделювання. Пропонується використання фактичних даних температури зовнішнього повітря та змінного добового графіку внутрішніх температур.

Ключові слова: пасивний будинок, погодний архів, математичне моделювання, теплове навантаження.

О. В. БУЛГАКОВ, И. А. НЕМИРОВСЬКИЙ**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗДАНИЕМ С УЧЕТОМ ПЕРЕМЕННОГО СУТОЧНОГО ГРАФИКА ВНУТРЕННЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Сравниваются несколько методов расчета затрат тепловой энергии зданием, в том числе и с помощью математического моделирования. Предлагается использование фактических данных температуры наружного воздуха и переменного суточного графика внутренних температур.

Ключевые слова: пассивный дом, погодный архив, математическое моделирование, тепловая нагрузка.

O. V. BULHAKOV, I. A. NEMYROVSKIY**DETERMINATION OF THERMAL ENERGY COSTS OF THE BUILDING TAKING INTO ACCOUNT THE VARIABLE DAILY INTERNAL TEMPERATURE PROFILE**

Several methods for calculating the cost of thermal energy in a building are compared, including with the help of mathematical modeling. It is proposed to use the actual data of the outdoor air temperature and the variable daily internal temperature profile.

Keywords: passive house, weather archive, mathematical modeling, thermal load.

Вступ. Будівництво будівель з енергетичним балансом близьким до нульового, знаходиться на стадії активного розвитку в багатьох європейських країнах, які ведуть політику енергозбереження. Фактично будівництво подібного типу будівель в Європі регулюється і заохочується на державному рівні: прийнята в 2002 р. Директива European Energy Performance of Buildings Directive 2002/91 / EC (EPBD) передбачає ряд заходів, спрямованих на зниження енерговитрат при будівництві, встановлення мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель.

Згідно з прийнятою директивою (Energy Performance of Buildings Directive 2010/31 / EU), у державах – членах Євросоюзу, до 31 грудня 2020 для всіх нових будинків повинні бути забезпечені умови будівництва відповідно до параметрів будівлі з близьким до нульового енергетичним балансом, а також розроблені національні плани збільшення кількості експлуатованих будівель, що відповідають цим критеріям.

Крім того, з метою обмеження енергоспоживання в багатьох країнах Європи введено обмеження теплоспоживання споруджуваних будинків не більше 60–70 кВт·год/(м²·рік). Однією із передових будівельних концепцій, виконуючих ці вимоги є стандарт «Passive house».

Пасивний будинок в українському кліматі. Чи можна «Passive house», оптимізований для кліматичних умов Німеччини і Середньої Європи, безпосередньо застосувати для тієї частини України, де проживає основна частина її населення? За винятком окремих областей, відповідь скоріше буде негативною. Необхідно вносити значні зміни, хоча

головні принципи залишаються (посилення теплоізоляції, ефективні вікна і вентиляційна система з рекуператором). Пасивний будинок передбачає максимальне використання сонячної радіації. Взимку в Німеччині баланс теплопостачань через енергоефективні вікна дає основний внесок в поповнення тепловтрат будівлі, якщо застосувати вікна великої площі на його південній стороні. При цьому тепла оболонка і вентиляційна система повинні відповідати стандартам пасивного будинку. Це поєднання дозволяє поєднати вентиляцію і опалення шляхом незначного нагрівання припливного повітря, не перевищуючи при цьому відносно невелике навантаження, величиною до 10 Вт/м². Таке спрощення системи опалення дає помітний виграв у вартості. На додаток до цього, питома витрата теплової енергії на опалення не повинна перевищувати 15 кВт·год/м². Така в загальних рисах формула пасивного будинку. В умовах, наприклад, Харківської області, вигляд системи опалення визначають невисока інтенсивність сонячної радіації і низькі температури (включаючи найбільш холодну п'ятиденку) в зимові місяці. Відповідно, повітряне опалення за допомогою нагрівання повітря після теплообмінника вентиляційної системи, як в пасивному будинку, буде достатньо тільки в окремі періоди опалювального сезону. Основні зимові місяці потребують додаткового опалення, або окремої системи, не суміщеної з вентиляційної. Наступний критерій для пасивного будинку – досягнення величини питомої витрати теплової енергії на опалення не більше 15 кВт·год/м² за опалювальний період, можна досягти в наших умовах, але зі значним застереженнями. При цьому, крім точного

проектування і виготовлення, бажано поставити теплоізолюючі віконниці на вікна і тим вирішити проблему нічних тепловитрат через вікна в зимові місяці. Зрозуміло, що додаткові провітрювання (шляхом відкриття вікон) неприпустимі, потрібно виконати всі обов'язкові заходи щодо герметизації, відсутності теплових мостів і т. д. З урахуванням всіх реалій, в наших умовах будівництво такого будинку стає сильно ускладненим.

Теплове навантаження пасивного будинку. Виходячи з вищесказаного, зрозуміло дві речі: по-перше, типовий німецький проект пасивного будинку, однозначно буде потребувати додаткових інженерних систем тепlopостачання, та кондиціонування, не поєднаних із системою вентиляції, по-друге, архітектурні рішення використанні в пасивному будинку, накладають потребу у більш точному визначенню теплового навантаження, і як наслідок, підбору теплогенератора. Спробуємо визначити річні витрати теплової енергії типового проекту пасивного будинку по діючій методиці, що приведена у ДСТУ-НБ А.2.2-5:2007 – «Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорту будинків при новому будівництві та реконструкції».

Загальні тепловитрати будинку через огорожувальну оболонку за опалювальний період визначаються за формулою (1):

$$Q_k = x_1 \cdot K_{\text{буд}} \cdot D_d \cdot F_{\Sigma}; \quad (1)$$

де $x_1 = 0,024$ – розмірний коефіцієнт;

D_d – кількість градусо-днів опалювального періоду, що визначається залежно від температурної зони експлуатації згідно з ДБН В.2.6-31. Для I кліматичної зони приймається $D_d = 3750$ °C·днів.

F_{Σ} – загальна площа внутрішньої поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій, м²;

$K_{\text{буд}}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, Вт/(м²·K).

$$Q_k = 0,024 \cdot 0,23 \cdot 3750 \cdot 515 = 10660 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Використання фактичних кліматичних даних.

Одним із недоліків існуючої методики розрахунку є використання фіксованої кількості градусо-днів. У випадку якщо є необхідність розрахувати теплові

витрати за конкретний рік, або порівняння витрат за декілька років, такий метод є недостатньо точним.

Спробуємо використовувати замість усереднених температурних показників, базу даних із фактичними температурами за 2016 рік, взятої із архіву погодних даних Харківського аеропорту. Для цього розрахуємо фактичний показник кількості градусо-днів, за формулою (2):

$$D'_d = (t_v - t_8)z_8; \quad (2)$$

де t_v – розрахункова температура внутрішнього повітря;

t_8 – середня температура періоду з середньою добовою температурою повітря нижче або рівною 8 °C;

z_8 – тривалість (в добах) періоду з середньою добовою температурою повітря нижче або рівною 8 °C.

За допомогою програмного продукту MS Excel підрахуємо всі вищезазначені змінні, і підставимо у формулу (2).

$$D'_d = (20 - (-1)) \cdot 173 = 3631 \text{ днів}$$

Як бачимо, кількість градусо-днів опалювального періоду за 2016 рік, не значно відрізняється від нормованої величини зазначеної у ДСТУ, але коли розрахунок проводиться заради знаходження тепловитрат за конкретний рік, наприклад для подальшого складання енергетичного балансу будівлі, представлений метод можна позиціонувати як більш точний.

Розрахуємо загальні витрати будинку із урахуванням величини D'_d підставивши її у формулу (1):

$$Q_k = 0,024 \cdot 0,23 \cdot 3631 \cdot 515 = 10322 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Використання математичного моделювання для розрахунку тепловитрат. Одним із шляхів подальшого підвищення точності розрахунку тепловитрат – є використання математичної моделі. У попередньому розрахунку кількість градусо-днів розраховувалась спираючись на використання середньодобової температури, але у відкритому доступі легко можна знайти і більш точні дані.

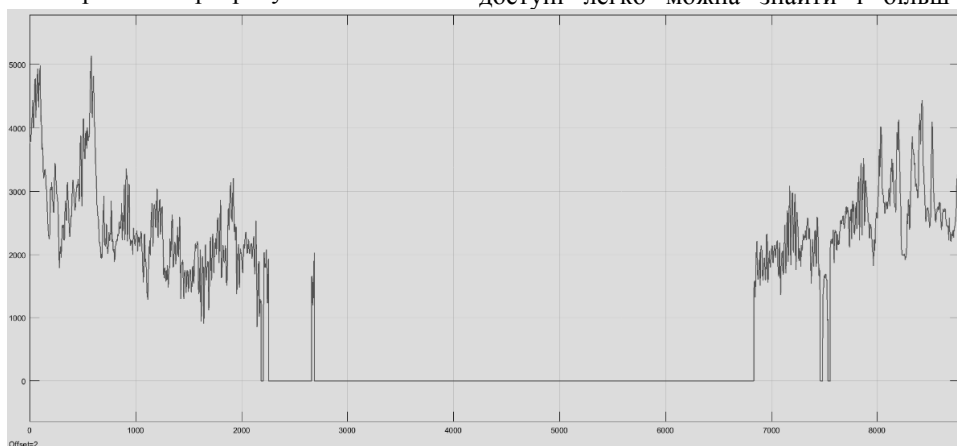


Рис. 1 – Теплове навантаження будинку протягом 2016 року

Наприклад, у тому ж архіві Харківського аеропорту доступні виміри температури зроблені

кожні 3 години, і за допомогою математичної моделі, ми можемо розрахувати річні теплові витрати як

трикратну суму поточних теплових навантажень будинку.

Для розрахунку теплового навантаження будинку скористуємось формулою (3):

$$Q = K_{\text{буд}} \cdot F_{\Sigma} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}})$$

де $t_{\text{вн}}$ – температура в приміщенні згідно до ДСН 3.3.6.042-99;

$t_{\text{зов}}$ – температура зовнішнього повітря.

Результат моделювання теплового навантаження будинку протягом 2016 року зображено на рис. 1. Щодо річних тепловитрат розрахованих за допомогою цього методу, то вони майже не відрізняються від попередніх, і складають $Q = 10334$ кВт·год, що з однієї сторони говорить про те що підвищення точності розрахунку не привело до радикальної зміни

результату, і попереднього методу достатньо, з другої сторони підтверджує правильність роботи нашої математичної моделі.

Використання змінного графіку внутрішніх температур. У всіх попередніх методах внутрішня температура приймалась виключно як константа, але реалії сьогодення говорять про те що такий спосіб опалення побутового приміщення є дуже марнотратним, так як не береться за увагу фактор відсутності резидентів у робочі години будніх днів.

Побудована нами модель дозволяє розрахувати тепловитрати будівлі із урахуванням змінного графіку внутрішньої температури. Запропоновані нами графіки для будніх та вихідних днів зображені на рисунках 2 і 3 відповідно.

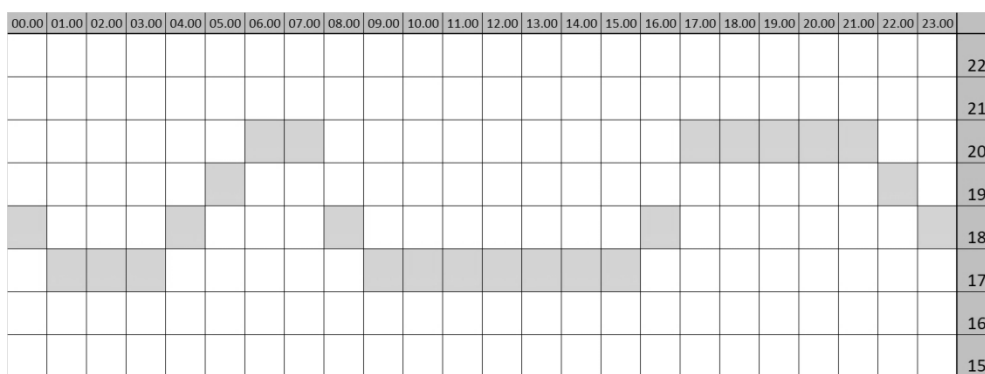


Рис. 2 – Графік внутрішньої температури для будніх днів

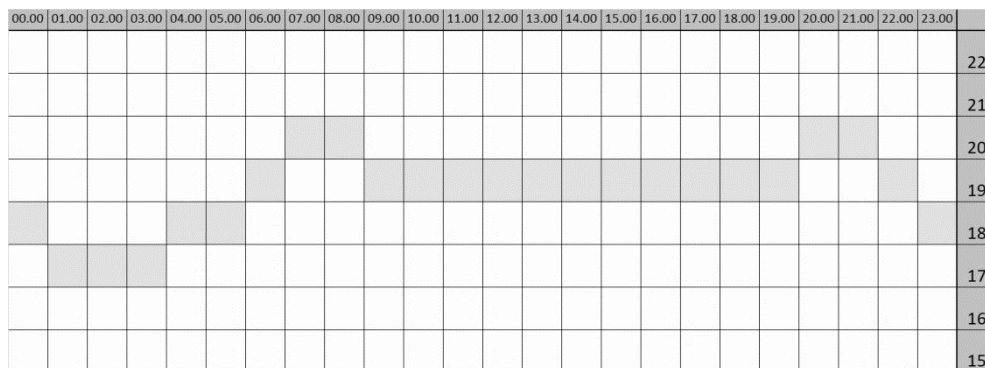


Рис. 3 – Графік внутрішньої температури для вихідних днів

Висновки. Внесення у модель змінної величини внутрішньої температури, дозволило досягти значного зменшення тепловитрат через огорожувальну оболонку будинку (див. таб. 1), але при подальших експериментах із моделлю, стало зрозуміло, що при використанні однакового графіку

внутрішньої температури, на протязі всього року, значно зростають витрати на кондиціонування влітку, тобто для збереження балансу між комфортом і витратами енергії, потрібно використовувати різні графіки для різних сезонів на протязі року.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця різних методів розрахунку

Опис розрахунку	$D_d = 3750$ °C□діб. (загальна величина)	$D_d = 3631$ °C□діб. (розрахована величина)	Фактичні витрати при $t_v=const$	Фактичні витрати при $t_v=var$
Витрати тепла через огороджувальну оболонку (кВт□год)	10660	10332	10334	9540

Список літератури

1. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. / Вольфганг Файст. – Москва: ООО "Издательство АСВ", 2011. – 148 с.
2. Строительная климатология: ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010.– [Дата введенья 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Национальный стандарт Украины).
3. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – [Чинний від 01.07.2008]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2008. - 44 с. – (Державний стандарт України).
4. Техническая теплофизика ограждающих зданий и сооружений / В. А.Малыренко, А. Ф. Редько, Ю. И. Чайка, В. Б. Поволочко. – Харьков: РУБИКОН, 2001. – 203 с.

References (transliterated)

1. Fajst V. Osnovnye polozhenija po proektirovaniju passivnyh domov. [Basic provisions for the design of passive houses] / Vol'fgang Fajst. – Moscow: ООО "Izdatel'stvo ASV", 2011. – 148 p.
2. Stroitel'naja klimatologija [Construction climatology]: DSTU-N B V.1.1-27: 2010.– [Date of introduction 2011-11-01]. / Minregionbud Ukraini. – K.: Ukrarhbuildinform, 2011. – 123 s. – (National standard of Ukraine).
3. Design. Nastanova z rozroblennya ta skladannya enerhetychnoho pasporta budynkiv pry novomu budivnytstvi ta rekonstruktsiyi: [Guidelines for the development and assembly of energy passports for buildings under new construction and reconstruction] DSTU-N B A.2.2-5:2007. – [Date of introduction 01.07.2008]. - K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2008. - 44 s. – (National standard of Ukraine).
4. Tekhnicheskaya teplofyzika ohrzhdayushchykh zdanyy y sooruzhenyy [Technical thermophysics of enclosing buildings and structures] / V.A.Malyarenko, A.F. Redko, Yu.I. Chayka, V. B.Povolochko. - Kharkov: RUBIKON, 2001. - 203 p.

Надійшла (received) 05.02.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Булгаков Олексій Віталійович (Булгаков Алексей Витальевич, Bulhakov Oleksii Vitaliiiovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» аспірант кафедри електричних станцій; тел.: (050) 280-24-02; e-mail: alexbulgakov94@gmail.com.

Немировський Ілля Абрамович (Немировский Илья Абрамович, Nemyrovskiy Illia Abramovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних станцій, тел.: +38 (066) 755-52-99, e-mail: alikhnem@ukr.net

Укладач: С. О. Федорчук, аспірант