

УДК 620.91:711.4

Г.Г.Фаренюк¹, О.І. Філоненко², М.В. Тимофєєв³

¹Державне підприємство "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (ДП НДІБК), м. Київ, Україна

²Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Україна

³Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ГРОМАДСЬКИХ БУДИНКІВ З ВРАХУВАННЯМ ЕРГОНОМІКИ ТЕПЛООВОГО СЕРЕДОВИЩА

Некомплексний підхід проведення термомодернізації громадських будівель призводить до погіршення показників мікроклімату приміщень. Досліджено аспекти сертифікації теплового середовища приміщень, яка базується на індексах теплового комфорту. Визначено необхідність включення у енергетичний сертифікат будівлі інформацію про внутрішнє середовище будівлі, як один з параметрів оцінки загальної енергоефективності.

Ключові слова: ергономіка, мікроклімат приміщення, тепловий комфорт.

Постановка проблеми

При розробці проектів термомодернізації громадських будівель замовник часто наполягає на утепленні частини зовнішньої оболонки. Наприклад:

при термомодернізації школи не включати в проект заміну вікон на енергоефективні так, як існуючі вікна нові, хоча і мають низький опір теплопередачі;

при термомодернізації будівлі університету, яка є пам'яткою архітектури, влаштування фасадних теплоізоляційно-опоряджувальних систем недопустимо, а внутрішнє утеплення стін веде до зменшення площ навчальних приміщень та до повторного їх ремонту;

при термомодернізації спортивного залу немає можливості провести утеплення в конструкції вже існуючої підлоги по ґрунту, а ефективне вертикальне утеплення навколо фундаментної зони по зовнішньому периметру будівлі неможливе із-за фундаменту стаканного типу.

Нормами проектування допускається застосовувати окремі конструктивні елементи теплоізоляційної оболонки із знизженими значеннями опору теплопередачі до рівня 75% від R_{qmin} для непрозорих частин зовнішніх стін і до рівня 80% від R_{qmin} для інших огорожувальних конструкцій відповідно до умов згідно з формулою (4) ДБН В.2.6-31:2016 при обов'язковому виконанні умов для цих елементів теплоізоляційної оболонки за формулами (5) та (6) ДБН В.2.6-31:2016.

Розрахункова або фактична питома річна енергопотреба будівлі при цьому повинна бути не

менше максимально допустимого значення річної енергопотреби будівлі (п. 5.1 ДБН В.2.6-31:2016).

У випадках, перерахованих вище, клас енергетичної ефективності будинків не нижчий за С досягався за рахунок збільшення опору теплопередачі інших огорожувальних конструкцій при визначенні приведенного коефіцієнта теплопередачі теплоізоляційної оболонки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У наукових працях закордонних вчених увага приділяється питанням глобальної енергетичної ефективності (Henningsen С., [1]), проблемам енергетичної ефективності будівель (W. Forster, [2]), практичним та теоретичним питанням енергозбереження у житловому фонді [3].

Способи оптимізації мікроклімату та їх дію на організм людини представлено в роботі [4].

Вплив системи вентилявання на енергетичну ефективність будівель з врахуванням поведінки користувачів розглядав Pavlovas V. [5].

Дослідницька область, пов'язана з моделюванням будівель та передбаченням енергетичних характеристик, є дуже продуктивною, і включає в себе різні наукові галузі. Серед них можна виділити розділи, пов'язані з фізикою, з акцентом на вирішення рівнянь, що моделюють теплову поведінку будівель [6].

Модернізація існуючих будівель відкриває значні можливості для скорочення глобального споживання енергії та викидів парникових газів. У документі [7] подано систематичний підхід до належного підбору і визначенню найкращих варіантів модернізації існуючих будівель.

Сучасні аспекти забезпечення енергоефективності будівництва та реконструкції представлено у роботах [8-10].

Формулювання мети статті

Мета статті полягає у визначенні залежності загальної енергоефективності будівель від теплового комфорту приміщень.

Виклад основного матеріалу

З введенням в дію ДСТУ Б EN 15251:2011 вводиться поняття сертифікації теплового середовища приміщень, яка базується на індексах теплового комфорту PMV-PPD (передбачене середнє очікування - передбачений відсоток невдоволених) з передбаченням рівнів активності та теплоізоляції одягу (влітку та взимку). Стандарт вводить поняття категорій внутрішнього середовища. Вибір категорії є особливістю будівлі і потреби особливих груп мешканців, наприклад, людей похилого віку (низький рівень метаболізму та порушення контролю температури тіла). Опис сфери застосування категорій, що використовуються, наведено в табл. 1.

Таблиця 1.

Опис сфери застосування категорій, що використовуються

Категорія	Пояснення
I	Високий рівень очікувань, рекомендований для приміщень, що займають дуже чутливі та слабкі люди з особливими потребами, такі як інваліди, хворі, маленькі діти та люди похилого віку
II	Нормальний рівень очікувань має використовуватися для нових будівель та при реконструкції
III	Допустимий середній рівень очікувань може бути використаний для існуючих будівель
IV	Значення поза межами критеріїв вищезгаданих категорій. Ця категорія має прийматися для обмеженого періоду року

За ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 необхідне теплове середовище для простору може бути вибрано з трьох категорій: А, В й С відповідно до табл. 2. Всі критерії повинні бути виконані одночасно для кожної категорії.

Таблиця 2.

Характеристики категорій теплового середовища

Категорії	Температурні відчуття тіла в цілому		Місцевий (локальний) дискомфорт			
	PPD, %	PMV	DR, %	PD, %		
				обумовлений		
				різницею температур повітря по вертикалі	теплою або холодною підлогою	асиметрією радіаційного теплового випромінювання
A	<6	-0,2 <PMV< +0,2	< 10	<3	< 10	<5
B	< 10	-0,5 <PMV< +0,5	<20	<5	<10	<5
C	< 15	-0,7 <PMV< +0,7	<30	< 10	< 15	<10

Кожна категорія приписує максимальний відсоток незадоволених для організму в цілому PPDі PDдля кожного з чотирьох видів місцевого дискомфорту.

Критерії проектування, зазначені в табл. 2, виведені для наступних умов. Критерії для еквівалентної температури засновані на типових рівнях активності руху, одяг з показником -0,5 кло протягом літа ("теплий сезон") і з показником - 1,0 кло в зимовий період ("холодний, опалювальний сезон"). Критерії для середньої швидкості руху повітря припускають інтенсивність турбулентності приблизно в 40 % (змішана вентиляція). Наведені критерії проектування дійсні також і для інших типів просторів з аналогічними параметрами.

ДСТУ Б ENISO 7730:2011установило методи для вимірювання та оцінки показників допустимих і

екстремальних температурних середовищ, які впливають на людей.

Теплове відчуття людини в основному пов'язане з тепловим балансом її тіла в цілому. Цей баланс залежить від фізичної активності та одягу, а також параметрів навколишнього середовища: температури повітря, середньої температури випромінювання, швидкості руху і вологості повітря. При оцінюванні або вимірюванні цих факторів можливо передбачити теплове відчуття для організму в цілому шляхом обчислення середньої оцінки (PMV).

Прогнозована середня оцінка (PMV) – це індекс, за допомогою якого прогнозують середнє значення чутливості до температури великої групи людей на підставі балансу температури тіла людини за 7-бальною тепловою шкалою відчуттів (табл. 3).

Тепловий баланс встановлюється коли тепло, що виділяє тіло людини, дорівнює втратам тепла в навколишнє середовище.

Таблиця 3.

Семибальна шкала чутливості до температури

+3	Спекотно
+2	Тепло
+1	Трохи тепло
0	Нейтрально
-1	Трохи прохолодно
-2	Прохолодно
-3	Холодно

Показник PMV може бути розрахований для різних комбінацій швидкості обміну речовин, опору теплопередачі одягу, температури повітря, середнього теплового випромінювання, швидкості руху повітря та вологості повітря. Він характеризує стабільні умови та повинен використовуватися тільки для значень PMV в інтервалі між -2 та +2 і коли шість основних параметрів знаходяться в наведених нижче інтервалах (табл. 4):

Таблиця 4.

Параметри мікроклімату

№ п/п	Параметри мікроклімату	Інтервал
1	Швидкість обміну речовин, $M, \text{Вт/м}^2$	46-232 Вт/м^2 (0,8 -4 мет)
2	Опір теплопередачі одягу, I_{cl}	0- 0,31 Вт/м^2 (0-2 кло)
3	Температура повітря, t_a	10-30°C
4	Середня радіаційна температура випромінювання, \bar{t}_r	10-40°C
5	Відносна швидкість руху повітря, v_{ar}	0-1 м/с
6	Парціальний тиск водяної пари, p_a	0-2700 Па

PMV може бути використаний для перевірки, чи задовольняє визначене термальне середовище критеріям комфорту (табл. 2), а також для встановлення вимог до термального середовища.

Встановивши $PMV = 0$, отримують рівняння для прогнозування сполучень активності, одягу й параметрів середовища, котрі звичайно забезпечують нейтральну температурну чутливість.

PMV прогнозує середнє значення оцінок термального середовища великою групою людей, що піддаються впливу цього середовища. Індивідуальні оцінки знаходяться біля цього середнього значення, тому корисною є можливість прогнозу кількості людей, які у цьому середовищі ймовірно будуть почувати себе некомфортно: дуже тепло або прохолодно.

Встановлення відсотка незадоволених (PPD) визначає індекс, що містить інформацію про тепловий дискомфорт або теплове невдоволення відсотка людей, які ймовірно відчувають себе занадто тепло або дуже холодно в даному середовищі. PPD можуть бути отримані з PMV за формулою (1):

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2). \quad (1)$$

Під незадоволеними температурним середовищем людьми розуміють тих, які будуть оцінювати середовище як спекотне, тепле, прохолодне або холодне за семибальною шкалою теплової чутливості, що наведена в таблиці 3.

PPD прогнозує кількість людей, незадоволених температурою навколишнього середовища в середині великої групи людей. Решта людей групи буде почувати себе термічно нейтральними - легке тепло або легка прохолода.

Показники PMV і PPD відображають дискомфорт від тепла або холоду для всього організму в цілому. Але невдоволення температурою навколишнього середовища може також бути викликане небажаним охолодженням або нагріванням однієї конкретної частини тіла. Це поняття відоме як локальний температурний дискомфорт. Найчастішою причиною місцевого дискомфорту є протяг (швидкість протягу DR). Місцевий дискомфорт може бути також викликаний аномально високою різницею температур по вертикалі між головою і кінцівками ніг через занадто теплу або занадто холодну підлогу, або занадто високою асиметрією теплового випромінювання (відсоток незадоволених PD). Таблиця 2 містить вимоги до локального і загального температурного комфорту для різних категорій навколишнього середовища й типів просторів.

До локального температурного дискомфорту, в основному, чутливі люди, які мають сидячий спосіб роботи. Вони будуть мати близьку до нейтральної температурну чутливість для всього тіла. Люди з більш високим рівнем фізичної активності менш термічно чутливі і ризик локального дискомфорту для них нижчий.

Етнічні, національні чи географічні відмінності також повинні бути взяті до уваги при розгляді приміщень, не обладнаних кондиціонуванням.

Температурний (тепловий комфорт) – це стан задоволення тепловими умовами навколишнього середовища. Невдоволення може бути викликане дискомфортом від перегрівання або охолодження організму в цілому, що оцінюють за допомогою PMV і PPD, або небажаним охолодженням (перегріванням) однієї певної частини тіла.

Через індивідуальні відмінності неможливо встановити тепловий стан навколишнього се-

редовища, який задовольнив би усіх. Завжди буде відсоток незадоволених людей. Але можна встановити середовища, прийнятні для певного відсотка людей.

Якщо категорії загального комфорту виконані, в тому числі в екстремальних ситуаціях, потужність будь-якої установки опалення та/або охолодження HVAC(опалення, вентиляції, кондиціювання) повинна бути порівняно високою. Економічні і/або екологічні обмеження надають можливість отримати прийнятні обмеження інтервалу часу, протягом якого значення PMV буде залишатися за межами зазначених діапазонів.

Замість використання температури в якості проектного критерію безпосередньо теж можуть

використовуватися індекси PMV-PPD. В такому випадку має братися до уваги ефект збільшення швидкості повітря. Базуючись на обраних критеріях (категорії комфорту), встановлюють відповідні температурні інтервали. Значення для встановлення параметрів систем охолодження є верхнім значенням діапазону комфорту, а нижнім є значення для встановлення параметрів системи опалення. Деякі приклади рекомендованої робочої температури, одержані відповідно до цих принципів для опалення та кондиціювання, представлені в табл. 5.

Таблиця 5.

Приклади критеріїв проектування для приміщень в різних типах будівель

Типибудівель/ просторів	Діяльність Вт/м ²	Категорії	Еквівалентна температура, °С		Максимальна середня швидкість руху повітря, м/с	
			Літо (теплий сезон)	Зима (холодний сезон)	Літо (теплий сезон)	Зима (холодний сезон)
Аудиторія Клас	70	A	24,5±1,0	22,0±1,0	0,12	0,10
		B	24,5±1,5	22,0±2,0	0,19	0,16
		C	24,5±2,5	22,0±3,0	0,24	0,21
Дитячий садочок	81	A	23,5±1,0	20,0±1,0	0,11	0,10
		B	23,5±2,0	22,0±2,5	0,18	0,15
		C	23,5±2,5	22,0±3,5	0,23	0,19

Висновки

Енергоспоживання будівель значно залежить від критеріїв мікроклімату приміщень (температура, вентиляція і освітлення) та будівель (включаючи системи), що використовуються при проектуванні та експлуатації. Мікроклімат приміщення також має вплив на здоров'я, продуктивність та комфорт людей, що перебувають у приміщенні. Нещодавні дослідження показали, що вартість впливу незадовільного мікроклімату приміщення на працівників, власника будівлі та суспільство в цілому часто значно перевищує вартість енергії, що використана цим же будинком. Також було показано, що висока якість мікроклімату приміщення може підвищити продуктивність та здатність до навчання та зменшити кількість прогулів.

Недостатня теплоізоляція елементів огорожувальних конструкцій призводить до теплового дискомфорту, викликаного небажаним місцевим охолодженням або нагріванням тіла. Найбільш поширеними місцевими факторами дискомфорту є температура випромінювання асиметрії (холодної або теплої поверхні), протяг (який визначається як місцеве охолодження тіла,

викликане рухом повітря), вертикальний перепад температури повітря і холодні або теплі підлоги.

Інформація про внутрішнє середовище будівлі має бути включена у енергетичний сертифікат будівлі, щоб оцінити загальні характеристики будівлі.

При проектуванні теплотехнічних показників елементів теплоізоляційної оболонки будинку за ДБН В.2.6-31:2016 потрібно використовувати методи для прогнозування загального теплового відчуття і ступеня дискомфорту (теплова незадоволеність) людей, що піддаються дії помірних термальних середовищ. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту з використанням розрахунків PMV (прогнозована середня оцінка якості повітряного середовища) і PPD (прогнозований відсоток незадоволених температурою середовища), а також критеріїв місцевого теплового комфорту допомагає оцінити прийнятність умов навколишнього середовища для забезпечення теплового комфорту людини.

Література

1. Хеннінгсен, С. Керуючи інвестиційним ризиком [Текст] / С. Хеннінгсен // Журнал Зелені гроші. – 2011. – Вип. 82. – С. 1 – 4.
2. Форстер, У. Енергоефективні будівлі: Архітектура, інженерія і навколишнє середовище [Текст] / У. Форстер,

Д. Хокс, В. О. Нортон. – 2002. – 240 с. – ISBN 978-039373092

3. Корнієнко, С. В. Експериментальний аналіз і розрахунки оцінки енергоефективності будинків [Електронний ресурс] / С. В. Корнієнко // Прикладна механіка і матеріали. – 2014. – №618. – С. 509 – 513. – Режим доступу: <http://www.scientific.net/AMM.618.509>.

4. Губернський, Ю. Д. Економічні та гігієнічні аспекти при управлінні мікрокліматом приміщень [Електронний ресурс] / Ю. Д. Губернський, В. В. Лицкевич // Електронна бібліотека Бібліограф. – Режим доступу: <http://bibliograph.com.ua/zhilishe/6.htm>. – Назва з екрана.

5. Павловас, В. Економія електроенергії в існуючих шведських будинків [Електронний ресурс] / В. Павловас // Технологічний університет Чамлєрса, Гетеборг. – Режим доступу: <http://publications.lib.chalmers.se/publication/11656-energy-savings-in-existing-swedish-apartment-buildings-some-aspects-on-demand-controlled-ventilation> – 2006. – Назва з екрана.

6. Фоукваєр, А. Сучасний стан в побудові прогнозу моделювання та енергетичних характеристик: огляд [Електронний ресурс] / А. Фоукваєр, Ф. Сюар, С. Роберт, Л. Стефан, А. Джей // Поновлювані і стійкі джерела енергії. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.004> – 2013. – Назва з екрана.

7. Ма, З. Реконструкція існуючих будівель: методологія і стан справ в даній області [Текст] / З. Ма, П. Купер, Д. Делі, Л. Ледо // Енергетичне будівництво. – 2012. – Вип. 55. – С. 889 – 899. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018>

8. Фаренюк, Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій [Текст] / Г. Г. Фаренюк. – К.: Гама-Принт, 2006. – 216 с. ISBN 978-966-2283-0-5-1.

9. Тимофєєв, М. В. Термомодернізація житлових будинків серії 87 [Текст] / М. В. Тимофєєв, С. О. Сахновська // 36. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 68. – С. 115 – 120.

10. Сахновская, С. А. Реальная и проектная энергоэффективность зданий [Текст] / С. А. Сахновская // Современные проблемы стр-ва. №7 (12). – Донецк: Донецкий Промстрой НИИ проект, 2009. – С. 54 – 58.

References

1. Henningsen, C. (2011). Managing Ecological Investment Risk. *Green Money Journal*, 82, 1–4.
2. Forster, W., Hawkes, D., Norton, W. W. (2002). *Energy Efficient Buildings: Architecture, Engineering, and Environment*, 240 p. ISBN 978-039373092
3. Korniyenko, S. V. (2014). The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency. *Applied Mechanics and Materials*, 618, 509 – 513. Retrieved from <http://www.scientific.net/AMM.618.509>
4. Gubernskiy Yu. D., Litskevich V. V. (n.d.). *Economic and*

hygienic aspects in the management of the indoor climate. Electronic library Bibliographer. Retrieved from <http://bibliograph.com.ua/zhilishe/6.htm>.

5. Pavlovass V. (2006). Energy saving in existing Swedish apartment buildings. *Chalmers University of Technology, Göteborg*, 17 – 83. Retrieved from <http://publications.lib.chalmers.se/publication/11656-energy-savings-in-existing-swedish-apartment-buildings-some-aspects-on-demand-controlled-ventilation>

6. Fouquier A., Suard F., Robert S., Stephan L., Jay A. (2013). State of the art in building modelling and energy performances prediction: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 23, 272 – 288. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.004>

7. Ma Z., Cooper P., Daly D., Ledo L. (2012). Existing building retrofits: methodology and state-of-the-art. *Energy Build.* 55, 889– 899. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018>

8. Farenuk, G. G. (2006) Fundamentals of energy efficiency of building and their malreliability walling. *Gamma-Print*. 216.

9. Timofeev N. V., Sakhnovska S. O. (2008). Residential buildings thermal modernization series 87. *Proc. Sciences. Works, NIISK, Vol. 68*, 115 – 120.

10. Sakhnovskaya S. A. (2009). Actual and design energy efficiency in buildings. *Modern problems of construction*, 7 (12), Donetsk: *Donetsk Promstroy NII projekt*, 54 – 58.

Автор: ФАРЕНЮК Геннадій Григорорич
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, директор
ORCIDID: 0000-002-5703-3976

Державне підприємство "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (ДІНДІБК),
E-mail – farenjuk@ndibk.gov.ua

Автор: ФІЛОНЕНКО Олена Іванівна
кандидат технічних наук, доцент
ORCIDID: 0000-0001-8571-9089
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
E-mail – olena.filonenko.pf@gmail.com

Автор: ТИМОФЄЄВ Микола Васильович
кандидат технічних наук, професор
ORCIDID: 0000-0001-9234-6567
Київський національний університет будівництва і архітектури
E-mail – tim-nics@yandex.ua

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ЭРГОНОМИКИ
ТЕПЛОВОЙ СРЕДЫ**Г.Г.Фаренюк¹, Е.И. Филоненко², Н.В. Тимофеев³¹Государственное предприятие "Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций" (ГП НИИСК), г. Киев, Украина²Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Украина³Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

Некомплексный подход проведения термомодернизации общественных зданий приводит к ухудшению показателей микроклимата помещений. Исследованы аспекты сертификации тепловой среды помещений, которая базируется на индексах теплового комфорта. Определена необходимость включения в энергетический сертификат здания информацию о внутренней среде здания, как один из параметров оценочного общей энергоэффективности.

Ключевые слова: эргономика, микроклимат помещения, тепловой комфорт.

**ENERGY PERFORMANCE OF PUBLIC BUILDINGS WITH REGARD TO THE THERMAL
ENVIRONMENT ERGONOMICS**G. Farenjuk¹, O. Filonenko², N. Tymofieiev³¹State enterprise "State scientific-research Institute of building constructions" (SESRIK), Kiev, Ukraine²Poltava national technical University named after Yuri Kondratyuk, Ukraine³Kyiv national University of construction and architecture, Ukraine

Energy consumption of buildings considerably depends on the premises' microclimate criteria. Non-integrated approach to the thermal modernization of public buildings leads to deterioration of the premises' microclimate. Temperature comfort is a state of being satisfied with the environment conditions. Human warm feeling is mainly connected with the body's heat balance as a whole.

Dependence of the heat balance upon the physical activity and clothes, as well as on the air temperature, mean irradiation temperature, movement velocity and air humidity is presented. At assessment or measurement of these factors it is possible to forecast the body's warm feeling as a whole by means of the mean assessment calculation. Aspects of the thermal environment certification of premises have been studied based on the thermal comfort indices PMV-PPD. The necessity to include information on the building's internal environment, as one of the parameters for assessing its overall energy performance, into the building's energy certificate has been determined.

While designing the technical characteristics of the building's thermal insulation sheeting elements, it is necessary to apply methods of forecasting the general warm feeling and the humans' discomfort degree (thermal dissatisfaction), subjected to the impact of moderate thermal environment.

.Keywords: ergonomics, indoor climate, thermal comfort.