

АРХІТЕКТУРА БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.74.304-318>

УДК 72.011.27

Болгарова Наталя Миколаївна,

кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій

Київського національного університету будівництва і архітектури

bolgarova.nm@knuba.edu.ua

<http://orcid.org/0000-0003-4274-7703>

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО КОМФОРТУ: ВПЛИВ ЗМІННОГО СЕРЕДОВИЩА НА ФІЗИЧНЕ, ПСИХОЛОГІЧНЕ, СОЦІАЛЬНЕ ТА ЕМОЦІЙНЕ ЗДОРОВ'Я

Анотація: стаття присвячена аналізу адаптивності архітектурного середовища як ключового чинника формування фізичного, психологічного, соціального та емоційного комфорту користувачів. На основі сучасних досліджень у сфері архітектури, ергономіки, психології та гігієни розглянуто обмеження статичних підходів до проєктування та переваги впровадження динамічних рішень, здатних реагувати на змінні потреби людини та коливання зовнішніх умов. Показано, що варіативність мікроклімату — помірний рух повітря, локальні зони прохолоди, зміни температури протягом дня — сприяє підтриманню тону організму, збереженню терморегуляційних механізмів та імунної стійкості. Розкрито значення персоналізованого контролю над середовищем, гнучкого просторового зонування, інтеграції біометричних та сенсорних технологій у системи управління комфортом. Наведено узагальнену класифікацію типів комфорту та практичні адаптивні рішення для кожного з них, а також виявлено проблемні зони сучасної архітектурної практики — від відставання нормативної бази до фрагментації міждисциплінарних знань. Запропоновано системний підхід, у якому архітектурне середовище розглядається як інтерактивна, змінна система, що синхронізується з природними та соціальними ритмами. Отримані результати можуть бути використані при розробці стандартів динамічного комфорту, у міському та інтер'єрному проєктуванні, а також для створення інноваційних інженерних систем, спрямованих на підвищення якості життя користувачів.

Ключові слова: адаптивність середовища; комфорт; архітектурна ергономіка; динамічний мікроклімат; персоналізація; соціальна взаємодія; емоційний дизайн.

Постановка проблеми. У сучасному розумінні комфорт — це не статична «ідеальна температура» чи «правильний рівень освітленості», а багатофакторна, змінна система, що постійно перебуває у взаємодії з фізіологічними, психологічними, соціальними та емоційними потребами людини. Він формується під впливом численних змінних: від часу доби та сезону до індивідуальної чутливості до світла, температури, шуму чи щільності соціальних контактів. Наукові дослідження останніх десятиліть однозначно підтверджують: фіксовані параметри середовища, навіть якщо вони відповідають стандартам, не гарантують стабільного комфорту для більшості користувачів у довгостроковій перспективі.

Адаптивне середовище, здатне змінювати мікрокліматичні та просторові характеристики у відповідь на зміну зовнішніх умов та внутрішніх потреб користувачів, забезпечує більш стійке відчуття благополуччя. Воно підтримує ефективну роботу терморегуляційних механізмів організму, знижує ризик теплового та психологічного стресу, підвищує концентрацію і сприяє кращій соціальній інтеграції. У цьому контексті особливого значення набувають міжнародні стандарти, зокрема ASHRAE 55 з адаптивним підходом до теплового комфорту, ISO 7730, а також концепції WELL та LEED, що прямо визнають значення гнучкості та персоналізації середовища.

У межах цієї статті наведено узагальнення провідних досліджень і прикладів архітектурних рішень, які демонструють, як інтеграція інтелектуальних матеріалів, сенсорних технологій та модульних конструкцій у будівлях може створити простори, що «відгукуються» на ритми життя мешканців[10]. Окремо розглянуто психологічний ефект відчуття контролю над середовищем, соціальні переваги гнучкого планування та емоційний вплив світлових сценаріїв і естетичної динаміки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У класичному огляді [12] систематизовано знання про термальну адаптацію в архітектурному середовищі, зокрема дослідження адаптаційних механізмів як фізичного, так і поведінкового характеру. Автор підкреслює, що люди демонструють значну здатність адаптуватися до різних теплових умов через поведінкові стратегії (регулювання одягу, активність, використання природного вентиляційного потоку) і фізіологічну акліматизацію (змінення терморегуляції, індивідуальних уподобань). Автор також порівнює адаптивні моделі з класичними тепловими моделями (наприклад, PMV), доводячи, що адаптивність інтегрується у такі стандарти, як ASHRAE, ISO та EN, і значно розширює межі прийнятного діапазону комфортної температури залежно від контексту. Таким чином, цей огляд є важливою основою для розуміння, як архітектурне середовище може

бути проєктоване з урахуванням здатності людини адаптуватися до змін мікроклімату — від фізіологічних реакцій до поведінкових маневрів.

Метою публікації обґрунтування необхідності впровадження адаптивного підходу в архітектурне проєктування для забезпечення комплексного фізичного, психологічного, соціального та емоційного комфорту користувачів. У роботі ставиться завдання систематизувати результати сучасних міжнародних досліджень, проаналізувати проблемні зони чинних проєктних практик і нормативів та запропонувати практичні рішення, здатні підвищити гнучкість і чутливість архітектурного середовища до змінних потреб людини.

Основна частина.

1. Фізичний комфорт

Дослідження [1] виявило, що мікроциркуляція повітря (0,5–2 м/с) не лише сприяє відчуттю свіжості, а й знижує тепловий стрес і покращує кардіо-респіраторні показники. Автори підкреслюють: статичне повітря, навіть при оптимальній температурі, може бути психологічно некомфортним і фізіологічно неефективним.

Окремо сучасні роботи відзначають значення варіативності мікроклімату — помірного руху повітря, локальних зон прохолоди, змін температури протягом дня. Людський організм еволюціонував у середовищі з природними коливаннями температури, вологості та швидкості руху повітря. Постійне перебування у стабільних умовах (наприклад, 22 °С без повітряного руху) знижує активність терморегуляційних механізмів: серцево-судинної системи, периферичного кровообігу, потовиділення. Це явище, відоме як гіпоадаптація, робить організм більш вразливим до перепадів температури й знижує імунну стійкість.

У дослідженні [11] доведено, як динамічні (непостійні) температурні умови у приміщенні сприяють адаптації людини до змін середовища. Експерименти показали, що тимчасові теплові стимули мають накопичувальний ефект: як фізіологічні, так і психологічні відповіді організму поліпшуються при циклічних коливаннях температури, порівняно зі стабільними умовами. Це означає, що адаптаційні процеси — як-от механізми терморегуляції — активуються ефективніше в умовах мінливої атмосфери, що має важливі наслідки для формування комфортного та енергоефективного середовища.

Сучасні дослідження у сфері гігієни та медицини переконливо свідчать, що стабільний, незмінний температурний режим у приміщеннях не завжди є оптимальним для здоров'я. Так, у роботі [14] показано, що періодичне перебування у середовищі з температурою трохи нижчою або вищою за звичні 21–22 °С сприяє активації обміну речовин, підвищує чутливість до інсуліну та покращує метаболізм глюкози. Ці ефекти розглядаються як профілактичні щодо

розвитку метаболічного синдрому та пов'язаних з ним серцево-судинних захворювань. Дослідники підкреслюють, що короткочасні відхилення від «зони комфорту» є своєрідним «тренуванням» для організму, допомагаючи йому залишатися в тонусі.

Робота [15] поглиблює це розуміння, звертаючи увагу на негативний вплив тривалого перебування в умовах термонеутральності — коли температура і вологість залишаються стабільними та оптимальними з точки зору енергозатрат. Автори зазначають, що така стабільність може знижувати функціональність імунної системи, погіршувати перебіг серцево-судинних і аутоімунних захворювань, а також впливати на склад кишкового мікробіому. Навпаки, помірна варіабельність температури підтримує адаптивність організму, стимулює роботу терморегуляційних механізмів і створює більш здорове імунне середовище.

У ґрунтовному огляді [13] аналізується вплив температурних коливань на імунну відповідь. Автори наводять дані, що навіть незначні зміни температури можуть активувати тепловий шоківий відгук (heat shock response), стимулювати певні субпопуляції імунних клітин та створювати несприятливі умови для виживання патогенів. Огляд підкреслює, що температурна неоднорідність не лише сприяє активації захисних механізмів, але й може бути важливим інструментом профілактики захворювань у закритих приміщеннях, зокрема у робочих і житлових будівлях.

Не менш важливим є фактор вологості, який тісно пов'язаний із температурою. У статті [16] доведено, що контроль за рівнем вологості та температури у приміщенні може істотно знизити ризик респіраторних інфекцій та шкірних захворювань. Оптимальні умови вологості підтримують захисні функції слизових оболонок, зменшують швидкість поширення вірусів у повітрі та покращують загальний стан імунної системи. Таким чином, поєднання температурної варіабельності з належним регулюванням вологості є ключовим чинником формування здорового внутрішнього мікроклімату.

Систематичний огляд [2], що охоплює понад 100 публікацій, підтверджує: низький рівень вентиляції (<0,5 крат/год) пов'язаний із зростанням ризиків астми, алергій, головного болю, втоми та інфекційних захворювань. Навпаки, нормальна вентиляція (0,5–1,0 крат/год) значно знижує ці ризики. При цьому у приміщеннях з механічною вентиляцією, але без можливості природного провітрювання, частіше фіксуються симптоми «синдрому хворої будівлі» (Sick Building Syndrome).

Таким чином, не просто «достатній» рівень вентиляції, а можливість змінювати повітряні умови є ключовим чинником збереження здоров'я та підтримки фізичного тонусу. Замість закритих систем з фіксованими

параметрами рекомендовані гібридні рішення: механічна + природна вентиляція, автоматичне провітрювання та відкриття вікон за сигналами CO₂. Цей підхід повністю відповідає новому адаптивному стандарту комфорту (Adaptive Comfort Standard, ACS), запропонованому у змінах до ASHRAE 55 [3], який визнає, що зовнішні погодні умови, поведінка користувача та індивідуальні вподобання мають бути враховані. Люди здатні адаптуватися до ширшого діапазону температур, якщо мають контроль над середовищем — наприклад, можуть відкрити вікно, увімкнути локальне охолодження або зняти зайвий одяг.

2. Психологічний комфорт

Психологічний комфорт формується не лише за рахунок фізичних параметрів середовища, а й через відчуття контролю та автономії, які воно надає користувачеві. У дослідженні [4] було вивчено вплив персонального контролю над мікрокліматом (температура, освітлення, вентиляція) на психологічний стан, рівень стресу, концентрацію та емоційне ставлення до робочих і навчальних просторів. Результати показали, що можливість регулювати параметри середовища навіть у межах невеликих відхилень значно підвищує загальний рівень комфорту та знижує рівень психоемоційного виснаження.

Ці висновки підтверджуються даними [5], згідно з якими персоналізовані системи керування температурою, освітленням і вентиляцією позитивно впливають на когнітивну ефективність: користувачі швидше виконують завдання, рідше роблять помилки та довше зберігають концентрацію уваги. Це пояснюється зменшенням когнітивного навантаження — коли людина не витрачає внутрішні ресурси на адаптацію до незручних умов, її психічна енергія спрямовується на основну діяльність.

Особливо важливим є ефект “потенційного контролю”: навіть якщо користувач фактично не змінював налаштувань середовища, сам факт можливості це зробити знижував рівень стресу та підвищував задоволеність. Це явище пояснюється теорією самовизначення, де автономія розглядається як базова психологічна потреба поряд із компетентністю та соціальною взаємодією.

Дослідження в сфері нейроархітектури показують, що фіксовані та одноманітні простори з часом викликають сенсорну монотонність, що знижує мотивацію та емоційний тонус. Натомість динамічні, змінні середовища, які реагують на присутність і дії користувача, стимулюють дофамінову систему мозку, пов'язану з відчуттям новизни та винагороди. Наприклад, адаптивне освітлення, що змінює колірну температуру й інтенсивність відповідно до часу доби або завдань, може водночас підтримувати циркадні ритми та створювати психологічний комфорт.

Важливо, що психологічний комфорт тісно взаємодіє з фізичним: якщо користувач відчуває, що він може вплинути на мікроклімат чи конфігурацію

простору, навіть невеликі фізичні відхилення (наприклад, легка прохолода чи підвищена яскравість) сприймаються значно менш дратівливо. Це підтверджує тезу про те, що адаптивність і персоналізація середовища є критичними чинниками не лише для комфорту, але й для продуктивності та психічного здоров'я.

3. Соціальний комфорт

Соціальний комфорт у архітектурному середовищі — це здатність простору підтримувати оптимальний баланс між приватністю та взаємодією, відповідати соціальним ритмам і динаміці групової поведінки. У дослідженні [6] представлено концепцію «ритмічної архітектури», яка не лише реагує на одномоментні зміни, а й враховує циклічність: добові, сезонні, соціальні та поведінкові патерни. Такий підхід дозволяє середовищу “жити” у такт із користувачами, змінюючи освітлення, акустику, температуру чи конфігурацію простору відповідно до етапів активності або відпочинку спільноти.

У дослідженні [7] запропоновано модель використання мультимодальних сенсорів, які вимірюють комфортну міжособистісну дистанцію, поєднуючи дані відстеження погляду, пози тіла та фізіологічних реакцій (зміни пульсу, електропровідності шкіри). Такі системи можуть автоматично регулювати просторові параметри — від розташування меблів до прозорості перегородок — для запобігання перевантаженню соціальними контактами або, навпаки, стимулювання комунікації.

Важливим аспектом соціального комфорту є адаптивність рівнів приватності. Архітектурні рішення, що дозволяють швидко створити ізольований простір (мобільні перегородки, трансформовані меблі, акустичні капсули), допомагають уникнути перевтоми від постійної взаємодії. З іншого боку, спільні простори, які легко розширити для групових заходів, сприяють формуванню почуття єдності та довіри.

Дослідження у сфері нейропсихології середовища показують, що постійно одноманітне соціальне оточення може викликати сенсорну втому, знижувати мотивацію до спілкування і навіть провокувати відчуття ізоляції. Адаптивні простори, які змінюють свою конфігурацію та атмосферу, підтримують психосоціальну динаміку, зменшують рівень стресу та підсилюють емоційний зв'язок між користувачами.

Таким чином, соціальний комфорт вимагає не тільки зручних місць для зустрічей, а й архітектурної гнучкості, здатної реагувати на соціальні ритми та різні сценарії взаємодії. Це особливо актуально в епоху гібридних форматів роботи та навчання, коли простори мають легко трансформуватися з публічних у приватні й навпаки.

4. Емоційний комфорт

Емоційний комфорт у просторі формується через сенсорну взаємодію з ним — світло, кольори, текстури, звуки, запахи та навіть відчуття повітряного руху. Дослідження [8] підтверджує, що негативне сприйняття житлового середовища (тіснота, темрява, зношеність, відсутність можливості провітрювання або змінювати освітлення) корелює з підвищеним ризиком депресивних симптомів, особливо у літніх людей. Водночас адаптивність простору — можливість регулювати світло, переставляти меблі, змінювати колірні акценти чи ступінь відкритості — сприяє збереженню відчуття контролю, що безпосередньо знижує психологічну вразливість.

Сучасні дослідження у сфері психології світлового простору показують, що динамічне світлове середовище може змінювати настрій і навіть впливати на рівень креативності. Цей ефект безпосередньо пов'язаний із підтриманням циркадних ритмів — внутрішніх біологічних циклів організму тривалістю 24 години, що регулюють сон, рівень гормонів, температуру тіла та когнітивну активність. Дослідження показують, що експозиція до холодного, насиченого синім спектром світла вранці стимулює секрецію кортизолу та підвищує пильність, тоді як тепле світло ввечері пригнічує синтез кортизолу і підтримує вироблення мелатоніну, готуючи організм до відпочинку [17]. Статичне, незмінне світло, яке не враховує цих природних коливань, швидко викликає візуальну втоми, знижує мотивацію та порушує сонно-бдільні цикли, що в перспективі може призводити до хронічної втоми та зниження когнітивної ефективності.

Дослідження [9] про адаптивні фасади показало, що світлотіньова динаміка, яка змінюється залежно від погоди, часу доби й сонячного руху, формує емоційний зв'язок користувача з простором, викликаючи відчуття спокою, натхнення або легкого збудження. Цей ефект пов'язаний із феноменом *biophilic response* — природна реакція людини на елементи, що імітують природні цикли (рух тіней від листя, зміна кольору неба тощо).

Важливо, що емоційний комфорт не зводиться лише до відсутності негативних відчуттів — він передбачає наявність естетичної динаміки. Простір, який змінюється, надає користувачеві постійні сенсорні стимули, підтримує цікавість і допомагає уникнути стану “сенсорної депривації”. Це особливо актуально для середовищ, у яких люди проводять багато часу — житлових комплексів, офісів, освітніх установ.

З точки зору нейроархітектури, адаптивне середовище діє як емоційний модератор: воно може підтримувати стабільний настрій у стресові періоди та, навпаки, стимулювати активність у моменти зниження енергії. Для цього

використовуються змінні світлові сцени, цифровий або фізичний декор, ароматичні дифузори з автоматичною зміною ароматів залежно від часу доби.

Таким чином, емоційний комфорт — це результат не технічної стабільності, а сенсорної динаміки, яка відгукується на зміни у природі та людині. Адаптивні рішення в освітленні, оформленні інтер'єру та організації фасадів здатні підтримувати емоційне благополуччя на рівні з фізичними та психологічними параметрами.

Таблиця 1 синтезує результати провідних наукових досліджень, що демонструють: адаптивність — ключова умова створення дійсно комфортного середовища. Кожен вид комфорту пов'язаний із динамічними людськими потребами, які змінюються в часі, з контекстом, віком, соціальними ролями тощо. Практичні рішення базуються на сучасних технологіях: від механічних до цифрових, від сенсорних систем до естетичного дизайну. Такий підхід дозволяє архітектурі стати живим партнером, що реагує на людину, а не диктує їй умови.

Таблиця 1. Адаптивність і типи комфорту в архітектурному середовищі

Вид комфорту	Потреби в адаптації	Наслідки статичності	Практичні адаптивні рішення
Фізичний	-Змінність температури протягом дня/сезону - Рух повітря - Освітлення, що відповідає циркадним ритмам - Звукова гнучкість (зниження шуму або його варіативність) - Можливість створювати мікрозони з різними мікрокліматами	- Тепловий дискомфорт, перегрів або переохолодження - Психофізіологічні втоми та зниження імунітету (<i>гіпоадаптація</i>) - Сенсорне перенасичення або ізоляція	- Адаптивні фасади та жалюзі - Природна вентиляція, можливість відкриття вікон - Гібридні системи (механічна + природна вентиляція) - Динамічне освітлення за циркадними алгоритмами - Локальне охолодження/обігрів - Акустичні мобільні перегородки
Психологічний	-Відчуття контролю над простором - Персоналізація - Зрозумілість і гнучкість просторових меж	- Відчуття безсилля і втрати контролю - Зниження концентрації, уваги, швидкості мислення - Психоемоційне виснаження - Зростання стресу через неможливість змінити умови	- Персональні регулятори мікроклімату (локальні панелі, мобільні додатки) - Гнучке планування з можливістю швидкої трансформації - Адаптивні алгоритми керування вікнами/дверима/шторами - Інтерактивні інтерфейси для користувачів - Зонування за типами активності

Соціальний	- Можливість вибору між ізоляцією та взаємодією - Контроль соціальної дистанції - Спільні простори, що змінюються	- Соціальна втома, конфлікти - Перевантаження або, навпаки, дефіцит комунікації - Втрата почуття спільноти - Психологічна ізоляція в однотипному середовищі	- Гнучке зонування: мобільні стіни, трансформовані меблі - Простори з настроюваними рівнями приватності (прозорість перегородок, акустичні капсули) - Роботизовані перегородки та меблеві системи - Сенсори міжособистісної дистанції для регулювання щільності - Мультимодальні системи керування соціальним сценарієм
Емоційний	- Змінність атмосфери (світло, кольори, текстури, запахи) - Естетичні стимули, що змінюються з часом - Підтримка ритмів активності/відпочинку - Елементи біофільного дизайну (зв'язок з природою)	- Монотонність, сенсорна депривація, апатія - Підвищення рівня стресу - Зниження креативності - Втрата емоційного зв'язку з простором	- Ритмічні будівлі, що змінюються з часом - Інтерактивне середовище з цифровим декором - Світлові сцени за настроєм / часом доби - Адаптивне оформлення інтер'єру (змінні панелі, тканини) - Сценарії світла і тіні з адаптивних фасадів - Ароматичні дифузори з автоматичною зміною ароматів

Аналіз наукових досліджень та практичних кейсів показує, що, попри наявність технологічних рішень і міжнародних стандартів адаптивного комфорту, їхнє впровадження у реальних проєктах залишається фрагментарним. Наявні підходи здебільшого орієнтовані на підтримку стабільних параметрів середовища, що суперечить ідеї адаптивності як постійної взаємодії простору з користувачем. Нижче наведено основні проблемні зони сучасних підходів проєктування з точки зору адаптивності (таблиця 2.)

Додаткові системні недоліки (актуальні для всіх типів комфорту):

- 1) Фрагментація знань — відсутність міждисциплінарної співпраці між архітекторами, інженерами, психологами, соціологами та фахівцями з ІТ.
- 2) Відставання нормативної бази — чинні норми та стандарти переважно орієнтовані на статичні параметри, що ускладнює впровадження адаптивних систем.
- 3) Недоступність технологій — інтелектуальні фасади, сенсорні мережі та динамічне освітлення залишаються дорогими для масового житла.

4) Слабка інтеграція даних — зібрана аналітика про поведінку користувачів часто не використовується для оптимізації середовища в реальному часі.

Таблиця 2. Проблемні зони сучасних підходів проектування з точки зору адаптивності

Тип комфорту	Проблемні зони
Фізичний	– Стандарти, орієнтовані на “середню норму” — більшість будівельних норм досі ґрунтуються на сталих параметрах, наприклад, 22 °С як “ідеальна температура” для всіх умов. Такий підхід ігнорує індивідуальні відмінності, сезонні коливання та культурні особливості. – Відсутність гнучких будівельних нормативів для мікроклімату – Низька адаптивність у багатоповерховому житлі – Відставання нормативів — у більшості країн не розроблені офіційні критерії динамічного комфорту, хоча концепція Adaptive Comfort вже визнана ASHRAE, ISO та WELL.
Психологічний	– Ігнорування поведінкових моделей користувачів — архітектурне середовище часто не враховує реакцію на стрес, втому чи зміни емоційного стану. – Архітектура залишається «німою» до поведінкових моделей (архітектурне середовище часто не враховує реакцію на стрес, втому чи зміни емоційного стану) – Відсутність взаємодії середовища з біометрією користувача – Недостатня увага до перехідних станів — більшість рішень орієнтована або на робочий, або на відпочинковий режим, але не враховує проміжні стани (наприклад, поступовий перехід від активної діяльності до релаксації).
Емоційний	– Емоційна реакція залишається суб'єктивною і слабо вимірюваною – Стандартний “універсальний” дизайн — домінування мінімалізму як нібито універсально комфортного стилю призводить до сенсорної монотонності. – Дизайн не враховує культурні та особистісні різниці – Відсутність інтеграції естетичних стратегій з адаптивними системами — світло, колір, текстури рідко синхронізовані з динамікою природних ритмів чи даними від сенсорів.
Соціальний	– Житло часто не дозволяє змінювати просторову конфігурацію – В архітектурі ігнорується роль мікросоціальних сценаріїв (типові проекти не передбачають регулювання інтенсивності взаємодії, що призводить до “соціального вигорання” у відкритих офісах або гуртожитках). – Недостатньо рішень для багатокористувацького середовища (автоматичні перегородки, акустичні капсули, системи керування приватністю досі залишаються рідкістю через високу вартість або відсутність уніфікованих стандартів). – Типові проекти не дають можливості обирати рівень соціальної взаємодії

Проблеми, виявлені у сучасній практиці проектування, свідчать, що бар'єрами для впровадження адаптивних рішень є не лише вартість технологій,

а й інерційність нормативної бази, відсутність міждисциплінарної взаємодії та слабка інтеграція даних у реальному часі. Без оновлення стандартів і комплексної співпраці архітекторів, інженерів, психологів, соціологів та ІТ-фахівців, адаптивність залишатиметься точковою функцією окремих інноваційних об'єктів, а не масовим підходом до формування середовища, яке змінюється синхронно з потребами людини.

Висновки. Проведений теоретико-методологічний аналіз показав, що адаптивність архітектурного середовища є ключовою умовою досягнення багатовимірного комфорту — фізичного, психологічного, соціального та емоційного. Сучасні дослідження у галузях архітектури, гігієни та нейропсихології підтверджують: статичні, уніфіковані параметри середовища не відповідають еволюційно сформованим механізмам людської адаптації. Відсутність варіативності мікроклімату, світлових та акустичних характеристик знижує тонус організму, погіршує емоційний стан та підвищує ризик соціального вигорання.

Порівняльний аналіз нормативної бази та практичних рішень виявив системну проблему — домінування підходу «середньої норми», який не враховує індивідуальні відмінності та змінність потреб протягом дня, сезону чи життєвого циклу користувача. Впровадження адаптивних технологій здебільшого має точковий характер і обмежується окремими інноваційними об'єктами, що зумовлено як високою вартістю рішень, так і інерційністю проєктних та нормативних підходів.

Застосування концепції динамічного комфорту відкриває широкі можливості для створення середовищ, які змінюються разом із людиною, підтримуючи її фізичне здоров'я, психічне благополуччя та соціальну активність. При цьому важливо поєднувати інженерні рішення (інтелектуальні фасади, динамічне освітлення, персоналізоване керування мікрокліматом) з глибоким розумінням поведінкових моделей і сенсорної чутливості користувачів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на емпіричну перевірку впливу адаптивних архітектурних рішень на фізичне здоров'я, імунітет, когнітивну продуктивність та емоційний стан користувачів у реальних умовах експлуатації; розробку оновлених стандартів, що враховують варіативність параметрів комфорту; створення міждисциплінарних моделей проєктування, які інтегрують архітектурні, інженерні, психологічні та соціальні аспекти; а також пошук економічно доступних технологій, які дозволять масштабувати адаптивні рішення для масового будівництва без суттєвого підвищення вартості проєктів.

Список літератури

1. Arsad F. S., Hod R., Ahmad N., Baharom M., Ja'afar M. H. Assessment of indoor thermal comfort temperature and related behavioural adaptations: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. P. 73137–73149. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27089-9>
2. Raju S., Siddharthan T., McCormack M. C. Indoor air pollution and respiratory health. *Clinics in Chest Medicine*. 2020. Vol. 41, Iss. 4. P. 825–843. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2020.08.014>
3. ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2023. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy> (дата звернення: 10.08.2025).
4. Durand F., Bonnefoy B., Marchand D., Meyer T. Psychological antecedents of the intention to open the windows at home and exposure to a ventilation recommendation. *Frontiers in Psychology*. 2022. Vol. 13. Article 872626. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.872626>
5. Zierke O., Goerke P., Maier J., Hoermann H.-J. Influence of personal control on thermal comfort: A psychological effect or just the “right” temperature? *Energy and Buildings*. 2023. Vol. 295. Article 113334. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113334>
6. van Ellen L. A., Bridgens B. N., Burford N., Heidrich O. Rhythmic buildings – a framework for sustainable adaptable architecture. *Building and Environment*. 2021. Vol. 203. Article 108068. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108068>
7. Watanabe K., Förster N., Ishimaru S. SensPS: Sensing personal space comfortable distance between human–human using multimodal sensors. In: Harris D., Li W. C. (eds). *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. HCII 2025. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 15776. Cham: Springer, 2025. P. 257–270. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-93718-7_17
8. Chen Y., Cui P. Y., Pan Y. Y., Li Y. X., Waili N., Li Y. Association between housing environment and depressive symptoms among older people: a multidimensional assessment. *BMC Geriatrics*. 2021. Vol. 21. Article 259. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02207-9>
9. Beatini V., Pantilimonescu F., Djebbari Z., Driscu M.-C. Adaptive facades for emotionally enriching indoor environments. *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 98. Article 111472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111472>
10. Dohotariu I. Adaptive architecture – a beneficial interaction with technology. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Construction. Architecture Section*. 2021. Vol. 67, No. 2. P. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.2478/bipca-2021-0015>

11. Song C., Huang L., Liu Y., Dong Y., Zhou X., Liu J. Effects of indoor thermal exposure on human dynamic thermal adaptation process. *Building and Environment*. 2020. Vol. 179. Article 106990. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106990>
12. Brager G. S., de Dear R. J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*. 1998. Vol. 27, Iss. 1. P. 83–96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)
13. Maloney E., Duffy D. Deciphering the relationship between temperature and immunity. *Discovery Immunology*. 2024. Vol. 3, Iss. 1. Article kyae001. DOI: <https://doi.org/10.1093/discim/kyae001>
14. Taylor & Francis Group. Major health benefits linked to indoor temperature variation, study finds. *ScienceDaily*. 26.04.2017. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/04/170426092347.htm> (дата звернення: 10.08.2025).
15. Vialard F., Olivier M. Thermoneutrality and immunity: how does cold stress affect disease? *Frontiers in Immunology*. 2020. Vol. 11. Article 588387. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.588387>
16. Guarnieri G., Olivieri B., Senna G., Vianello A. Relative humidity and its impact on the immune system and infections. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, No. 11. Article 9456. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24119456>
17. Коваль Л. М. Естетико-технологічні закономірності дизайну енергоефективного світлового середовища приміщень: дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.03 – технічна естетика. Київ: КНУБА, 2021. 638 с. URL: <https://uacademic.info/ua/document/0521U101421>

References

1. Arsad, F. S., Hod, R., Ahmad, N., Baharom, M., & Ja'afar, M. H. (2023). Assessment of indoor thermal comfort temperature and related behavioural adaptations: A systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 73137–73149. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27089-9> (in English).
2. Raju, S., Siddharthan, T., & McCormack, M. C. (2020). Indoor air pollution and respiratory health. *Clinics in Chest Medicine*, 41(4), 825–843. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2020.08.014> (in English).
3. ASHRAE. (2023). ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy> (in English).
4. Durand, F., Bonnefoy, B., Marchand, D., & Meyer, T. (2022). Psychological antecedents of the intention to open the windows at home and exposure to a ventilation

recommendation. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 872626. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.872626> (in English).

5. Zierke, O., Goerke, P., Maier, J., & Hoermann, H.-J. (2023). Influence of personal control on thermal comfort: A psychological effect or just the “right” temperature? *Energy and Buildings*, 295, Article 113334. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113334> (in English).

6. van Ellen, L. A., Bridgens, B. N., Burford, N., & Heidrich, O. (2021). Rhythmic buildings: A framework for sustainable adaptable architecture. *Building and Environment*, 203, Article 108068. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108068> (in English).

7. Watanabe, K., Förster, N., & Ishimaru, S. (2025). SensPS: Sensing personal space comfortable distance between human–human using multimodal sensors. In D. Harris & W. C. Li (Eds.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 15776, pp. 257–270)*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93718-7_17 (in English).

8. Chen, Y., Cui, P. Y., Pan, Y. Y., Li, Y. X., Waili, N., & Li, Y. (2021). Association between housing environment and depressive symptoms among older people: A multidimensional assessment. *BMC Geriatrics*, 21, Article 259. <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02207-9> (in English).

9. Beatini, V., Pantilimonescu, F., Djebbari, Z., & Driscu, M.-C. (2024). Adaptive facades for emotionally enriching indoor environments. *Journal of Building Engineering*, 98, Article 111472. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111472> (in English).

10. Dohotariu, I. (2021). Adaptive architecture – a beneficial interaction with technology. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Construction. Architecture Section*, 67(2), 55–63. <https://doi.org/10.2478/bipca-2021-0015> (in English).

11. Song, C., Huang, L., Liu, Y., Dong, Y., Zhou, X., & Liu, J. (2020). Effects of indoor thermal exposure on human dynamic thermal adaptation process. *Building and Environment*, 179, Article 106990. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106990> (in English).

12. Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4) (in English).

13. Maloney, E., & Duffy, D. (2024). Deciphering the relationship between temperature and immunity. *Discovery Immunology*, 3(1), Article kyae001. <https://doi.org/10.1093/discim/kyae001> (in English).

14. Taylor & Francis Group. (2017, April 26). Major health benefits linked to indoor temperature variation, study finds. *ScienceDaily*. <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/04/170426092347.htm> (in English).

15. Vialard, F., & Olivier, M. (2020). Thermoneutrality and immunity: How does cold stress affect disease? *Frontiers in Immunology*, 11, Article 588387. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.588387> (in English).
16. Guarnieri, G., Olivieri, B., Senna, G., & Vianello, A. (2023). Relative humidity and its impact on the immune system and infections. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), Article 9456. <https://doi.org/10.3390/ijms24119456> (in English).
17. Koval, L. M. (2021). Aesthetic and technological patterns of designing energy-efficient lighting environment of interiors (Doctoral thesis, specialty 05.01.03). Kyiv: KNUCA. <https://uacademic.info/ua/document/0521U101421> (in Ukrainian).

Abstract

Natalia Bolharova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Architectural Structures, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Scientific research on dynamic comfort: the impact of a variable environment on physical, psychological, social, and emotional health

The article focuses on the analysis of adaptability in the architectural environment as a key factor in shaping users' physical, psychological, social, and emotional comfort. Based on recent research in architecture, ergonomics, psychology, and hygiene, the study examines the limitations of static design approaches and the benefits of implementing dynamic solutions that respond to changing human needs and fluctuating external conditions. It is shown that microclimate variability — moderate air movement, local cooling zones, and daily temperature changes — helps maintain body tone, preserve thermoregulatory mechanisms, and support immune resilience. The importance of personalized environmental control, flexible spatial zoning, and the integration of biometric and sensor technologies into comfort management systems is highlighted. A generalized classification of comfort types and practical adaptive solutions for each of them is presented, along with the identification of problem areas in contemporary architectural practice — from outdated regulatory frameworks to the fragmentation of interdisciplinary knowledge. A systematic approach is proposed in which the architectural environment is viewed as an interactive, variable system synchronized with natural and social rhythms. The results can be applied in the development of dynamic comfort standards, urban and interior design, and innovative engineering systems aimed at improving users' quality of life.

Keywords: environmental adaptability; comfort; architectural ergonomics; dynamic microclimate; personalization; social interaction; emotional design.