

УДК 72.012

Болгарова Наталя Миколаївна*Кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій,
Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ*

bolgarova.nm@knuba.edu.ua

orcid.org/0000-0003-4274-7703

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОМФОРТУ В АРХІТЕКТУРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ: АНАЛІЗ ВПЛИВІВ І ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ

© Болгарова Н. М., 2026

<https://doi.org/10.32347/2519-8661.2026.35-36.197-205/>

У статті здійснено комплексний міждисциплінарний аналіз взаємозв'язку між енергоефективністю та багатовимірним комфортом у архітектурному середовищі. Дослідження охоплює фізичний комфорт із урахуванням сезонної специфіки (зимовий та літній періоди), а також психологічний, емоційний і соціальний виміри. Акцент зроблено на впливі ключових параметрів будівлі: теплоізоляції, герметичності оболонки, механічної вентиляції з рекуперацією, автоматизованого управління кліматом, інерційності конструкцій, пасивного сонячного опалення, систем сонцезахисту, енергоефективних вікон, відновлюваних джерел енергії, компактної форми будівлі, орієнтації приміщень та зонування за тепловими навантаженнями. Показано, що кожен із цих факторів може мати як позитивний, так і негативний вплив на якість середовища: наприклад, теплоізоляція та щільність оболонки підвищують ефективність у зимовий час, але можуть провокувати перегрів улітку, тоді як сонцезахист і адаптивне зонування виявляють універсальність для різних сезонів. Особливу увагу приділено проблемі «статичного» комфорту, який, за медичними дослідженнями, може негативно позначатися на імунній системі через відсутність природних коливань температури й свіжого повітря. У роботі обґрунтовано концепцію адаптивного підходу, що передбачає поєднання технологічних і природних рішень: комбінованих систем вентиляції, регульованого сонцезахисту, буферних просторів, гібридного зонування та використання екологічних матеріалів. Розроблено низку рекомендацій щодо подолання потенційних конфліктів між досягненням високої енергоефективності та збереженням динамічного комфорту, які спрямовані на формування сталого, здорового та гармонійного середовища. Такий підхід дозволяє не лише відповідати сучасним енергетичним стандартам, а й забезпечувати фізичне, психологічне та емоційне благополуччя користувачів у довгостроковій перспективі.

Ключові слова: енергоефективність; комфорт; архітектурне середовище; фізичний комфорт; психологічний комфорт; емоційний комфорт; соціальний комфорт; адаптивний підхід; сталий розвиток.

Постановка проблеми

В умовах глобальних викликів, пов'язаних із підвищенням енергоефективності будівель, актуальним завданням є пошук рішень, що одночасно забезпечують економію енергоресурсів і підтримку високого рівня комфортності середовища для користувачів. Однак у практиці проектування часто спостерігається дисбаланс між технічними показниками енергоефективності та суб'єктивними відчуттями мешканців. Технології, здатні зменшувати тепловтрати, знижувати енергоспоживання або

стабілізувати мікроклімат, іноді призводять до зниження якості життя через перегрів, відсутність природної вентиляції, обмеження зорового контакту з довкіллям чи втрату контролю над середовищем. Проблема ускладнюється тим, що вплив одних і тих самих рішень може відрізнятися залежно від сезону, регіональних кліматичних умов та індивідуальних потреб користувачів. Тому необхідне комплексне дослідження, яке дозволить систематизувати взаємозв'язки між параметрами енергоефективності та різними аспектами комфорту, враховуючи як зимові, так і літні умови експлуатації.

Аналіз літератури та сучасних підходів

Класичні підходи до теплового комфорту спираються на аналітичні моделі PMV/PPD, закладені в ISO 7730 та актуалізовані у версіях стандартів ASHRAE 55 (2023) і EN 16798-1 (2019). Вони задають діапазони параметрів середовища, що задовольняють «більшість» користувачів, а також процедури оцінювання для проектування та пост-фактум перевірки відповідності (post-occupancy). Офіційні описи цих документів підкреслюють багатофакторність теплового комфорту (метаболізм, одяг, температура повітря і променистих поверхонь, швидкість повітря, вологість) і вводять категорії якості середовища для цілей проектування та енергоаудиту [5-7].

Втім, численні емпіричні дослідження показали, що комфорт значною мірою залежить від контексту і попереднього «термічного досвіду» користувачів — тобто від їх здатності адаптуватися. Ключовий внесок тут зробили роботи Р. де Діра і Г. Брейгера: адаптивна гіпотеза стверджує, що очікування та переваги змінюються разом із зовнішнім кліматом і режимами користування, а тому оптимальний «внутрішній діапазон» не є фіксованим. Це стало підґрунтям для розробки адаптивних критеріїв комфорту у сучасних нормах і рекомендаціях, зокрема для природно вентиляованих будівель[4].

У ширшому міждисциплінарному контексті узагальнювальні огляди (Frontczak & Wargocki) показали, що «комфорт» — явище багатовимірне: тепловий, візуальний і акустичний компоненти та якість повітря формують інтегральне задоволення середовищем, а ваги цих компонентів коливаються залежно від сценарію діяльності та профілю користувача [8].

Посилення теплоізоляції та герметизації зменшує тепловтрати, проте у літній період (і в перехідні сезони) підвищує вразливість до перегріву без належного сонцезахисту, нічного охолодження й інерційності огорожувальних конструкцій. Практики Passivhaus і пов'язані з ними дослідження прямо фіксують цю дилему: щільна оболонка та високі внутрішні/сонячні теплопритоки без ефективного відведення призводять до частішого й тривалішого перевищення комфортних температур. Систематичні огляди останніх років і прикладні технічні записки профільних організацій (CIBSE TM52) пропонують формалізовані критерії виявлення перегріву (hours of exceedance, daily weighted exceedance, upper limit), якими дедалі ширше користуються в Європі [17-19].

Удосконалення герметичності підвищує енергоефективність, але робить середовище чутливішим до помилок вентиляції: якщо кратність повітрообміну недостатня або керування надто жорстке, нарастають концентрації CO₂ і ЛОС, що відчутно б'є по самопочуттю й працездатності. Метааналізи і керівництва REHVA/IEQ підтверджують: підвищення вентиляції (до ~25 л/с·особу для офісів) асоціюється зі зменшенням симптомів «sick building syndrome» та зростанням продуктивності. Експериментальні дослідження показали лінійно-негативний вплив навіть «типових» рівнів CO₂ на комплексні когнітивні показники [20-21].

При цьому поведінка користувачів (відкривання вікон, налаштування термостата/жалюзі) часто є сильним модератором якості середовища і енергоспоживання. Дослідження в офісних і навчальних просторах демонструють, що «сприйнятий контроль» над середовищем підвищує задоволеність і знижує ймовірність скарг — навіть за однакових фізичних параметрів. Це безпосередньо зникає адаптивний комфорт із дизайном інтерфейсів керування [22-23].

Денне світло — ресурс якості середовища і водночас джерело ризиків (блиск/перегрів). Європейський стандарт EN 17037 ввів комплексну оцінку: забезпеченість денним світлом, вид назовні, інсоляція і захист від блиску (з використанням Daylight Glare Probability). Нинішні огляди науковців додають вимір «циркадної ефективності» освітлення: регулярна стимуляція денним спектром вдень і

контроль синьої складової ввечері сприяють синхронізації біоритмів, сну та благополуччя — аспект, який не завжди вкладається у традиційну «люкс-метрику», але суттєво впливає на суб'єктивний комфорт [24-25].

Окремо варто підкреслити, що люди не еволюціонували в «стерильних» і сталих середовищах — наша фізіологія й імунна система налаштовані на помірну змінність умов. Це видно принаймні в трьох вимірах. По-перше, імунологічні теорії показують: недостатній контакт із зовнішніми мікроорганізмами й природними середовищами збіднює «тренування» імунорегуляції, підвищуючи схильність до алергій та запальних станів; емпірична база простягається від класичної роботи Страчана (1989) до сучасних оглядів Рука (2003–2023) [9,11].

По-друге, імунна активність має чітку сезонність: у великому мультикраїнному дослідженні показано, що експресія сотень імунних генів коливається протягом року, тобто організм «очікує» природні зміни середовища й підлаштовується до них [10].

По-третє, короткі епізоди помірного холодого впливу не лише загартовують терморегуляцію (через активацію бурої жирової тканини та метаболічні зсуви), а й здатні модулювати вегетативні та вроджені імунні відповіді.

На практиці це означає, що помірна варіативність мікроклімату (невеликі добові коливання температури, можливість вранці відкрити вікно і «вдихнути зиму») може бути корисною як частина людиноцентричних, «динамічних» стратегій комфорту — за умов належної якості повітря та безпеки. Тут важливу роль відіграє вентиляція: свіже зовнішнє повітря розводить аерозолі й CO₂ та знижує ризик респіраторних інфекцій, що підтверджено рекомендаціями ВООЗ і центрами громадського здоров'я [26].

Водночас крайнощів слід уникати (ризиків для чутливих груп, бронхоспазм від дуже холодного повітря, забрудненість назовні), тож проектні рішення мають забезпечувати керовану змінність: дозоване провітрювання, гнучкі пороги автоматизації, локальні зони мікроклімату та якісний фільтро-вентиляційний контур.

Мета і задачі публікації

Метою статті є здійснення комплексного аналізу взаємозв'язку між енергоефективністю та багатовимірним комфортом в архітектурному середовищі, виявлення потенційних конфліктів між досягненням високих енергетичних показників та збереженням фізичного, психологічного, емоційного і соціального комфорту користувачів, а також обґрунтування адаптивного підходу як основи для гармонізації цих цілей.

Для досягнення мети статті передбачено: проаналізувати наукові підходи до оцінки багатовимірного комфорту; дослідити вплив ключових параметрів будівлі (теплоізоляції, герметичності, вентиляції з рекуперацією, автоматизованого клімат-контролю, інерційності, сонцезахисту, пасивного сонячного опалення, енергоефективних вікон, відновлювальних джерел, форми, орієнтації та зонування) на фізичний, психологічний, емоційний і соціальний комфорт; визначити позитивні й негативні ефекти цих рішень у різні сезони; виявити конфлікти між енергоефективністю та динамічним комфортом; обґрунтувати адаптивний підхід і надати практичні рекомендації для оптимізації проектних рішень.

Основна частина

Аналіз літератури показав, що у сучасних проектних практиках енергоефективність і комфорт сприймаються як взаємопов'язані, але не завжди тотожні цілі. Запровадження тих чи інших технічних рішень може по-різному впливати на фізичний, психологічний, емоційний та соціальний комфорт користувачів. При цьому важливо враховувати сезонну специфіку, адже параметри, що забезпечують оптимальні умови взимку, іноді створюють дискомфорт у літній період, і навпаки. Для системного розуміння цих взаємозв'язків була сформована матриця впливів, у якій фізичний комфорт поділено на зимовий і літній, а також проаналізовано, як кожен із ключових параметрів енергоефективності відбивається на різних складових комфорту (табл.1).

Таблиця 1 - Матриця впливу параметрів енергоефективності на типи комфорту

Тип комфорту → Параметр будинку ↓	Фізичний (взимку)	Фізичний (влітку)	Психологіч ний	Емоційний	Соціальний
Теплоізоляція	+ Покращує збереження тепла	± Захищає від зовнішньої спеки, але може викликати перегрів	+ Відчуття стабільності	+ Емоційна безпека через стабільність	0
Герметичність оболонки	+ Знижує втрати тепла	- Перегрів та недостатня вентиляція	- Почуття замкненості	- Можливе відчуття тривоги через замкненість	- Обмежує природну комунікацію
Механічна вентиляція з рекуперацією	+ Стабільний тепловий комфорт	+ Зменшує перегрів	- Втрата контролю за природною вентиляцією	- Штучне повітря знижує емоційний стан	- Менше взаємодії з природою
Автоматизоване управління кліматом	+ Підтримка стабільних умов	+ Підтримка стабільних умов	± Комфорт при контролі	± Можливе напруження при відсутності контролю	0
Інерційність конструкцій	+ Стабільність температури	+ Захист від змін температур	+ Відчуття стабільності, безпеки	+ Почуття впорядкованості	0
Пасивне сонячне опалення	+ Додатковий обігрів	- Перегрів	± Природне тепло приємне, але дискомфорт можливий	- Може викликати втому	0
Сонцезахист	0	+ Захист від перегріву	+ Відчуття контролю	+ Гра світла й тіні, естетична привабливість	+ Комфортне спілкування
Вікна з високими показниками енергоефективності	+ Менше протягів і втрат тепла	+ Захист від сонця	± Позитивно за наявності можливості відкривати	+ Зв'язок з природою	0
Відновлювальні джерела енергії	0	0	+ Психологічна стабільність	+ Позитивні емоції через «чисту» енергію	0
Компактна форма будинку	+ Раціональне використання тепла	± Перегрів можливий	+ Простота форми, легкість орієнтації	+ Емоційна стабільність	± Вплив на спільні зони
Південна орієнтація кімнат	+ Пасивне нагрівання сонцем	- Перегрів	± Протиріччя очікувань	± Втома від надлишку сонця	± Вплив на спілкування
Зонування за тепловими навантаженнями	+ Адаптація до потреб різних зон	+ Адаптація до різних температур	+ Персональний контроль	+ Емоційна рівновага	+ Різноманіття соціальних сценаріїв

Умовні позначення:

«+» – позитивний вплив на комфорт; «±» – подвійний (змішаний) ефект, що залежить від умов;
«-» – негативний вплив; «0» – нейтральний або відсутній вплив.

Отримані результати свідчать, що більшість параметрів енергоефективності неоднаково впливають на фізичний комфорт у зимовий та літній періоди. Так, теплоізоляція, герметичність оболонки, інерційність конструкцій і автоматизоване управління кліматом однозначно позитивно впливають взимку, забезпечуючи стабільний тепловий режим, проте влітку їх дія може призводити до перегріву або потреби у додаткових системах охолодження. Натомість сонцезахист і адаптивне зонування приміщень демонструють універсальність, сприяючи комфорту в обидва сезони.

Психологічний комфорт найбільше вирає від рішень, що підсилюють відчуття контролю та стабільності (теплоізоляція, інерційність конструкцій, сонцезахист, зонування), тоді як надмірна герметичність або механічна вентиляція без можливості природного провітрювання можуть знижувати суб'єктивне сприйняття простору.

Емоційний комфорт тісно пов'язаний з естетичною складовою та відчуттям природності. Параметри, що створюють різноманітні світлові сценарії (сонцезахист, великі енергоефективні вікна), або забезпечують «чисту» енергію (відновлювані джерела), формують позитивний емоційний фон. Водночас надлишковий перегрів чи замкненість можуть викликати втому або тривожність.

Соціальний комфорт меншою мірою залежить від енергоефективних характеристик, проте зонування, сонцезахист і компактна форма будівлі можуть сприяти різноманітним сценаріям взаємодії між користувачами.

Таблиця 2 систематизує типові конфліктні ситуації та пропонує цільові рекомендації для їх подолання, спираючись на принципи динамічного комфорту, адаптивних моделей середовища та поєднання енергоефективних рішень із природними елементами дизайну.

Таблиця 2. Рекомендації щодо вирішення конфліктів між енергоефективністю та комфортом

Проблемна ситуація	Рекомендовані заходи для виправлення
Герметичність оболонки (відчуття замкненості, тривога, обмеження соціальної взаємодії)	Гібридна вентиляція (поєднання природної та механічної) Можливість ручного управління вентиляцією та відкривання вікон Використання сенсорів якості повітря з автоматичним регулюванням Використання вікон з регульованою щільною вентиляцією Введення “дихаючих” оздоблювальних матеріалів, що регулюють вологість
Механічна вентиляція з рекуперацією (штучність, втрата контролю над природним середовищем)	Впровадження систем вентиляції з можливістю індивідуального керування Поєднання з природною вентиляцією Регулярний доступ до природного повітря через відкривання вікон Використання енергозберігаючих провітрювачів з фільтрацією та підігрівом Створення “повітряних балконів” або лоджій для безпосереднього контакту з зовнішнім середовищем
Пасивне сонячне опалення і південна орієнтація кімнат (перегрів влітку, емоційний дискомфорт від надлишку сонця)	Регульовані системи сонцезахисту (автоматичні чи ручні) Затінюючі конструкції (жалюзі, ролети, перголи) Проектування зелених екранів та вертикального озеленення Наявність кімнат з іншою орієнтацією (північні або східні зони для літнього комфорту) Проектування буферних просторів (тераси, лоджії, веранди) Різнорівневе зонування приміщень з динамічним комфортом (можливість вибору зони залежно від сезону) Використання світловідбивних плівок на склі у літній період

<p>Автоматизоване управління кліматом (відсутність індивідуального контролю може створювати дискомфорт)</p>	<p>Системи клімат-контролю з персоналізованими налаштуваннями Інтуїтивно зрозумілі інтерфейси керування системами Можливість тимчасового переходу на ручне управління Сценарії “адаптивного комфорту”, що враховують звички та біоритми мешканців</p>
<p>Втрата зв'язку з природою через штучні матеріали й системи</p>	<p>Максимальне використання натуральних матеріалів (дерево, камінь, текстиль) Створення зон з природними елементами (кімнатні рослини, внутрішні сади, озеленені стіни) Інтеграція водних елементів (фонтани, акваріуми) Організація природного освітлення та доступу до виглядів назовні</p>
<p>Соціальна ізоляція через високий рівень герметичності й автоматизації</p>	<p>Проектування спільних соціальних зон (тераси, лаунжі, внутрішні дворики) Створення гнучких зон взаємодії з регульованим мікрокліматом Можливість спільного контролю параметрів середовища в групових просторах Використання прозорих або напівпрозорих перегородок для візуального контакту</p>
<p>Перегрів через компактну форму будинку</p>	<p>Оптимізація розміщення зон з різним тепловим навантаженням Використання систем ефективного затінення та теплоізоляції Планування вентиляційних каналів і продувних коридорів Розміщення літніх приміщень у більш прохолодних частинах будівлі</p>
<p>Недостатня різноманітність середовища (монотонність, сенсорне виснаження)</p>	<p>Різноманітність кольорових і фактурних рішень інтер'єру Використання елементів мистецтва, декоративних та арт-об'єктів Сенсорні зони відпочинку (музика, ароматерапія, тактильні поверхні) Використання змінних елементів декору, що відображають сезонні зміни</p>
<p>Динамічний комфорт (необхідність змінювати параметри простору відповідно до сезонних змін і особистих вподобань)</p>	<p>Гнучкі планування та модульні рішення, що дозволяють змінювати простір залежно від потреб Можливість регулювання кліматичних параметрів приміщень (температура, освітлення, вентиляція) Проектування зон різного призначення з різним мікрокліматом Використання сезонних елементів декору й мобільних меблів Створення умов для “контрольованих мікрокліматичних коливань” з користю для імунітету (наприклад, можливість провітрювання взимку для вдихання холодного повітря)</p>

Подані в таблиці рекомендації демонструють, що кожна потенційно проблемна ситуація, пов'язана з енергоефективними рішеннями, має декілька ефективних варіантів усунення або пом'якшення негативних наслідків. Ключовим принципом є поєднання технологічних та природних засобів забезпечення комфорту, а також надання користувачам можливості індивідуального контролю параметрів середовища. Такий підхід дозволяє не лише зберегти досягнуті показники енергоефективності, але й підвищити якість життя, створюючи адаптивне середовище, яке відповідає фізичним, психологічним та соціальним потребам людини.

Висновки

Дослідження показало, що взаємозв'язок між енергоефективністю та комфортом у архітектурному середовищі має комплексний і багатовимірний характер. Оптимізація окремих енергоефективних параметрів може призвести як до підвищення, так і до зниження рівня фізичного, психологічного, емоційного та соціального комфорту. Найбільш критичними виявилися фактори герметичності, пасивного сонячного опалення, механічної вентиляції та автоматизованого клімат-контролю, які у випадку невдалого проектування здатні створювати відчуття ізоляції, перегрів або втрату зв'язку з природою. Запропонований підхід до адаптивного комфорту дозволяє мінімізувати ці ризики шляхом впровадження гнучких просторових і інженерних рішень, що враховують сезонні зміни та індивідуальні вподобання користувачів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на:

- розробку математичних моделей прогнозування рівня комфорту при різних сценаріях енергоефективності;
- створення інтегрованих методик оцінки, що одночасно враховують енергетичні показники, комфорт і здоров'я;
- розширення рекомендацій з урахуванням різних кліматичних зон та типів будівель.

Таким чином, синергія енергоефективності та комфорту можлива лише за умови комплексного, міждисциплінарного підходу, який поєднує архітектурні, інженерні та медико-біологічні знання.

References

1. D Khovalyg, O. B. Kazanci, H. Halvorsen, I. Gundlach, W. P. Bahnfleth, J. Toftum, & B. W. Olesen. (2020). Critical review of standards for indoor thermal environment and air quality. *Energy and Buildings*, 213, Article 109819. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109819>
2. Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00068-8)
3. Lamsal, P. (2023). A review on adaptive thermal comfort of office buildings. *Energies*, 16(3), 1524. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16031524>
4. de Dear, R. J. (2020). A review of adaptive thermal comfort research since 1998. *Building and Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106612>
5. ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
6. ASHRAE 55–2023. (2023). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE.
7. EN 16798-1. (2019). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings — Part 1: Indoor environmental quality.
8. Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort. *Building and Environment*, 46(4), 922–937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.0>
9. Strachan, D. P. (1989). Hay fever, hygiene, and household size. *British Medical Journal*, 299(6710), 1259–1260. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.299.6710.1259>
10. Dopico, X. C., Evangelou, M., Ferreira, R. C., Guo, H., Pekalski, M. L., Smyth, D. J., ... Todd, J. A. (2015). Widespread seasonal gene expression reveals annual differences in human immunity and physiology. *Nature Communications*, 6, Article 7000. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms8000>
11. Rook, G. A. W. (1998). 99th Dahlem conference on infection, inflammation and chronic inflammatory disorders: Darwinian medicine and the 'hygiene' or 'old friends' hypothesis. *Clinical and Experimental Immunology*, 160(1), 70–69. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2249.2010.04133.x>

12. Goldinger, A., Lange, J., et al. (2015). Seasonal variation in immune components. *PLoS Biology*.
13. Wüchner, V., Sodaei, R., et al. (2023). Seasonal variation in gene expression across tissues. *PLOS Biology*, 21(2), e3001986. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001986>
14. Fan, M. (2022). A review of different ventilation modes on thermal comfort. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19074257>
15. Merabet, G. H., Essaaidi, M., Ben Haddou, M., Qolomany, B., Qadir, J., Anan, M., ... Benhaddou, D. (2021). Intelligent Building Control Systems for Thermal Comfort and Energy Efficiency [Preprint]. arXiv. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.02214>
16. Ju, Y., Ju, X., Zhang, H., Cao, B., & Liu, B. (2022). Personalized local heating neutralizing individual, spatial and temporal thermo-physiological variances in extreme cold environments [Preprint]. arXiv. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.05439>
17. Farrokhirad, E., Gao, Y., Pitts, A., & Chen, G. (2024). A systematic review on the risk of overheating in passive houses. *Buildings*, 14(8), 2501. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14082501>
18. Nicol, J. F., & others. (2013). CIBSE TM52: The limits of thermal comfort: avoiding overheating in European buildings. London, UK: Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). DOI: <https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/tm52-the-limits-of-thermal-comfort-avoiding-overheating-in-european-buildings>
19. DesignBuilder. (n.d.). CIBSE TM52 overheating assessments. DesignBuilder Help. Retrieved from <https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/CIBSETM52.htm>
20. Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P. O., Gyntelberg, F., Hanssen, S. O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O., & Wouters, P. (2002). Ventilation and health in non-industrial indoor environments: Report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN). *Indoor Air*, 12(2), 113–128. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2002.01145.x>
21. Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 805–812. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>
22. Gu, X., Zhang, S., Cao, B., Luo, M., You, S., & Lin, B. (2021). A field investigation on factors affecting manual window-opening behavior in an office building in China. *Building and Environment*, 205, 108245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108245>
23. Lolli, N., Nocente, A., & Grynning, S. (2020). Perceived Control in an Office Test Cell, a Case Study. *Buildings*, 10(5), 82. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings10050082>
24. Stefani, O., Schöllhorn, I., & Münch, M. (2024). Towards an evidence-based integrative lighting score: A proposed multi-level approach. *Annals of Medicine*, 56(1), 2381220. DOI: <https://doi.org/10.1080/07853890.2024.2381220>
25. DIN (Deutsches Institut für Normung). (2019). DIN EN 17037:2018 – Daylight in buildings.
26. World Health Organization. (2021, December 23). Coronavirus disease (COVID-19): Ventilation and air conditioning. Questions and Answers. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-ventilation-and-air-conditioning>

Bolharova Natalia

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Architectural Structures,

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

bolgarova.nm@knuba.edu.ua

orcid.org/0000-0003-4274-7703

INTERRELATIONSHIP BETWEEN ENERGY EFFICIENCY AND COMFORT IN THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT: ANALYSIS OF IMPACTS AND WAYS OF OPTIMIZATION

© 2025 Болгарова Н.М.

Abstract. The article presents a comprehensive interdisciplinary analysis of the interrelation between energy efficiency and multidimensional comfort in the architectural environment. The study covers physical comfort, considering seasonal specifics (winter and summer periods), as well as psychological, emotional, and social dimensions. The focus is placed on the impact of key building parameters: thermal insulation, envelope airtightness, mechanical ventilation with heat recovery, automated climate control, structural thermal mass, passive solar heating, solar shading systems, energy-efficient windows, renewable energy sources, compact building form, room orientation, and zoning by thermal loads. It is shown that each of these factors can have both positive and negative effects on environmental quality: for example, insulation and airtightness improve efficiency in winter but may cause overheating in summer, while solar shading and adaptive zoning demonstrate universality across different seasons. Particular attention is paid to the problem of “static” comfort, which, according to medical research, may adversely affect the immune system due to the absence of natural temperature fluctuations and fresh air. The paper substantiates the concept of an adaptive approach, which combines technological and natural solutions: hybrid ventilation systems, adjustable solar shading, buffer spaces, hybrid zoning, and the use of ecological materials. A set of recommendations is developed to overcome potential conflicts between achieving high energy efficiency and maintaining dynamic comfort, aimed at creating a sustainable, healthy, and harmonious environment. This approach makes it possible not only to meet modern energy standards but also to ensure the physical, psychological, and emotional well-being of users in the long term.

Keywords: energy efficiency; comfort; architectural environment; physical comfort; psychological comfort; emotional comfort; social comfort; adaptive approach; sustainable development.