

ОЦІНКА ВТРАТИ ТЕПЛА ТИПОВИМ П'ЯТИПОВЕРХОВИМ ЖИТЛОВИМ БУДИНКОМ ЯК ЧИННИКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МІСТА

Валерій Євгенійович Колесник

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2349-3576>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро

Ірина Володимирівна Монюк

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро

Вступ

Останнім часом питання підвищення ефективності енергоспоживання набули особливої актуальності та безпосередньо пов'язані з енергетичною та екологічною безпекою густо населених міст. Між тим, у Програмі з енергозбереження, енергоефективності та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у м. Дніпрі на 2022–2026 роки зазначено, що переважна частина житлового фонду міста (як, до речі, і у багатьох густонаселених містах України), побудована в 50...90 роках минулого століття та містить значну кількість типових п'ятиповерхових житлових будинків з низьким рівнем енергозбереження, що супроводжується збільшеним споживанням палива міськими котельнями, а відповідно і підвищеними викидами забруднюючих речовин в атмосферу.

Таким чином, для підвищення рівня екологічної безпеки на територіях міста згадані будинки потребують реконструкції, спрямованої на збереження теплових і паливних ресурсів. Вибір же ефективних технологій тепло-енергозбереження в указаних вище будинках потребує оцінювання втрат ними тепла під час опалювального сезону.

МЕТА

Оцінити втрати тепла типовим п'ятиповерховим житловим будинком як чинника екологічної безпеки міста на основі теоретичного аналізу різних механізмів цих втрат житловою будівлею та порівняння їх з радіаційними тепловтратами стін аналогічного будинку, що отримані на основі натурних обстежень будинку з використанням радіаційного пірометра.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для досягнення поставленої мети авторами виконувалася оцінка втрати тепла, на прикладі, типового п'ятиповерхового житлового будинку за умов, якщо всередині підтримується температура $T_1 = +20\text{ }^\circ\text{C}$, а за вікнами морозне повітря з температурою $T_2 = -10\text{ }^\circ\text{C}$.

Теоретичні оцінки виконувалися за рекомендаціями С. Д. Варламова, (2002 р.) [1]. Враховано два основні механізми теплових втрат: теплопровідність стін будівлі та зміна повітря всередині будівлі за рахунок обов'язкової вентиляції та протягів.

Вважалось, що стіни будівлі зроблені з силікатної цегли, теплопровідність якої дорівнює $\lambda = 0,7\text{ Вт/м град К}$. Товщина стін $d = 0,4\text{ м}$. Орієнтовні розміри типового п'ятиповерхового будинку на 3 під'їзди: довжина $A = 60\text{ м}$, ширина $B = 15\text{ м}$, висота $H = 15\text{ м}$. Повна площа S , через яку тепло надходить назовні дорівнює майже 3150 м^2 .

Припускалося, що через площу вікон втрачається стільки ж тепла, скільки і через таку ж площу цегляної стіни. Аналогічне припущення зроблено щодо даху. Втратами через підвал будівлі знехтували. В результаті, потужність теплових втрат за рахунок теплопровідності оцінено як:

$$W_1 = S\lambda (T_1 - T_2)/d = 3150 \times 0,7 \times 30 / 0,4 \approx 165\text{ кВт}. \quad (2.1)$$

На кожен квадратний метр площі стіни припадає тепловий потік:

$$\lambda(T_1 - T_2)/d = 52,5\text{ Вт/м}^2 \approx 53\text{ Вт/м}^2.$$

За санітарно-гігієнічними нормами, повітря має змінюватися мінімум 1 раз на годину, що забезпечується системою вентиляцією будівлі. Загальний же об'єм повітря в будинку оцінено величиною $V = 13500\text{ м}^3$, тобто за годину (3600 с) будівля отримує стільки ж холодного повітря з вулиці з об'ємною швидкістю надходження приблизно $3,75\text{ м}^3/\text{с}$. Це повітря нагрівається в приміщеннях і виходить в вентиляційні труби на даху.

Нагрівання повітря відбувається при постійному тиску, тому потужність тепловтрат, пов'язаних з вентиляцією згідно з [1] становить:

$$W_2 = \rho V / \mu \times (T_1 - T_2)(7/2)R/(t), \quad (2.2)$$

де R – універсальна газова постійна – дорівнює $8,314 \cdot 10^3\text{ кг м}^2/\text{кмоль с}^2\text{ К}$; ρ – густина повітря, $1,2\text{ кг/м}^3$; μ – середня молярна маса газів, що входять до складу повітря, 29 кг/кмоль ; t – тривалість 1 години в секундах. Отже після підставлення значень потужність тепловтрат складе:

$$W_2 = (1,2 \times 13500 / 29) \times (20 + 10)(7/2) 8,314 \times 10^3 / 3600 \approx 135\text{ кВт}.$$

В результаті, потужність тепловтрат за рахунок двох розглянутих механізмів складе:

$$W_1 + W_2 = 165 + 135 = 300 \text{ кВт.}$$

Невелика частина цих теплових втрат покривається мешканцями, оскільки кожна особа виробляє орієнтовно 100 Вт теплової потужності, тобто, якщо в будинку мешкає 300 людей, то ця частка складе 10% від указаної вище кількості витрат. Решта забезпечується системою опалення будинку.

Для визначення теплових втрат від протягів припускалося, що приведена площа нещільності вхідних вуличних дверей, вікон дверей і площа нещільності дверей чи віконцець на горищі однакові і дорівнюють орієнтовно 1 м^2 .

Оцінка швидкості потоку повітря в результаті протягів проводилася за рівнянням Бернуллі за різницею тисків між теплим і холодним повітрям. Для густини повітря $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, за рахунок різниці температур всередині і зовні створюється різниця статичних тисків:

$$\Delta P \approx \rho g H (T_1 - T_2) / (273^\circ + T_2) = 1,2 \times 9,8 \times 15 (20 + 10) / 263 \approx 20 \text{ Па.} \quad (2.3)$$

Цей тиск поділяється приблизно порівну: з вулиці через вхідні двері та відкриті чи вікна та з вентиляційного вікна на даху – назовні. Причому різниця тисків в 10 Па забезпечує потрапляння холодного повітря всередину будівлі внизу у відкриті двері і такий же перепад тиску забезпечує вихід теплого повітря з будівлі через вентиляційні отвори на даху назовні. Оскільки, відповідно до рівняння Бернуллі:

$$\Delta P = \rho v^2 / 2,$$

то оцінна величина швидкості надходження холодного (-10°C) повітря в будівлю складе: $v \approx 4 \text{ м/с}$. Отже, через протяги в будівлю втікає близько $4 \text{ м}^3/\text{с}$ холодного повітря. Це потік повітря приблизно такий же, як при нормальній вентиляції будівлі, який складає $3,75 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким чином, тепловтрати будинку через протяги збільшаться приблизно на 140 кВт, тобто їх можна порівняти за величиною із втратами через стіни за рахунок теплопровідності (W_1) та втратами за рахунок нормальної вентиляції будівлі (W_2). Очевидно, що зменшення приведеної площі нещільностей вхідних дверей і вікон, за рахунок їх ущільнення дозволить суттєво мінімізувати тепловтрати від протягів.

Тепер оцінимо втрати тепла крізь вікна. На початку припускалося, що тепловий потік через віконну область такий самий, як і через таку ж саму площу суцільної стіни. Проте потік тепла через вікно залежить від конструкції вікна.

Зазвичай вікна мають два скла, що знаходяться при різній температурі повітря зовні і з середини приміщення. За рахунок конвекції це повітря передає енергію від теплого внутрішнього скла до холодного зовнішнього скла. В результаті, внутрішнє скло має температуру поверхні, зверненої до кімнати близько 0°C . Зовнішня ж поверхня скла складатиме -10°C . Отже, якщо висота вікна становить близько 1 м, а

різниця температур зовнішнього і внутрішнього скла – близько 10 С, то різниця тисків, яка забезпечує конвекцію повітря між склом, буде на два порядки менше значення 20 Па, визначеного вище й оцінена у 0,5 Па.

За наведених умов, як показано в [1], кожен квадратний метр вікна забезпечує передачу теплової потужності орієнтовно 116 Вт/м², що приблизно вдвічі більше, ніж втрати тепла через квадратний метр цегляної стіни. Площа ж вікон становить близько 20% від загальної площі зовнішніх стін будівлі, отже, тепловтрати через кожен квадратний метр площі стіни (з вікнами) будуть більшими, за зроблену вище оцінку у 53 Вт/м² приблизно на 20 % і складуть 64 Вт/м². В результаті, при загальній площі будинку 3150 м² втрати тепла складуть, приблизно 202 кВт, до яких слід додати потужність тепловтрат, пов'язаних з вентиляцією будинку.

Таким чином,, потужність тепловтрат за рахунок двох розглянутих механізмів, виключаючи протяги, складе:

$$W1 + W2 = 202 + 135 = 337 \text{ кВт.}$$

З урахуванням протягів, оцінених приблизно у 140 кВт, отримаємо загальну потужність теплових втрат типовим п'ятиповерховим цегляним будинком з сумарною площею поверхні 3150 м², приблизно до 480 кВт. В перерахунку на 1000 м² тепловтрати складуть порядку 160 кВт/1000 м².

Насамкінець, для порівняння отриманих вище теоретичних (розрахункових) значень тепловтрат указаним будинком, дамо також оцінку тепловтрат радіаційним шляхом, отриманих на основі натурних обстежень аналогічного будинку з використанням радіаційного пірометра, як показано в роботі [2].

Методика теплових вимірювань базувалася на використанні портативного пірометра з лазерним укажчиком області визначення радіаційної температури певної поверхні. Паспортна похибка вимірювання температури приладом складала +/- 0,1°C.

Дослідження температур проводилося у грудні-січні місяці у похмурі дні за відсутністю вітру, що дозволило виключити вплив прямої сонячної радіації на температуру поверхонь [2]. При цьому температуру цегляної й утепленої поверхонь вимірювали пірометром, як показано на рис. 1.

На рисунку позначена зона сканування температури округлої форми, якої дотримувалися за допомогою лазерного укажчика. Діаметр зони складав 20...30 см, залежно від відстані пірометра до поверхні, що зазвичай становила 1...2 м та не перевищувала 4...5 м при вимірах на другому поверсі будинку. При цьому була отримана регресійна модель залежності радіаційної температури поверхні цегляної стіни –

T від температури атмосферного повітря – t_a :

$$T = 0,891 t_a + 0,7322, R^2 = 0,9029 \quad (2.4)$$

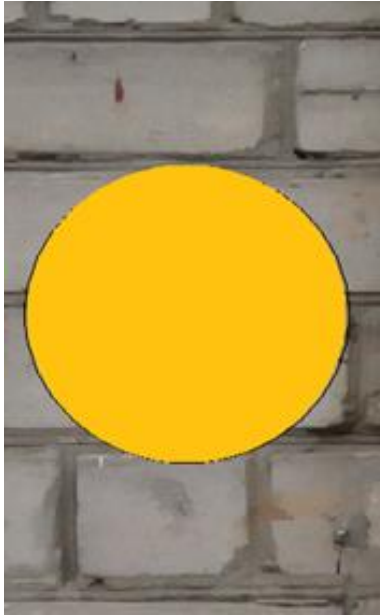


Рисунок 1 – Схема сканування поверхні цегляної стіни пірометром з лазерним укажчиком

Обсяги втрати тепла з кожного квадратного метру стіни будинку оцінювалися за даними радіаційної температури її поверхні за формулою Стефана-Больцмана, скоригованою для сірих тіл:

$$B = \delta \sigma T^4 \quad (2.5)$$

де $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴ – постійна Стефана–Больцмана; $\delta = 0,95$ – поправка для сірого тіла, якою вважалася стіна будинку з силікатної цегли; T – температура поверхні нагрітого тіла за шкалою Кельвіна (пов’язана зі шкалою Цельсія, як $T = t^{\circ}\text{C} + 273$).

Згідно з моделлю (2.4) температурі атмосферного повітря -10°C відповідає радіаційна температура цегляної стіни житлового будинку близько -8°C . За цією температурою оцінювався повний потік випромінювання енергії стіною з умовною одиничною площею 1000 м², яку зручно використовувати при масштабних розрахунках втрат тепла будинками у житлових мікрорайонах, що обслуговуються певною котельнею. В результаті отримаємо потужність втрати тепла стіною:

$$B = 1000 \delta \sigma T^4 = 1000 \times 5,67032 \cdot 10^{-8} \times 0,95 \times (-9,6 + 273)^4 = 266 \text{ кВт} / 1000 \text{ м}^2.$$

РЕЗУЛЬТАТИ

Як бачимо, оцінна потужність тепловтрат будівлі, що отримана теоретичним шляхом з урахуванням теплопровідності її стін та зміни повітря всередині за рахунок вентиляції та протягів склала приблизно 160 кВт/1000 м². Ця розрахункова величина виявилася приблизно на 39%, нижче за величину 266 кВт/1000 м² – втрати тепла стінами будинку радіаційним шляхом.

Отримана розбіжність, як ми вважаємо, обумовлена певними теоретичними припущеннями та орієнтовним вибором параметрів житлового будинку, які впливають на тепловтрати. Проте отримані оцінні результати знаходяться в межах одного порядку, отже їх слід вважати цілком прийнятними для подальшого аналізу ефективності заходів з утеплення будинків. При цьому величина радіаційних втрат тепла стінами за моделями (2.4) та (2.5) виглядає більш достовірною, оскільки отримана в результаті коректних вимірювань при обстеженні радіаційних температур стіни реального будинку.

ВИСНОВКИ

Виконані різнобічні оцінки тепловтрат типовим п'ятиповерховим житловим будинком в опалювальному сезоні виявили суттєві втрати тепла, які варто зменшити під час реконструкції таких будинків. Це дозволить зменшити витрати палива, необхідного для обігріву будинків котельнями та відповідно знизити викиди забруднюючих речовин котлоагрегатами в атмосферу, підвищуючи тим самим рівень екологічної безпеки густонаселених міст. Причому оцінку ефективності заходів з утеплення будинків доцільно проводити з урахуванням характерних змін радіаційних температур утеплених поверхонь.

ПОСИЛАННЯ

1. Варламов С. *СУНЦ МГУ – Школа им. А. Н. Колмогорова*. URL: <https://internat.msu.ru/media/uploads/files/Потери-тепл-зданиями.pdf>.

2. Kolesnyk V., Pavlychenko A., Moniuk I. Assessment of resource-saving and environmental effects in the system «boiler room – heat consumers – environment» from insulation of external walls of houses. *Collection of Research Papers of the National Mining University*. 2020. Vol. 61. P. 116–128. URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/61.116>.