

УДК 697. 644.1

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.050722.27.861

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОБОЛОНКИ БУДІВЛІ

БОНДАРЕНКО А.^{1*}, *здоб.*,
ЮРЧЕНКО Є. Л.², *канд. техн. наук, доц.*,
КОВАЛЬ О. О.³, *канд. техн. наук, с. н. с.*,
ТИМОШЕНКО О. А.⁴, *канд. техн. наук, доц.*

^{1*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: bondarenkoandrey177@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4531-2556

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

³ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

⁴ Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: tymoshenko.olena@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

Анотація. Герметичність та енергоефективність є одними з найважливіших параметрів будівель. Герметичність будівлі забезпечує скорочення енергопотреб на опалення, особливо це стосується будівель із великим опалювальним об'ємом. На сьогодні Україні відсутня нормативна база з визначення герметичності будівель. У статті проаналізовано міжнародний стандарт з визначення герметичності будівель ISO 9972:2015 Теплові характеристики будівель – Визначення повітропроникності будівель – Метод нагнітання вентилятора. На основі міжнародного стандарту удосконалено методичні основи визначення герметичності оболонки будівлі, адаптовано методику визначення герметичності оболонки будівлі для України. У статті приведено методи вимірювання герметичності будівлі, правила підготовки будівлі до вимірювань а також розрахункових параметрів повітропроникності. Дана методика містить принцип визначення параметрів герметичності в умовах нагнітання вентилятора. Герметичність будинку, або його повітропроникність, виражається величиною витоку повітря в кубічних метрах за годину на квадратний метр площі зовнішньої оболонки будинку при дії на будівлю перепаду тиску внутрішнього повітря в 50 Па. Під час тесту вентилятор створює перепад тиску у 50 Па. За допомогою диференційного манометру фіксується різниця тиску між тиском у кімнаті та зовнішнім тиском. За допомогою формул приведених у статті розраховується об'ємні витрати повітря через огорожувальні конструкції, також розраховується швидкість витоку повітря. На основі визначених параметрів озраховано показник кратності повітрообміну n_{50} та показник повітрообміну q_{50} при створеному перепаді тиску Δp . Удосконалено методику визначення класу енергоефективності за параметром n_{50} . За результатами проведених розрахунків, маємо можливість визначити інструментальним шляхом клас енергоефективності за визначеним показником кратності повітрообміну.

Ключові слова: *енергоефективність; міжнародний стандарт; методика; BlowDoor; герметичність; аеродвері; повітропроникність; кратність повітрообміну*

IMPROVEMENT OF METHODOLOGICAL BASIS OF DETERMINATION OF TIGHTNESS OF BUILDING COVER

BONDARENKO A.^{1*}, *External Cand.*,
YURCHENKO Eu.L.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
KOVAL O.O.³, *Cand. Sc. (Tech.), Sen. Res.*,
TYMOSHENKO O.A.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

^{1*} Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: bondarenkoandrey177@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4531-2556

² Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

³ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

⁴ Department of Ecology and Environmental Protection, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: tymoshenko.olena@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

Abstract. Tightness and energy efficiency are among the most important parameters of buildings. The airtightness of the building ensures a reduction in energy consumption for heating, especially for buildings with a large heating volume. Currently, Ukraine does not have a regulatory framework for determining the tightness of buildings. The article analyzes the international standard for determining the airtightness of buildings ISO 9972:2015 Thermal characteristics of buildings – Determination of air permeability of buildings – Method of fan injection. On the basis of the international standard, the methodical bases for determining the tightness of the building envelope have been improved, and the methodology for determining the tightness of the building envelope has been adapted for Ukraine. The article presents the methods of measuring the tightness of the building, the rules for preparing the building for measurements, as well as the calculation of air permeability parameters. This technique contains the principle of determining the parameters of tightness in the conditions of fan injection. The hermeticity of the building, or its air permeability, is expressed by the amount of air leakage in cubic meters per hour per square meter of the area of the outer shell of the building when the building is affected by a pressure drop of the internal air of 50 Pa. During the test, the fan creates a pressure drop of 50Pa. A differential manometer is used to record the pressure difference between the pressure in the room and the external pressure. Using the formulas given in the article, the volume flow of air through the enclosing structures is calculated, and the air leakage rate is also calculated. Based on the determined parameters, the air exchange rate n_{50} and the air exchange rate q_{50} at the created pressure drop Δp were calculated. The method of determining the energy efficiency class based on the n_{50} parameter has been improved. Based on the results of the calculations, we have the opportunity to determine the energy efficiency class based on the determined air exchange ratio.

Keywords: *energy efficiency; international standard; technique; BlowDoor; tightness; air doors; air permeability; air exchange rate*

Мета. Удосконалити методіку визначення параметрів герметичності оболонки будівлі, на основі міжнародного стандарту [1], адоптувати методіку для умов України.

Вступ. Одним із найважливішим параметром, який впливає на комфорт в будинку та ефективне використання енергії є герметичність. Герметичність будинку, або його повітропроникність, виражається величиною витоку повітря в кубічних метрах за годину на квадратний метр площі зовнішньої оболонки будинку при дії на будівлю перепаду тиску внутрішнього повітря в 50 Па ($\text{м}^3/(\text{год}\cdot\text{м}^2)$). Дана методіка розглядає розрахунок показника кратності повітрообміну n_{50} при створеному перепаді тиску Δp . В результаті за параметром n_{50} можна визначити клас енергоефективності інструментальним шляхом навіть на стадії будівництва, як перевірка теплотехнічного розрахунку. За даною методікою можна визначити фактичний показник повітропроникності будівлі.

Окрім параметру кратності повітрообміну n_{50} , існує параметр повітропроникності q_{50} . Цей параметр

використовують при розрахунку герметичності будівель із кондиціонованим об'ємом більше 7 000 м^3 , тому що у будинках з великим кондиціонованим об'ємом визначення кратності повітрообміну n_{50} , не є доцільним. Деякі країни Європи, такі як Литва (табл. 1), використовують для визначення герметичності оболонки будівлі n_{50} . У Великобританії, Ірландії та ін. країнах вимоги до показників герметичності базуються на параметрі q_{50} (табл. 2).

Методичні основи визначення герметичної оболонки будівлі, які містяться у стандартах європейських країн світу, наприклад стандарт Литви, або стандарт Великобританії [3] розроблені на основі міжнародного стандарту [1] та адаптовані для цих держав.

На основі ISO 9972:2015 Теплові характеристики будівель – Визначення повітропроникності будівель – Метод нагнітання вентилятора, у даній статті наведені результати адаптації методіки визначення герметичності будівлі для нашої держави.

Таблиця 1

Будівельні нормативи Литви

Країна	Назва стандарту	Вимоги до показників герметичності будівлі	Примітка
Литва	STR 2.05.01:2013	Житлові будинки $A \ n50 \leq 1,0$, $A++ \ n50 \leq 0,6$	З 11.2016 тести обов'язкові
		Громадські будинки $An50 \leq 1,0$	
		Громадські будинки $A+, A++ \ n50 \leq 0,6$	

Таблиця 2

Будівельні нормативи Великобританії, Ірландії

Країна	Назва стандарту	Вимоги до показників герметичності будівлі	Примітка
Великобританія, Ірландія	АТТМА	$q_{50} < 7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ Жилі приміщення	
		з механічною вентиляцією $1 < q_{50} < 5$	
		з природною вентиляцією $5 < q_{50} < 7$	

Методи вимірів. Для даного методу вимірювань існує два способи: при зниженому або підвищеному тиску будівлі або частини будівлі. Витік повітря через оболонку будівлі може бути вимірний незалежно від застосованого способу. Точність методу більшою мірою залежить від застосовуваних вимірювальних приладів і обладнання, а також від умов навколишнього середовища, при яких отримані дані.

Підвищений тиск означає, що тиск у приміщенні вище, ніж зовні. Знижений тиск означає, що тиск у будівлі нижче, ніж зовні.

Залежно від мети випробувань обсяг будівлі або частини будівлі визначають з дотриманням таких вимог:

а) частина будівлі, підготовлена для вимірювань, повинна включати всі приміщення, що кондиціонуються (тобто приміщення, в яких передбачено обігрів, охолодження та/або вентиляція з механічним спонуканням);

б) якщо вимірювання для підтвердження відповідності вимогам герметичності проводять відповідно до чинних нормативних документів або стандартів, і в них вимірюваний обсяг будівлі не встановлений, тоді його встановлюють відповідно до переліку а);

в) в окремих випадках вимірюваний обсяг частини будівлі може бути

встановлений за погодженням із замовником;

г) кожен окрему частину будівлі вимірюють індивідуально, наприклад, окремо вимірюють кожен квартиру багатоквартирного житлового будинку. При обробці результатів необхідно враховувати, що вимірний витік повітря може включати повітряні потоки через негерметичні місця в зонах суміжних частин будівлі.

Способи підготовки будівель. Цей стандарт встановлює три методи випробувань залежно від мети випробувань. Для кожного методу потрібні індивідуальні підготовчі роботи:

Метод 1 – випробування будівлі в умовах експлуатації, при яких отвори для природної вентиляції закриті, а отвори для механічної вентиляції або кондиціонування повітря всієї будівлі герметизовано.

Метод 2 – випробування окремої зони конструкцій будівлі, що захищають, при якому всі отвори для природної вентиляції герметизовано, а двері, вікна та люки закриті.

Метод 3 – випробування будівлі, при якому певні отвори герметизовано або допускається тримати деякі отвори відкритими відповідно до чинних стандартів або нормативних документів на національному рівні.

Системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря та інше інженерне обладнання. Усі прилади, що подають повітря зовні або випускають повітря назовні, застосовувані для створення встановленого підвищеного (зниженого) тиску, вимикають, наприклад, системи опалення з подачею повітря в приміщення, механічні системи вентиляції та кондиціонування повітря, витяжки, сушарки для білизни тощо. Сифонні затвори в системі трубопроводів заповнюють водою або ущільнюють. З відкритих камінів видаляють золу. Вживають відповідних заходів, щоб уникнути небезпеки, пов'язаної з газами, що викидаються із систем опалення. І тут також враховують джерела тепла інших квартирах.

Отвори в огорожувальних конструкціях будівлі

Для методу 1: Всі вікна, двері та люки зовнішньої оболонки конструкції закривають. Вентиляційні отвори, призначені для природної вентиляції в будівлі, закривають. Отвори для механічної вентиляції та кондиціонування повітря всієї будівлі повинні бути герметизовані. Отвори в огорожувальних конструкціях будівлі, включаючи механічні системи вентиляції і кондиціонування повітря, що періодично використовуються, закривають. Пристрої захисту від вогню та диму повинні перебувати у звичайному положенні: наприклад, пристрої захисту від вогню та диму, які зазвичай закриті та автоматично відкриваються у разі вогню, залишаються закритими; пристрої захисту від вогню та диму, які зазвичай відкриті та автоматично закриваються у разі вогню, залишаються відкритими. Отвори в конструкціях, не призначені для вентиляції, наприклад, вбудовані в зовнішні двері або стіну поштові скриньки, топкові пристрої тощо. закривають. Тріщини в конструкціях будівлі не допускаються. Додаткові заходи для поліпшення герметичності конструкцій будівлі не вживаються.

Для методу 2: Всі вікна, двері та люки в конструкціях, будівлі закривають. Вентиляційні отвори, призначені для

природної вентиляції, герметизують. Отвори для механічної вентиляції та кондиціонування повітря з встановленими в них вентиляторами, герметизують, як встановлено для методу 1. Всі отвори в конструкціях будівлі герметизують, за винятком вікон, дверей і люків, що залишаються закритими.

Для методу 3: Отвори в огорожувальних конструкціях будівлі закривають, герметизують або відкривають, залежно від конкретної мети випробувань (наприклад, для підтвердження відповідності вимогам повітропроникності відповідно до нормативних документів або стандартів). Отвори в конструкціях, що захищають будівлі, не призначені для вентиляції, закривають, герметизують або відкривають, залежно від конкретної мети випробувань.

Для всіх методів перед вимірами проводять візуальний огляд стану будівлі в цілому. Описують стан вікон, дверей, непрозорих стін, даху та підлоги, а також положення регульованих отворів та кожного герметизованого отвору в огорожувальних конструкціях будівлі.

Визначення параметрів повітропроникності. Залежно від мети випробувань, яка може полягати у визначенні відповідності нормативним документам або стандарту, можуть бути застосовані додаткові розрахункові параметри, такі як, наприклад, площа огорожувальної поверхні стін і даху, площа підлоги або площа огорожувальної конструкції, втрати тепла через яку враховують при розрахунку енергоефективності будівлі. Використання розрахункових параметрів описують у протоколі випробувань з відповідним поясненням.

Внутрішній об'єм V визначається обсягом повітря в будівлі або вимірюваної частини будівлі. Для обчислення обсягу застосовуються загальні внутрішні розміри. Для визначення обсягу застосовують внутрішні розміри стін і підлог, включаючи площу внутрішніх стін. Площа огорожувальної поверхні будівлі або

вимірюваної частини будівлі визначається загальною площею всіх підлог, стін та перекриттів, що захищають внутрішній об'єм. У площу включають стіни та підлоги, розташовані нижче рівня землі. Для розрахунку площі огорожувальних поверхонь застосовуються загальні внутрішні розміри; наприклад, площа поверхні підлоги розраховують як добуток загальної внутрішньої довжини на загальну внутрішню ширину. Торцеві поверхні, що примикають до огорожувальних поверхонь внутрішніх стін, стель або підлог не віднімають.

Площа підлог – загальна площа підлог всіх поверхів, що відносяться до будівлі або до вимірюваної частини будівлі. Розраховують відповідно до національних норм.

Розрахунок швидкості витоку повітря. Створений перепад тиску Δp визначається як різниця вимірюваного перепаду тиску Δp_m та середнього значення нульового перепаду тиску (1). Слід враховувати знак (плюс чи мінус).

$$\Delta p = \Delta p_m - \frac{\Delta p_{0.1} + \Delta p_{0.2}}{2}. \quad (1)$$

Відповідно до даних виробника об'ємна витрата повітря за показаннями приладу q_r необхідно перерахувати у обмірювану об'ємну витрату повітря q_m при температурі і тиску в пристрої для вимірювання витрати повітря. (2).

$$q_m = f(q_r). \quad (2)$$

Для зниженого тиску проводять перерахунок обмірної витрати повітря q_m в об'ємну витрату повітря через огорожувальні конструкції будівлі q_{env} (3).

$$q_{env} = q_m \left(\frac{\rho_{int}}{\rho_e} \right) \approx q_m \left(\frac{T_e}{T_{int}} \right), \quad (3)$$

де ρ_{int} – щільність повітря у приміщенні, кг/м³; ρ_e – щільність зовнішнього повітря,

кг/м³; T_{int} – абсолютна температура повітря в приміщенні, К; T_e – абсолютна температура зовнішнього повітря, К.

Для підвищеного тиску проводять перерахунок вимірюваної об'ємної витрати повітря q_m в об'ємну витрату повітря через огорожувальні конструкції будинку q_{env} (4).

$$q_{env} = q_m \left(\frac{p_e}{p_{int}} \right) \approx q_m \left(\frac{T_{int}}{T_e} \right). \quad (4)$$

На графіку в подвійному логарифмічному масштабі об'ємна витрата повітря через огорожувальні конструкції, представлена в залежності від створеного перепаду тиску, для отримання графіка витоку повітря для підвищеного і зниженого тиску (5).

Перераховані дані застосовують для визначення коефіцієнта потоку C_{env} і показника кратності повітрообміну n за методом найменших квадратів:

$$q_{env} = C_{env} (\Delta p)^n, \quad (5)$$

де n – показник кратності повітрообміну; Δp – створений перепад тиску, Па; q_{env} – об'ємна витрата повітря через конструкції будівлі, що захищають, м³/год.

При обчисленні відповідно до формули (5) методом найменших квадратів розраховують довірчі інтервали похідних значень коефіцієнта потоку C_{env} та показника кратності повітрообміну n . Далі розраховують коефіцієнт детермінації r^2 (подання у подвійному логарифмічному масштабі). Для підвищеного і зниженого тиску показники C_{env} , n і r^2 визначають окремо.

Результати проведених випробувань, що визначаються відповідно до цього стандарту, вважаються дійсними, коли значення n знаходиться в діапазоні від 0,5 до 1,0, а значення r^2 більше або дорівнює 0,98 (рис. 1).

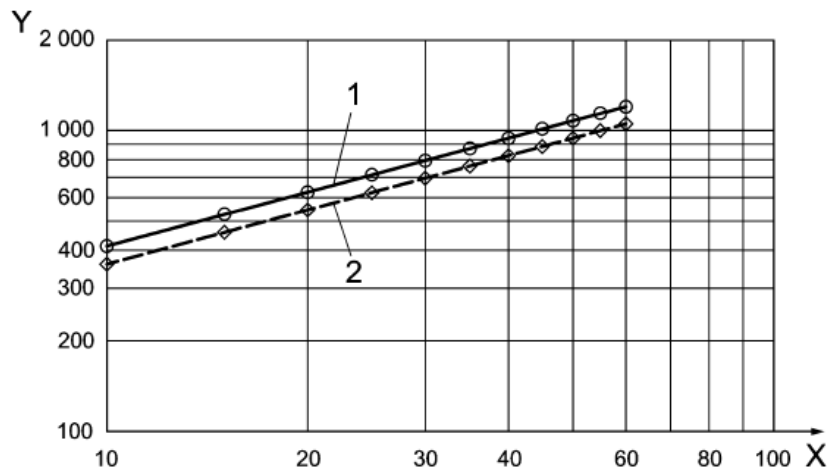


Рис. 1. Приклад графіка залежності витoku повітря від перепаду тиску: X – перепад тиску, Па; Y – об’ємна витрата повітря, м³/год; 1 – підвищений тиск; 2 – знижений тиск

Коефіцієнт витoku повітря C_L визначається перерахуванням коефіцієнта потоку C_{env} на стандартні умови [20 °C та $1,013 \times 10^5$ Па], для зниженого тиску визначають за формулою (6), для підвищеного за формулою (7):

$$C_L = C_{env} \left(\frac{p_e}{p_0} \right)^{1-n} \approx C_{env} \left(\frac{T_0}{T_e} \right)^{1-n}, \quad (6)$$

де, ρ_0 – густина повітря в стандартних умовах, кг/м³; T_0 – абсолютна температура повітря у стандартних умовах, К.

$$C_L = C_{env} \left(\frac{p_{int}}{p_0} \right)^{1-n} \approx C_{env} \left(\frac{T_0}{T_{int}} \right)^{1-n}. \quad (7)$$

Швидкість витoku повітря q_{pr} при стандартному перепаді тиску Δ_{pr} , м³/год визначається за формулою (8).

$$q_{pr} = C_L (\Delta_{pr})^n. \quad (8)$$

Наприклад, при стандартному перепаді тиску, що дорівнює 50 Па, швидкість витoku повітря становить, наприклад (9).

$$q_{50} = C_L (50 \text{ Па})^n. \quad (9)$$

Похідні величини розраховуються для середньої швидкості витoku повітря при стандартному перепаді тиску з виміряного підвищеного та зниженого тиску. У випадку, якщо випробування проводяться тільки для одного режиму, швидкість витoku повітря встановлюється для даного режиму.

Кратність повітрообміну n_{pr} при стандартному перепаді тиску, розраховують

як відношення середнього значення швидкості витoku повітря при стандартному перепаді тиску до внутрішнього обсягу (10).

$$n_{pr} = \frac{q_{pr}}{V}. \quad (10)$$

Стандартний перепад тиску становить 50 Па.

Повітропроникність q_{Epr} при стандартному перепаді тиску розраховують як відношення середнього значення швидкості витoku повітря при стандартному перепаді тиску до площі огорожувальної поверхні (11).

$$q_{Epr} = \frac{q_{pr}}{A_E}. \quad (11)$$

Перепад тиску даної похідної величини становить 50 Па.

Повітропроникність (підлога) q_{Fpr} при стандартному перепаді тиску розраховують як відношення швидкості витoku повітря при стандартному перепаді тиску до площі поверхні підлоги (12).

$$q_{Fpr} = \frac{q_{pr}}{A_F}. \quad (12)$$

Перепад тиску даної похідної величини становить 50 Па.

$$\text{Наприклад, } q_{F50} = \frac{q_{50}}{A_F}$$

Ефективну площу витoku повітря $E_{LA_{pr}}$ при стандартному перепаді тиску Δ_{pr} розраховують (13).

$$ELA_{pr} = \frac{1}{3600} C_L \left(\frac{p_0}{2} \right)^{0,5} (\Delta p_r)^{n-0,5}. \quad (13)$$

Перепад тиску даної похідної величини становить 10 Па.

Питому ефективну площу витоку повітря ELA_{Epr} розраховують (14). як відношення ефективної площі витоку повітря при стандартному перепаді тиску до площі огорожувальної поверхні.

$$ELA_{Epr} = \frac{ELA_{pr}}{A_F}. \quad (14)$$

Перепад тиску даної похідної величини становить 10 Па.

Наприклад, $ELA_{E10} = \frac{ELA_{10}}{A_F}$

Питому ефективну площу витоку повітря $ELAF_{pr}$ розраховують, як відношення ефективної площі витоку повітря при стандартному перепаді тиску до площі основи (15).

$$ELAF_{pr} = \frac{ELA_{pr}}{A_F}. \quad (15)$$

Перепад тиску даної похідної величини становить 10 Па.

Наприклад, $ELAF_{10} = \frac{ELA_{10}}{A_F}$.

Визначивши параметр кратності повітрообміну n_{50} через швидкість витоку повітря, за таблицею ДБН В 2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель, визначається клас енергоефективності (табл. 3).

Таблиця 3

Таблиця класу енергоефективності

Вимоги ДБН В 2.6-31:2016		
Тип будівлі	Клас енергоефективності	Показник кратності повітрообміну
Житлові будинки, адміністративні, навчальні та медицини	А	0,8
	В	1,5
	С	2,0
Громадські будинки, крім зазначених вище	А	1,0
	В	1,5
	С	2,0

Висновки. У статті приведено результати адоптації методики визначення параметрів герметичності оболонки будівлі, на основі міжнародного стандарту ISO 9972:2015 Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method для умов України. Приведено розрахунок параметрів: швидкості витоку повітря,

кратності повітрообміну та повітропроникності, пояснено принцип та послідовність визначення параметрів повітропроникності. За результатами проведених розрахунків, маємо можливість визначити інструментальним шляхом клас енергоефективності за визначеним показником кратності повітрообміну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ISO 9972:2015. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method. UK Standard, 2015. 38 p.
2. Geels F.W., Schwanen T., Sorrell S., Jenkins K. and Sovacool B.K. Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates. *Energy Research & Social Science*. 2018. Pp. 23–35.
3. АТТМА. The Air Tightness Testing & Measurement Association. Amsterdam, Buckinghamshir, HP7 OUT, 2010. 31 p.
4. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. Київ : Мінрегіон України, 2018. 19. с.
5. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ : Мінрегіон України, 2017. 31 с.
6. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Київ : Держстандарт України, 2015. 140 с.

7. Carmen de la Cruz-Lovera. Worldwide Research on Energy Efficiency and Sustainability in Public Buildings. Sustainability, 2017. 19 p.
8. Janet L., Mikhail V. Energy efficiency to reduce residential electricity and natural gas use under climate change. NATURE COMMUNICATIONS. 2017. Pp. 2–12.

REFERENCES

1. ISO 9972:2015. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method. UK Standard, 2015, 38 p.
2. Geels F.W., Schwanen T., Sorrell S., Jenkins K. and Sovacool B.K. Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates. Energy Research & Social Science. 2018, pp. 23–35.
3. ATTMA. The Air Tightness Testing & Measurement Association. Amsterdam, Buckinghamshir, HP7 OUT, 2010, 31p.
4. DBN V.2.6-33:2018. *Konstrukciyi zovnishnix stin iz fasadnoyu teploizolyaciyeu. Vymogy do proektuvannya* [Designs of external walls with facade thermal insulation. Design requirements]. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2018, 19 p. (in Ukrainian).
5. DBN V.2.6-31:2016. *Teplova izolyaciya budivel* [Thermal insulation of buildings]. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2017, 31 p. (in Ukrainian).
6. DSTU B A.2.2-12:2015. *Energetychna efektyvnist budivel. Metod rozraxunku energospozhy vannyapry opalenni, oxolodzhenni, ventylyaciyi, osviltenni ta garyachomu vodopostachanni* [Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Kyiv : State Standard of Ukraine, 2015, 140 p. (in Ukrainian).
7. Carmen de la Cruz-Lovera. Worldwide Research on Energy Efficiency and Sustainability in Public Buildings. Sustainability, 2017, 19 p.
8. Janet L. and Mikhail V. Energy efficiency to reduce residential electricity and natural gas use under climate change. NATURE COMMUNICATIONS, 2017, pp. 2–12.

Надійшла до редакції: 12.06.2022.