

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СВЯТОГОРОВ ІЛЛЯ ОЛЕГОВИЧ

УДК 502.3:721.01

ДИСЕРТАЦІЯ

**Геометрична оптимізація квартальної житлової забудови для
зменшення ефекту міського теплового острова**

Код і назва спеціальності: 183 Технології захисту навколишнього середовища
18 – Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І. О. Святогоров

Науковий керівник: Ткаченко Тетяна Миколаївна
доктор технічних наук, професор

Київ – 2026

Ідентичний за змістом з іншими примірниками дисертації

АНОТАЦІЯ

Святогоров І. О. **Геометрична оптимізація квартальної житлової забудови для зменшення ефекту міського теплового острова.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 18 – «Виробництво та технології» за спеціальністю 183 – «Технології захисту навколишнього середовища». – Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, Київ, 2026.

Праця присвячена вирішенню науково-прикладного завдання щодо зменшення проявів ефекту міського теплового острова та ризику виникнення теплового стресу у населення. Запропонований підхід ґрунтується на зниженні нагріву підстильної поверхні подвір'я житлових кварталів прямою сонячною радіацією. Для цього автором обґрунтовано принципи розпланування квартальної забудови, які доцільно застосовувати вже на ранній стадії проектних рішень. Такі принципи розглядаються як один із найбільш доступних та економічно ефективних інструментів кліматичної адаптації міст України.

У дисертації запропоновані варіанти оптимальної орієнтації квартальної комірки відносно сторін світу для поширеної типової забудови кварталу та для альтернативних асиметричних розпланувальних рішень, подібних до геометрії природнього рельєфу.

Ґрунтуючись на аналізі даних моніторингових спостережень на прикладі першої кліматичної зони України (м. Київ) досліджено багаторічні зміни теплового стресу населення в залежності від глобальних кліматичних змін з використанням інструментарію Copernicus Climate Change Service та даних Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України. Також було отримано залежності величини теплового індексу від температури та вологості повітря.

Отримані автором прогнознi оцінки свідчать про суттєве збільшення теплового індексу та частоти днів із екстремальним тепловим навантаженням

у найближчі десятиліття. Визначено, що тепловий індекс має підвищитися майже на 30% у 2050 році, а ризик для здоров'я населення на прибудинковій території за відносною вологістю повітря 80% буде трактуватися як «високий» за шкалою WBGT при стандартній квартальній забудові міста.

Аналіз сучасних енергоефективних підходів до впровадження технологій пасивного охолодження будівель і прилеглих територій, здійснений у межах дослідження, показав, що наявний спектр рішень здебільшого орієнтований на зменшення температури поверхонь огорожувальних конструкцій. Водночас переважна частина цих заходів має локальний характер і зосереджується на окремих елементах забудови – фасадах, покрівлях – без комплексного врахування просторової конфігурації кварталу.

Щодо прибудинкових територій і забезпечення комфортних умов перебування населення в періоди пікових літніх температур, слід зазначити, що в межах типових розропланувальних рішень квартальної забудови ці аспекти опрацьовані недостатньо й потребують системної наукової оцінки. Наявні нормативні підходи здебільшого регламентують інсоляцію квартир і щільність забудови, однак не враховують у повному обсязі мікрокліматичні параметри внутрішніх дворів, рівень теплового навантаження на тверді покриття та фактичні умови перебування людей на відкритих просторах. Також потребує прогнозування частоти й інтенсивності теплового стресу для мешканців мікрорайонів із урахуванням очікуваних кліматичних змін. Комплексне моделювання теплового індексу в межах квартальної структури дозволить оцінити ризики для різних вікових і соціальних груп населення.

У межах дослідження здійснено порівняльний аналіз нагрівання підстильної поверхні внутрішньодворового простору для існуючих типових регулярних схем квартальної забудови – точкової, периметральної, рядкової та П-подібної, які є найбільш поширеними містобудівними прийомами в сучасному житловому будівництві. Поряд із цим розглянуто альтернативні розропланувальні рішення кварталу, запропоновані автором, які ґрунтуються на принципах асиметрії та просторової організації, наближеної до геометрії природного рельєфу.

Метою дослідження є оцінка впливу геометричних параметрів квартальної забудови на тепловий режим внутрішнього дворового простору, а також розробка методів зменшення перегріву підстильної поверхні та зниження ефекту міського острова тепла для першої кліматичної зони України.

Дослідження охоплює як наявні типи, так і запропоновані проєктні рішення в контексті прогнозованих кліматичних змін із подальшим обґрунтуванням вибору оптимальної схеми розпланування житлового кварталу на стадії проєктування. Досягнення поставленої мети передбачається через визначення оптимальної орієнтації забудови відносно сторін світу в умовах екстремальних літніх температур.

Встановлено, що інтеграція технологій пасивного охолодження квартальних комірок і підстильної поверхні подвір'я в умовах спекотного періоду року, за різних варіантів розміщення житлових будівель у поєднанні з комплексними заходами благоустрою прибудинкових територій, створює передумови для зниження прогнозованих ризиків для здоров'я населення, зокрема через зменшення значень теплового індексу. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню рівня теплового комфорту міського середовища, формуванню житлової забудови, більш стійкої до кліматичних викликів і зменшенню міського теплового острова.

У дослідженні репрезентовано результати розрахунку надходження середньої інтенсивності прямої сонячної радіації на підстильну поверхню внутрішньодворового простору для кожного з проаналізованих варіантів забудови упродовж одного світлового дня в липні. Моделювання виконано із застосуванням спеціалізованого програмного комплексу TownScore.

На підставі отриманих у TownScore карт розподілу теплового навантаження здійснено визначення середнього відсотка затінення підстильної поверхні подвір'я графічним методом. Отримані показники використано для подальшого порівняльного аналізу ефективності досліджуваних розропланувальних рішень у контексті формування теплового режиму внутрішньоквартального простору.

Запропонований методичний підхід адаптовано до умов першої кліматичної зони України на прикладі м. Києва з використанням багаторічних моніторингових

даних за липень 2021 року, для якого середня температура повітря становила 24,6 °С. Розрахунки виконано для одного характерного світлового дня зазначеного періоду, що відповідає умовам пікового літнього теплового навантаження.

Об'єктом дослідження визначено умовну квартальну комірку площею 1 га (100×100 м) із секційною забудовою заввишки 9 та 16 поверхів, що є типовою для сучасних житлових комплексів периферійних районів м. Києва. Орієнтовну площу кожної житлової секції прийнято на рівні 500 м² з огляду на економічну доцільність та відповідність поширеній практиці проектування багатоквартирних житлових будинків.

Результати дослідження засвідчили, що підстильна поверхня внутрішнього двору квартальної комірки з периметральною забудовою характеризується найвищим потенціалом формування сприятливого теплокомфортного мікроклімату. Крім того, даний варіант розрозпланувальної організації кварталу демонструє в середньому підвищений відсоток затінення внутрішньодворового простору, що позитивно впливає на формування його теплового режиму.

Побудовані порівняльні графіки ефективності застосування досліджених регулярних типових розрозпланувальних рішень житлової квартальної комірки надалі використовуватимуться як аналітичний інструмент для обґрунтування вибору оптимального проектного варіанта на ранній стадії проектування. Їхнє застосування спрямоване на підвищення рівня захисту населення новоутворених урбанізованих територій від ризику виникнення теплового стресу як сучасний інструмент технологій «зеленого» будівництва.

Проведені в дисертації дослідження для умов України на прикладі розрахунку розподілу прямої сонячної радіації у внутрішньому дворі секційної 17–24 поверхової забудови (житловий масив Осокорки, м. Київ) довели, що ортогональні орієнтації на фоні регулярної житлової забудови призводять до очікуваного перегріву фасадів будівель і підстільної поверхні внутрішнього двору упродовж тривалого часу впродовж дня.

У відповідь на виявлені проблеми перегріву та зниження рівня

теплокомфортності відкритих дворів багатоповерхової секційної житлової забудови автором запропоновано альтернативні містобудівні рішення, спрямовані на принципову трансформацію мікроклімату внутрішньоквартальних просторів.

Перший варіант розрозпланувального рішення представлений у вигляді асиметричної, умовно випадкової структури забудови, що максимально наближена за візуальним характером до природних просторових структур і в якій об'єми будівель скомпоновані вільним чином, без жорсткої прив'язки до регулярної сітки або модуля, що повторюється. Другий варіант розрозпланувального рішення заснований на імітації геометрії природного каньйону та передбачає формування витягнутого, асиметричного внутрішньоквартального простору, обмеженого житловими секціями рівної висоти.

У ході дослідження автором обґрунтовано перспективний підхід до формування розрозпланувальної структури житлових кварталів шляхом імітації геометрії природного рельєфу, який базується на використанні природних механізмів терморегуляції й розглядається як усвідомлена альтернатива впорядкованим регулярним схемам забудови. Просторове зміщення корпусів і варіативність їхньої орієнтації формують більш складну та неоднорідну конфігурацію дворового середовища, що унеможливорює рівномірне і тривале пряме сонячне опромінення поверхонь, зокрема підстильної поверхні внутрішнього двору та сприяє зниженню інтенсивності теплового навантаження.

Спираючись на отримані розрахунки, вдалося підтвердити, що застосування принципів асиметричного розпланування території квартальної комірки житлової забудови створює передумови для цілеспрямованого формування сприятливого мікроклімату забудованих територій без необхідності збільшення частки активних інженерних систем охолодження. Встановлено, що середні показники нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору протягом світлового дня для асиметричних схем є істотно нижчими порівняно з відповідними значеннями для типових містобудівних рішень. При цьому різниця температур між найбільш і найменш нагрітими варіантами орієнтації в межах асиметричних композицій

є незначною та не перевищує 1 °С, що свідчить про їхню підвищену стійкість до змін просторової орієнтації відносно сторін світу.

Середні значення затінення внутрішньодворового простору для запропонованих автором розропланувальних рішень також характеризуються більш стабільними та позитивними показниками незалежно від орієнтації. Це дозволяє стверджувати, що нерегулярна конфігурація квартальної структури сприяє більш рівномірному розподілу прямої сонячної радіації та формуванню складної просторової системи тіней, що зменшує контрастність теплових полів і підвищує загальний рівень теплокомфортності території.

У межах дослідження здійснено кількісну оцінку впливу додаткового чинника – озеленення внутрішньодворового простору – на температурний режим прибудинкової території в літній період, виконану на прикладі квартальної комірки периметральної забудови. Встановлено, що найбільші розбіжності у погодинній динаміці температури підстильної поверхні внутрішнього двору за умов наявності та відсутності озеленення спостерігаються у проміжку з 11:00 до 14:00, що відповідає періоду максимальної сонячної активності.

У зазначений часовий інтервал температура поверхні у варіанті без зелених насаджень перевищує 40 °С, тоді як за наявності озеленення вона є нижчою на 1,5–2 °С. Отримані результати свідчать про суттєву роль рослинного покриву у зменшенні теплового навантаження та пом'якшенні мікрокліматичних умов внутрішньоквартального простору. Ця модель забудови кварталу, заснована на розміщенні підземного паркінгу виключно під корпусами житлових будинків.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Уперше теоретично досліджено перегрівання підстильної поверхні території двору в пікових умовах літнього періоду, що дозволило для чотирьох варіантів поширеної типової забудови комірки житлового кварталу побудувати діаграми порівняння ефективності різних варіантів з визначенням усередненої частки затінення підстильної поверхні внутрішнього двору кожного з розглянутих варіантів;

2. Уперше науково обґрунтовано альтернативні підходи до розпланування

комірки забудови житлового кварталу, що ґрунтуються на застосуванні принципів асиметрії задля відтворення механізмів терморегулювання природних ландшафтів;

3. Удосконалено метод оцінювання впливу озеленення на температурний режим прибудинкової території в літній період, що дозволяє виявити істотні відмінності у щогодинній динаміці температури підстильної поверхні внутрішньодворового простору периметральної забудови за умов наявності та відсутності зелених насаджень;

3. Набули подальшого розвитку методичні підходи до розрахунку теплового режиму квартального простору для І кліматичної зони України, на підставі яких можливо фіксувати мінімальні температурні перепади та визначати раціональну орієнтацію квартальної житлової забудови відносно сторін світу.

Практичне значення одержаних результатів:

Визначені у дослідженні середні температури підстильної поверхні внутрішнього двору житлових кварталів за різних орієнтацій відносно сторін світу дозволяють попередньо оцінити ризик виникнення теплового стресу мешканців і обрати доцільне планувальне рішення на етапі передпроектних робіт. Обґрунтування доцільної орієнтації відносно сторін світу поширених типів квартальної житлової забудови та запропонованої автором асиметричної моделі квартальної житлової забудови дає змогу створювати мікрорайони з урахуванням методів пасивного охолодження і таким чином сприяти зменшенню міського теплового острова.

Результати дослідження створюють підґрунтя для розроблення рекомендацій щодо адаптування будівельної галузі до кліматичних змін і забезпечення ефективного захисту населення та працівників просто неба, від теплового стресу під час освоєння нових територій під забудову.

Результати дослідження передані для використання на підприємство ФГ «Енергія-1 і ФОП Кожевніков С.В.

Ключові слова: кліматичні зміни, міські острови тепла, тепловий індекс, «зелене» будівництво, пасивне охолодження, орієнтація житлової будівлі.

ABSTRACT

Sviatohorov I. O. **Geometric Optimization of Residential Block Development for Reducing the Urban Heat Island Effect.** – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 18 – “Production and Technologies”, specialty 183 – “Environmental Protection Technologies”. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2026.

The work is devoted to solving an applied scientific problem related to reducing the manifestations of the urban heat island effect and the risk of heat stress among the population. The proposed approach is based on reducing the heating of the underlying surface of residential block courtyards caused by direct solar radiation. For this purpose, the author substantiates the principles of residential block planning that should be applied already at the early stage of design decision-making. These principles are considered one of the most accessible and economically efficient tools for the climate adaptation of Ukrainian cities.

The dissertation proposes options for the optimal orientation of a residential block unit relative to the cardinal directions for widespread typical block development, as well as for alternative asymmetric planning solutions similar to the natural terrain geometry.

Based on the analysis of monitoring data, using the first climatic zone of Ukraine, namely the city of Kyiv, as an example, long-term changes in population heat stress depending on global climate change were investigated using the Copernicus Climate Change Service toolkit and data from the Borys Sreznevskyi Central Geophysical Observatory of the State Emergency Service of Ukraine. Dependencies of the heat index on air temperature and humidity were also obtained.

The forecast estimates obtained by the author indicate a significant increase in the heat index and in the frequency of days with extreme thermal load in the coming decades. It was determined that the heat index is expected to increase by almost 30% by 2050, while the health risk for the population in courtyard areas at a relative air

humidity of 80% will be classified as “high” according to the WBGT scale under standard urban block development conditions.

The analysis of modern energy-efficient approaches to the implementation of passive cooling technologies for buildings and adjacent territories, carried out within the framework of the study, showed that the existing range of solutions is mostly focused on reducing the temperature of the surfaces of building envelope structures. At the same time, most of these measures are local in nature and are concentrated on individual elements of development, such as façades and roofs, without a comprehensive consideration of the spatial configuration of the block.

With regard to courtyard areas and the provision of comfortable conditions for the population during periods of peak summer temperatures, it should be noted that within typical planning solutions of residential block development, these aspects remain insufficiently developed and require systematic scientific assessment. Existing regulatory approaches mostly govern apartment insolation and development density; however, they do not fully account for the microclimatic parameters of internal courtyards, the level of thermal load on hard surfaces, or the actual conditions of human stay in open spaces. It is also necessary to forecast the frequency and intensity of heat stress for residents of residential districts, taking into account expected climate changes. Comprehensive modelling of the heat index within the block structure makes it possible to assess risks for different age and social groups of the population.

Within the study, a comparative analysis was carried out of the heating of the underlying surface of internal courtyard spaces for existing typical regular block development schemes, namely point, perimeter, row, and U-shaped development, which are among the most widespread urban planning techniques in contemporary residential construction. In addition, alternative block planning solutions proposed by the author were considered; these are based on the principles of asymmetry and spatial organization approximating the geometry of natural terrain.

The aim of the study is to assess the influence of meteorological factors and geometric parameters of residential block development on the thermal regime of the internal courtyard space, as well as to develop recommendations for reducing the

overheating of the underlying surface and mitigating the urban heat island effect for the first climatic zone of Ukraine. The study covers both existing typical and proposed design solutions in the context of projected climate change, with further substantiation of the choice of the optimal residential block planning scheme at the design stage. Achieving this aim involves determining the optimal orientation of development relative to the cardinal directions under conditions of extreme summer temperatures.

It was established that the integration of passive cooling technologies for block units and the underlying surface of courtyards during the hot period of the year, under different variants of residential building placement combined with comprehensive improvement measures for courtyard areas, creates prerequisites for reducing projected health risks for the population, in particular by lowering heat index values. This, in turn, contributes to increasing the level of thermal comfort in the urban environment, forming residential development that is more resilient to climatic challenges, and reducing the urban heat island effect.

The study presents the results of calculating the average intensity of direct solar radiation incident on the underlying surface of the internal courtyard space for each of the analyzed development variants during one daylight day in July. The modelling was performed using the specialized TownScope software package. The initial basis for the calculations consisted of previously developed three-dimensional models of the corresponding block unit variants, which were exported in 3Ds format for further integration into the software environment.

Based on the thermal load distribution maps obtained in TownScope, the average percentage of shading of the courtyard's underlying surface was determined using a graphical method. The obtained indicators were used for further comparative analysis of the efficiency of the studied planning solutions in the context of forming the thermal regime of the internal block space.

The proposed methodological approach was adapted to the conditions of the first climatic zone of Ukraine, using the city of Kyiv as an example, with the application of long-term monitoring data for July 2021, when the average air temperature was 24.6 °C. The calculations were performed for one representative daylight day of the specified

period, corresponding to the conditions of peak summer thermal load.

The object of the study is a hypothetical block unit with an area of 1 ha (100×100 m), consisting of sectional development with 9- and 16-storey buildings, which is typical of modern residential complexes in the peripheral districts of Kyiv. The approximate area of each residential section was accepted as 500 m², taking into account economic feasibility and correspondence with common design practice for multi-apartment residential buildings. The unification of section areas for all studied variants of planning solutions ensured the constancy of the initial modelling parameters and increased the correctness and representativeness of the subsequent comparative analysis of the results.

The research results showed that the underlying surface of the internal courtyard of a block unit with perimeter development has the highest potential for forming a favorable thermally comfortable microclimate. Even under an unfavorable orientation relative to the cardinal directions, namely east–west, the temperature indicators remain relatively moderate, whereas under the optimal orientation, south–north, the minimum level of overheating of the underlying surface is recorded in comparison with the other typical widespread urban planning solutions considered in the study. In addition, this variant of the planning organization of the block demonstrates, on average, an increased percentage of shading of the internal courtyard space, which has a positive effect on the formation of its thermal regime.

The temperature of heating of the underlying surface under the influence of direct solar radiation during one daylight hour was determined using the A. M. Shklover formula. This methodology takes into account the intensity of solar radiation, the thermophysical characteristics of the surface material, and current meteorological conditions, which makes it possible to adequately assess the process of heat accumulation under direct insolation and to reflect the real nature of thermal interaction between solar energy and the underlying surface of the internal courtyard.

The research conducted in the dissertation for the conditions of Ukraine, using the calculation of the distribution of direct solar radiation in the internal courtyard of 17–24-storey sectional development in the Osokorky residential area of Kyiv as an

example, demonstrated that orthogonal orientations against the background of regular residential development lead to the expected overheating of building façades and the underlying surface of the internal courtyard for a prolonged period during the day.

In response to the identified problems of overheating and reduced thermal comfort of open courtyards in high-rise sectional residential development, the author proposed alternative urban planning solutions aimed at a fundamental transformation of the microclimate of internal block spaces.

The first variant of the planning solution is represented as an asymmetric, conditionally random development structure that is visually close to natural spatial structures, in which building volumes are arranged freely, without rigid attachment to a regular grid or repeating module. The second planning solution is based on the imitation of the geometry of a natural canyon and provides for the formation of an elongated, asymmetric internal block space bounded by residential sections of equal height.

In the course of the study, the author substantiated a promising approach to the formation of the planning structure of residential blocks through the imitation of natural terrain geometry. This approach is based on the use of natural thermoregulation mechanisms and is considered a conscious alternative to ordered regular development schemes. The spatial displacement of building blocks and the variability of their orientation form a more complex and heterogeneous configuration of the courtyard environment, preventing uniform and prolonged direct solar irradiation of surfaces, in particular the underlying surface of the internal courtyard, and contributing to a reduction in the intensity of thermal load.

It was confirmed that the application of the principles of asymmetric planning of the territory of a residential block unit creates prerequisites for the purposeful formation of a favorable microclimate in built-up areas without the need to increase the share of active engineering cooling systems. It was established that the average heating indicators of the underlying surface of the internal courtyard during daylight hours for asymmetric schemes are significantly lower than the corresponding values for typical urban planning solutions. At the same time, the temperature difference between the most and least heated orientation variants within asymmetric compositions is

insignificant and does not exceed 1 °C, which indicates their increased resilience to changes in spatial orientation relative to the cardinal directions.

The average shading values of the internal courtyard space for the planning solutions are also characterized by more stable and positive indicators regardless of orientation. This makes it possible to state that the irregular configuration of the block structure contributes to a more even distribution of direct solar radiation and to the formation of a complex spatial system of shadows, which reduces the contrast of thermal fields and increases the overall level of thermal comfort of the territory.

Within the study, a quantitative assessment was carried out of the influence of an additional factor, namely the greening of the internal courtyard space, on the temperature regime of the courtyard area in the summer period, using a block unit with perimeter development as an example. It was established that the greatest differences in the hourly dynamics of the temperature of the courtyard's underlying surface under conditions with and without greenery are observed between 11:00 and 14:00, which corresponds to the period of maximum solar activity.

During the specified time interval, the surface temperature in the variant without green plantings exceeds 40 °C, whereas in the presence of greenery it is lower by 1.5–2 °C. The obtained results indicate the significant role of vegetation cover in reducing thermal load and mitigating the microclimatic conditions of the internal block space. This block development model is based on the placement of underground parking exclusively beneath the residential building volumes.

Scientific novelty of the obtained results:

1. For the first time, the overheating of the underlying surface of the courtyard territory in peak summer conditions was theoretically investigated, which allowed for four variants of the widespread typical development of the cell of a residential quarter to construct diagrams comparing the effectiveness of different variants with the determination of the average share of shading of the underlying surface of the inner courtyard of each of the considered variants;

2. For the first time, alternative approaches to the layout of the cell of a residential quarter were scientifically substantiated, which are based on the application

of the principles of asymmetry to reproduce the mechanisms of thermoregulation of natural landscapes;

3. The method for assessing the impact of landscaping on the temperature regime of the adjacent territory in the summer period was improved, which allows us to identify significant differences in the hourly dynamics of the temperature of the underlying surface of the inner courtyard space of the perimeter development in the presence and absence of green spaces;

3. Methodological approaches to calculating the thermal regime of the quarter space for the I climatic zone of Ukraine have been further developed, on the basis of which it is possible to record minimum temperature differences and determine the rational orientation of the quarter residential building relative to the cardinal points.

Practical significance of the results obtained:

The average temperatures of the subsoil surface of the inner courtyard of residential blocks determined in the study at different orientations relative to the cardinal points will allow a preliminary assessment of the risk of thermal stress of residents and the selection of an appropriate planning solution at the stage of pre-design work. Substantiation of the appropriate orientation relative to the cardinal points of common types of quarter residential building and the asymmetric model of quarter residential building proposed by the author make it possible to create microdistricts taking into account passive cooling methods and thus contribute to the reduction of the urban heat island.

The results of the study create a basis for developing recommendations for adapting the construction industry to climate change and ensuring effective protection of the population and workers in the open air from thermal stress during the development of new territories for development.

The results of the study were transferred for use to the enterprise FG "Energia-1" and FOP Kozhevnikov S.V.

Keywords: climate change, urban heat islands, heat index, “green” construction, passive cooling, residential building orientation.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Святогоров, І. (2024). Посилення теплового стресу для населення урбанізованих територій на фоні глобальних кліматичних змін. *Екологічна безпека та природокористування*, 49(1), 49–59. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.49-59>
2. Волошкіна, О., Жукова, О., Ткаченко, Т., & Святогоров, І. (2023). Відновлювані джерела енергії для резервного енергопостачання малих очисних споруд та окремих домогосподарств. *Екологічна безпека та природокористування*, 45(1), 5–16. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.5-16>
3. Святогоров, І. (2024). Застосування геотехнічних конструкцій в «зеленому будівництві». *Екологічна безпека та природокористування*, 50(2), 36–47. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.36-47>
4. Святогоров, І. (2024). Тепловий режим території внутрішнього двору секційного житлового будинку в залежності від його орієнтації. *Техніка будівництва*, 40, 109–118. <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0311>
5. Kravchenko, M., Tkachenko, T., Voloshkina, O., Vasylenko, L., & Sviatohorov, I. (2025). Assessing the economic and environmental benefits of blue-green infrastructure to increase urban resilience to climate change. *Environmental Safety and Natural Resources*, 54(2), 7–22. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.2.7-22>
6. Ткаченко, Т., & Святогоров, І. (2025). Розпланування територій під житлову забудову за умови створення теплокомфортного житлового середовища. *Техніка будівництва*, 42, 169–177. <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0519>

Статті в періодичних журналах, які індексуються в базі SCOPUS

1. Voloshkina, O., Tkachenko, T., Sviatohorov, I., & Berezhnytska, Y. (2024). The influence of urban building orientation on the risk of heat stress from being in the courtyard area during the peak summer period. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 33(4), 388–400. <https://doi.org/10.22630/srees.9953>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

Міжнародні та вітчизняні конференції

1. Святогоров, І., & Волошкіна, О. (2024). До питання врахування ефекту кліматичних змін для здоров'я міського населення в будівельній документації. У *Сталий розвиток — стан та перспективи: Матеріали IV Міжнародного наукового симпозіуму в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES»)*, 13–16 лютого 2024 р., Львів — Славське, Україна (с. 146–148). Національний університет «Львівська політехніка». <https://doi.org/10.51500/7826-39-12>
2. Святогоров, І. О. (2023). Оцінка факторів утворення теплового куполу над забудованими територіями. У *Green Construction («Зелене будівництво»): Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 545–549). Київський національний університет будівництва і архітектури. https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf
3. Ткаченко, Т. М., Святогоров, І. О., & Волошкіна, О. С. (2024). Взаємозв'язок між показниками щільності забудови, зеленими зонами та тепловим індексом впливу на здоров'я населення в умовах кліматичних змін (на прикладі районів м. Києва). У *Green Construction («Зелене будівництво»): Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 348–350). Київський національний університет будівництва і архітектури. https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf
4. Voloshkina, O., Efimenko, O., Sipakov, R., Sviatohorov, I., Nehoda, N., & Shcherbakova, O. (2023). Geodetic monitoring of the pit enclosure soil violations during the office center construction in Kyiv. In *17th International Conference*

Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520057>

5. Voloshkina, O., Sviatohorov, I., Shcherbakova, O., & Zhukova, O. (2023). Assessment of the metro dynamic effects on geotechnical structures during the Poshtova Square reconstruction. In *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023”* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510058>

6. Sipakov, R., & Sviatohorov, I. (2023). Monitoring of the probable damage to the Kyivpastrans building due to soil deformations during the Poshtova Square reconstruction in the city of Kyiv. In *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520056>

7. Sviatohorov, I. (2023). The cracks opening monitoring in the museum building during the Poshtova Square reconstruction in Kyiv. In *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023”* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510059>

8. Святогорів, І. О., Волошкіна, О. С., & Ткаченко, Т. М. (2025). Існуючі технології захисту міського середовища від перегріву поверхонь і зменшення теплового навантаження на прибудинкову територію. У С. О. Довгий (Ред.), *Інформаційно-комунікаційні технології для стійкості та відновлення: Колективна монографія за матеріалами XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток», Київ, 11–12 листопада 2025 р.* (с. 180–181). Юстон. https://itgip.org/collections_of_scientific_papers/

ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів	24
Вступ	26
Розділ 1. Аналіз наукових підходів до оцінювання теплового стресу населення міст в умовах глобальних температурних змін	34
1.1 Аналіз впливу метеорологічних чинників на тепловий індекс та пов'язані ризики для здоров'я населення в умовах міського середовища	34
1.2 Прогнозування впливу теплового стресу для міського населення м. Києва на фоні глобальних кліматичних змін	39
1.3 Вплив глобальних кліматичних змін на складові навколишнього середовища та існуючі технології захисту при реконструкції об'єктів в м. Києві	51
Висновки до розділу 1	54
Розділ 2. Існуючі технології захисту міського середовища від перегріву поверхонь і зменшення теплового навантаження на житлову забудову	57
2.1 Застосування технологій «зеленого» будівництва для зниження температурного показника відкритого повітря	57
2.1.1 Холодні тротуари	59
2.1.2 Збільшення частки рослинного покриву в міському середовищі	64
2.1.3 Зелені дахи і вертикальне озеленення	67
2.1.4 Холодні покрівлі	69
2.1.5 Розташування забудови відносно сторін світу	71
2.2 Аналіз ефективності існуючих світових технологій пасивного охолодження урбанізованого простору	74
Висновки до розділу 2	78

Розділ 3. Визначення температурного режиму підстильної поверхні	
внутрішнього двору типових рішень квартальної забудови	80
3.1 Обґрунтування доцільності аналізу	
біокліматичної ефективності типових розрозпланувальних рішень	
квартальної забудови.....	80
3.2 Розрахунок температурного режиму підстильної поверхні	
внутрішнього двору типових містобудівних рішень	
квартальної забудови	90
3.3 Розрахунок середнього відсотка затінення підстильної поверхні	
внутрішнього двору типових містобудівних рішень	
квартальної забудови	106
Висновки до розділу 3.....	111
Розділ 4. Пропозиції альтернативних розрозпланувальних підходів	
до квартальної забудови з метою зниження перегріву підстильної	
поверхні внутрішнього двору	114
4.1 Обґрунтування необхідності відмови від регулярних	
розрозпланувальних структур квартальної житлової забудови	
на користь запропонованих автором асиметричних рішень	114
4.2 Розрахунок температурного режиму підстильної поверхні	
внутрішнього двору для альтернативних рішень розпланування	
квартальної житлової забудови	122
4.3 Оцінка впливу підземного паркінгу під територією подвір'я	
на температурний режим внутрішньоквартального простору	134
Висновки до розділу 4	143
Загальні висновки	145
Список використаних джерел	147
Додатки	172

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- ВДЕ – відновні джерела енергії
- ВМО – Всесвітня метеорологічна організація
- ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я
- ДСНС України – Державна служба України з надзвичайних ситуацій
- ЄС – Європейський союз
- ЗХ – захід
- КНУБА – Київський національний університет будівництва і архітектури
- МГЕС – мала гідроелектростанція
- МТО – міський тепловий острів
- ПД – південь
- ПН – північ
- СХ – схід
- ТНС-індекс – індекс теплового навантаження середовища
- BGI – блакитно-зелена інфраструктура
- HI (Humidex) – тепловий індекс (Heat Index)
- LBNL – Національна лабораторія імені Лоуренса в Берклі, США (Lawrence Berkeley National Laboratory)
- NO_x – оксиди азоту
- OriginPro8 – програмний продукт для аналізу даних, статистичної обробки та побудови графіків
- PET – фізіологічно еквівалентна температура (Physiological Equivalent Temperature)
- PMV – прогнозована середня оцінка тепловідчуття людини (Predicted Mean Vote)
- SMUD – Муніципальний комунальний округ Сакраменто, США
- UTCI – універсальний термокліматичний індекс (Universal Thermal Climate Index)
- W – температура за вологим термометром

WBGT – індекс температури вологого термометра та чорної кулі (Wet Bulb Globe Temperature), міжнародно застосовуваний показник для оцінки теплового навантаження середовища

TownScore – програмний комплекс для аналізу інсоляції, сонячного доступу, затінення та мікрокліматичних характеристик міського середовища.

ВСТУП

Сутність науково-прикладної задачі, що розглядається в дисертації, полягає в обґрунтуванні та розробленні шляхів удосконалення екологічного захисту міського середовища та зниження теплового стресу для населення при підвищенні глобальних літніх температур за допомогою технологій пасивного охолодження, зокрема, за рахунок доцільного вибору орієнтації типової поширеної забудови житлових кварталів відносно сторін світу та альтернативних асиметричних проєктних рішень розпланування комірки кварталу.

Дане завдання відповідає фаховій компетентності СК07 «Здатність виявляти та досліджувати можливості зменшення негативного впливу та поліпшення стану навколишнього середовища методами “зеленого” будівництва» згідно зі Стандартом вищої освіти третього освітньо-наукового рівня, галузі знань 18 «Виробництво та технології» за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Актуальність теми. Проблематика адаптування будівельної галузі до умов глобальних кліматичних змін, зменшення кліматичних ризиків, підвищення рівня комфортності проживання населення в урбанізованому середовищі, зокрема в аспекті обмеження інтенсивності формування міського теплового острова у спекотний період року, набуває особливої актуальності на сучасному етапі розвитку країни.

Зазначена актуальність посилюється євроінтеграційним курсом України та зобов'язаннями в межах другого національно визначеного внеску до Паризької угоди (НВВ2), які передбачають досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року за умови формування амбітних і водночас реалістичних цілей на найближчу перспективу. Додатковим чинником загострення проблеми є зростання обсягів викидів парникових газів унаслідок воєнних дій на території України, що актуалізує необхідність їх компенсування шляхом впровадження принципів «зеленого» будівництва. Це передбачає застосування комплексу як інженерних (штучних), так і природоорієнтованих методів охолодження нової житлової

забудови та прибудинкових територій з метою мінімізування проявів міського теплового острова та підвищення екологічної стійкості міського середовища.

Значний масив теоретичних і польових досліджень присвячений оцінюванню ефективності різних підходів до зниження екстремальних температур у міському середовищі та охолодження будівель із застосуванням принципів «зеленого» будівництва. Зазначена проблематика широко представлена у працях вітчизняних і зарубіжних науковців: K. Pawlowska, B. Jawecki, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, A. Ujma, I. Iremashvili, A. Lis, Т. М. Ткаченко, В. О. Мілейковського, М. С. Мальованого, Т. І. Кривомаз, О. В. Сергійчука, багатьох інших.

Питання впливу екстремальних метеорологічних умов на стан здоров'я міського населення та працівників просто неба також ґрунтовно досліджуються, при цьому основний науковий доробок у цьому напрямі сформовано переважно зарубіжними авторами: T. K. Matthews, R. L. Wilby, A.J. McMichael, Y. Wang, Y. Li, A. Gasparrini, T. K. Matthews, R. L. Wilby, інших.

Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання доцільної орієнтації кварталів нової житлової забудови відносно сторін світу з метою регулювання температурного режиму прибудинкових територій, формування динамічного та рівномірного затінення, а також інтеграції біокліматичних підходів до проектування, адаптованих до природних ландшафтних умов.

Обмежена увага до зазначених аспектів ускладнює розроблення ефективних планувальних рішень, спрямованих на запобігання формуванню міського теплового острова та забезпечення належного рівня теплового комфорту населення під час перебування у відкритому міському просторі.

Зазначене є вкрай актуальним і має здійснюватися на ранніх стадіях проектування при формуванні планувальної структури житлової квартальної забудови. Методологічною основою таких проєктних рішень повинні виступати уніфіковані програмні комплекси, інтегровані з прогностичними моделями змін температурних показників на найближчі десятиліття. Окремі аспекти цієї

проблематики частково висвітлені у працях зарубіжних авторів [2,9,12,43,45], однак для кліматичних зон України відповідні комплексні дослідження практично відсутні й потребують системного наукового опрацювання. Тож розв'язання зазначеної науково-прикладної задачі в комплексному ставленні досі не здійснювалося, що зумовлює її актуальність і практичну значущість для умов України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, покладені в основу дисертації, виконані згідно з основними положеннями проєкту Закону України «Про засади відновлення України» (проєкт 2024 року), Закону України «Про основні засади державної кліматичної політики», прийнятий Верховною Радою України 08.10.2024 № 3991-IX, а також у рамках науково-дослідних робіт кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці КНУБА: держреєстр. № 0121U111849 «Вплив змін клімату на складові навколишнього середовища», держреєстр. № 0125U003983 «Концепція будівництва екоміст в умовах післявоєнної відбудови України» та міжнародного проєкту «Багаторівнева освіта та професійне навчання з питань кліматичних послуг, адаптації до змін клімату та їх пом'якшення в локальному, національному та регіональному масштабах» («ClimEd», 619285-EPP-1-2020-1-FI-EPPKA2-SBHE-JP, 15.11.2020–14.11.2026), у яких автор брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є оцінювання впливу геометричних параметрів квартальної забудови на тепловий режим внутрішнього дворового простору, а також розроблення методів зменшення перегрівання підстильної поверхні та зниження ефекту міського теплового острова для першої кліматичної зони України.

Дослідження охоплює як наявні типові, так і запропоновані проєктні рішення в контексті прогнозованих кліматичних змін із подальшим обґрунтуванням вибору доцільної схеми розпланування житлового кварталу на стадії проєктування. Досягнення поставленої мети передбачається через визначення доцільної орієнтації забудови відносно сторін світу в умовах

екстремальних літніх температур.

У дисертації були передбачені наступні *завдання* досліджень:

- здійснити аналіз наявних досліджень впливу метеофакторів на величину теплового індексу та ризику для здоров'я населення міського середовища та працівників просто неба;

- здійснити аналіз наявних технологій захисту міського середовища від перегрівання поверхонь і зменшення теплового навантаження на житлову забудову;

- розробити теоретичне обґрунтування визначення зміни температурного режиму підстильної поверхні та визначити ефективність різних містобудівних рішень для зменшення перегрівання підстильної поверхні внутрішнього двору;

- здійснити моделювання в межах теоретичної моделі чотирьох типів наявної регулярної квартальної житлової забудови з метою оцінювання рівня перегріву підстильної поверхні внутрішнього двору в піковий літній період залежно від орієнтації забудови відносно сторін світу для I кліматичної зони України на прикладі кліматичних умов м. Києва;

- запропонувати альтернативні варіанти розпланування квартальної забудови, зокрема з імітацією геометрії природного рельєфу з метою зменшення перегрівання підстильної поверхні внутрішнього двору для I кліматичної зони України.

Об'єкт дослідження – геометрична оптимізація квартальної житлової забудови.

Предмет дослідження – вплив геометричних параметрів, розпланувальної структури та орієнтації квартальної житлової забудови відносно сторін світу на тепловий режим внутрішньодворового простору, рівень затінення підстильної поверхні та зменшення проявів міського теплового острова.

Методи дослідження. Застосовано науково-теоретичні методи дослідження, які спираються на аналіз статистичних, нормативних та інших даних, геометричне моделювання та експериментальне проєктування. Під час оцінювання якості запропонованих проєктних рішень житлової забудови

прийнято методологічні положення та принципи системного підходу, як-от, принцип варіативності містобудівної структури, принцип компактності, а також базований на загальних системних принципах критерій якості архітектурних об'єктів. Як вихідні матеріали для здійснення теоретичних узагальнень були прийняті найбільш показові експериментальні розробки житлових будинків і квартальної забудови в цілому, для проведення експериментальної частини дослідження – типові наявні, а також альтернативні варіанти розпланування кварталу, запропоновані автором. Зокрема, застосовані статистичні підходи до оброблення кліматичних баз даних, методи математичного моделювання, інструменти програмного забезпечення й інформаційних технологій у сфері містобудування та експлуатації міської забудови.

Теоретико-методологічними засновками дослідження слугували сучасні концепції «зеленого» будівництва, а також положення щодо оцінювання вразливості міського населення та працівників просто неба до наслідків зміни клімату.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Уперше теоретично досліджено перегрівання підстильної поверхні території двору в пікових умовах літнього періоду, що дозволило для чотирьох варіантів поширеної типової забудови комірки житлового кварталу побудувати діаграми порівняння ефективності різних варіантів з визначенням усередненої частки затінення підстильної поверхні внутрішнього двору кожного з розглянутих варіантів;

2. Уперше науково обґрунтовано альтернативні підходи до розпланування комірки забудови житлового кварталу, що ґрунтуються на застосуванні принципів асиметрії задля відтворення механізмів терморегулювання природних ландшафтів;

3. Удосконалено метод оцінювання впливу озеленення на температурний режим прибудинкової території в літній період, що дозволяє виявити істотні відмінності у щогодинній динаміці температури підстильної поверхні внутрішньодворового простору периметральної забудови за умов наявності та

відсутності зелених насаджень;

3. Набули подальшого розвитку методичні підходи до розрахунку теплового режиму квартального простору для I кліматичної зони України, на підставі яких можливо фіксувати мінімальні температурні перепади та визначати раціональну орієнтацію квартальної житлової забудови відносно сторін світу.

Практичне значення одержаних результатів:

Визначені у дослідженні середні температури підстильної поверхні внутрішнього двору житлових кварталів за різних орієнтацій відносно сторін світу дозволяють попередньо оцінити ризик виникнення теплового стресу мешканців і обрати доцільне планувальне рішення на етапі передпроектних робіт. Обґрунтування доцільної орієнтації відносно сторін світу поширених типів квартальної житлової забудови та запропонованої автором асиметричної моделі квартальної житлової забудови дає змогу створювати мікрорайони з урахуванням методів пасивного охолодження і таким чином сприяти зменшенню міського теплового острова.

Результати дослідження створюють підґрунтя для розроблення рекомендацій щодо адаптування будівельної галузі до кліматичних змін і забезпечення ефективного захисту населення та працівників просто неба, від теплового стресу під час освоєння нових територій під забудову.

Результати дослідження передані для використання на підприємство ФГ «Енергія-1 і ФОП Кожевніков С.В.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які становлять основний зміст дисертації, були отримані здобувачем самостійно. В опублікованих у співавторстві наукових працях автору належать: [2] – розроблення технологічного рішення «зеленого» будівництва на основі аналізу наявного світового досвіду, зокрема варіанту розташування ВДЕ для очищення та подальшого використання дощових вод, зокрема зібраної з «зелених покрівель»; [5] – аналізування технологічних рішень «зеленого» будівництва на основі наявного світового досвіду в умовах глобальних кліматичних змін; [6] – розроблення методології розрахунку значень нагрівання підстильної поверхні прибудинкової території зі

значеннями для альтернативної асиметричної моделі забудови квартальної кімнатки; [7] – розроблення основ розрахунку впливу орієнтації міської забудови на ризик теплового стресу від перебування у внутрішньому дворі в піковий літній період; [8; 10] – оцінювання впливу температурних показників на здоров'я міського населення; [11–13] – участь у моніторингу умов виконання будівельних робіт працівниками просто неба при реконструкції об'єктів у м. Києві; [15] – розроблення прогнозного середнього відсотку затінення підстильної поверхні внутрішнього двору залежно від орієнтації квартальної забудови відносно сторін світу на стадії проектування.

Апробація результатів дослідження. Отримані результати досліджень були представлені 8 доповідями на міжнародних конференціях: IV Міжнародний науковий симпозіум у рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES», Львів, 2024); II і III Міжнародні науково-практичні конференції «Green Construction» (Київ, 2023, 2024), 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Київ, 2023), International Conference of Young Professionals «GeoTerrace '2023», European Association of Geoscientists & Engineers (Львів, 2023), International Conference “Materials, Structures, Technologies and Management in Civil and Environmental Engineering” (Czestochowa, Poland, 2024), XXIV Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-комунікаційні технології для стійкості та відновлення» (Київ, 2025).

Публікації. Результати дисертації оприлюднено в 15 наукових працях, серед яких 6 статей у наукових фахових періодичних виданнях із технічних наук, рекомендованих МОН України; 1 стаття в міжнародному журналі, що індексується в наукометричній базі даних Scopus; 8 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій, 4 з яких індексуються в наукометричній базі даних Scopus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінки, з них: 114 сторінки основного тексту, ілюстрованого 31 рисунком і 14

таблицями; список використаних джерел зі 201 найменувань; Додатків. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України.

Розділ 1

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ НАСЕЛЕННЯ МІСТ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗМІН

1.1 Аналіз впливу метеорологічних чинників на тепловий індекс та пов'язані ризики для здоров'я населення в умовах міського середовища

Згідно з прогнозними кліматичними моделями до кінця ХХІ століття очікується підвищення середньої глобальної температури на 2 °С [1–7 ін.]. Порухення екологічної рівноваги спричиняє зростання частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ, що, своєю чергою, підвищує ризики теплових уражень серед населення, особливо в умовах урбанізованих територій. Найбільш вразливими до впливу підвищених температур є діти та інші соціально чутливі групи.

Крім того, зміни клімату асоціюються з розширенням ареалів трансмісивних інфекцій, появою нових або реактивацією раніше малопоширених захворювань у людській популяції [8; 9]. Зростання максимальних температур у літній період року зумовлює підвищення інтенсивності міського теплового острова, а за умов високої відносної вологості повітря формується підвищений ризик розвитку теплового стресу, що негативно впливає на стан здоров'я міського населення [10–16].

У міжнародній практиці для оцінювання теплового навантаження в галузях охорони здоров'я, спорту, промисловості, інших секторах економіки, серед іншого в будівництві, широко застосовується інтегральний показник теплового стресу: стандартний індекс WBGT (Wet Bulb Globe Temperature). Питання визначення цього індексу, зокрема температури вологого термометра в умовах екстремально високих температур, а також моніторинг і аналіз його складових компонентів, ґрунтовно висвітлені в численних дослідженнях вітчизняних і

зарубіжних науковців [17–22, ін.].

Покриття міських територій здатні підсилювати ефект акумулювання тепла, адже характеризуються зниженими значеннями альbedo та підвищеною здатністю до поглинання сонячної радіації. Це, своєю чергою, призводить до зменшення інтенсивності випаровування та природного поверхневого охолодження [23–25]. Міська забудова, підвищуючи аеродинамічну шорсткість підстильної поверхні, знижує швидкість повітряних потоків у приземному шарі атмосфери, обмежує ефективність конвективного теплообміну. Додатковим чинником зростання інтенсивності міського теплового острова є антропогенне тепловиділення, зокрема внаслідок функціонування транспортних потоків у межах міста [15; 26].

Інтенсифікація теплового стресу зумовлює низку негативних наслідків як для житлового фонду, через зростання енергоспоживання на кондиціонування повітря, так і для працівників просто неба, що проявляється у зниженні продуктивності праці [27–35].

У міжнародній практиці розроблено систему індикаторів для оцінювання впливу надмірного теплового навантаження з метою забезпечення безпечних умов праці просто неба. В сфері охорони праці, а також під час оцінювання ризиків для міського населення, найбільш поширеним є індекс WBGT (Wet Bulb Globe Temperature). Застосування цього показника [30] дозволяє визначати допустиму частку робочого часу, протягом якої працівник може виконувати виробничі операції без перевищення критичних фізіологічних меж, а також частку часу, необхідного для відпочинку, охолодження та підтримання температури тіла нижче 38 °C.

На основі співвідношення періодів роботи та відновлення здійснюється оцінювання рівня працездатності за різних теплових умов. Дослідження свідчать [30], що за значень WBGT у діапазоні 26–30 °C спостерігається суттєве зниження працездатності працівників, що вказує на необхідність впровадження адаптаційних заходів.

Щодо національної нормативно-правової бази в період підвищених температур роботодавець керується положеннями Кодексу законів про працю

України, зокрема ст. 169, яка визначає обов'язки щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці для працівників, зайнятих на роботах, які виконуються просто неба. Це положення є особливо релевантним для працівників будівельної галузі, професійна діяльність яких здійснюється як на відкритих будівельних майданчиках, так і на прибудинкових територіях. Гранично допустимі параметри умов праці для працівників просто неба регламентуються нормативним документом «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпеки факторів виробничого середовища, тяжкості та напруженості трудового процесу», який встановлює критерії оцінювання виробничого середовища за рівнем шкідливості та небезпеки [36].

З метою профілактики перегріву організму та збереження здоров'я працівників роботодавець зобов'язаний забезпечити належні умови праці, зокрема впроваджувати раціональний режим праці й відпочинку з урахуванням поточних метеорологічних параметрів: температури повітря, відносної вологості, швидкості вітру, інших кліматичних чинників. Водночас сучасні технології «зеленого» будівництва створюють додаткові можливості для зниження теплового навантаження на відкритих робочих майданчиках. Йдеться про використання рішень, спрямованих на оптимізацію температурного режиму, регулювання міри затінення робочих зон, а також упровадження інноваційних будівельних технологій, що дозволяють мінімізувати тривалість перебування працівників просто неба [37–41].

Проблематиці інтенсифікації МТО в контексті глобальних кліматичних змін, а також впливу морфологічних характеристик міського середовища на тепловий комфорт населення присвячено низку досліджень зарубіжних авторів [42–46 та ін.]. У зазначених працях на основі регресійного аналізу глобальних метеорологічних баз даних здійснено оцінювання просторово-часової варіабельності температури повітря протягом спекотних днів. Встановлено, що інтенсивність нічного міського теплового острова детермінується комплексом чинників, зокрема наявністю та площею зелених насаджень, щільністю й конфігурацією забудови, часткою забудованих територій, наявністю водойм.

Показано, що густонаселені міста з дефіцитом зелених зон або розташовані поза зоною впливу великих водойм є більш вразливими до підвищених нічних температур під час хвиль спеки.

Для великих мегаполісів поєднання екстремально високих температур у літній період із підвищеною відносною вологістю повітря формує значне теплове навантаження на організм людини, підвищує ризики теплового стресу. Дослідження [45], присвячені аналізу динаміки теплового стресу в міському середовищі з урахуванням зазначених чинників, свідчать, що процеси урбанізації можуть прискорювати зростання інтенсивності теплового стресу приблизно на 30% у найбільш населених і економічно розвинених регіонах.

Окремий напрям наукових робіт стосується оцінювання ефекту міського теплового острова у великих містах Європи із застосуванням даних про земний покрив і результатів дистанційного зондування Землі, зокрема супутникових температурних показників поверхні, як, наприклад, у праці [47].

З огляду на складність кількісного врахування ефекту міського теплового острова на стадії проєктування нових житлових районів його вплив часто залишається недостатньо інтегрованим у розроблені рішення. Як правило, проєктні підходи обмежуються урахуванням базових метеорологічних параметрів та потенційного ефекту «міського каньйону», тобто без комплексної оцінки радіаційного теплового навантаження.

При розплануванні нової забудови та розробленні заходів щодо пом'якшення нічного теплового стресу доцільно враховувати оцінку й прогноз інтенсивності поглинання сонячної радіації поверхнями будівель – як світлопрозорими, так і огорожувальними непрозорими конструкціями.

Важливим чинником є також орієнтація окремих об'єктів і кварталів відносно сторін горизонту з урахуванням усереднених характеристик міської території, зокрема щільності забудови, параметрів інженерно-транспортної інфраструктури, інтенсивності транспортних потоків і пов'язаних із ними теплових викидів в атмосферу. Такий параметр, як кутове розташування будівлі на місцевості, що може істотно впливати на формування локального мікроклімату

та теплового навантаження на населення, залишається недостатньо дослідженим і потребує поглибленого аналізу.

Згідно з Додатком 6 Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» (п. 6.1 гл. 6 розд. II) [36] на основі показника ТНС-індексу розроблено класифікацію умов праці для відкритих територій у теплий період року.

Зазначена класифікація диференціює умови праці залежно від категорії виконуваних робіт і наведена у відповідній таблиці (Табл. 1).

Таблиця 1. Класи умов праці за показником ТНС-індексу для виробничих приміщень незалежно від періоду року та відкритих територій у теплу пору року [36]

Категорія робіт	Загальні енерговитрати, Вт	Класи умов праці						
		оптимальний	допустимий	шкідливий				небезпечний
		1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
1а	до 139	21,0-23,4	23,5-26,4	26,5-26,6	26,7-27,4	27,5-28,6	28,7-31,0	більше 31,0
1б	140-174	20,2-22,8	22,9-25,8	25,9-26,1	26,2-26,9	27,0-27,9	28,0-30,3	більше 30,3
2а	175-232	19,2-21,9	22,0-25,1	25,2-25,5	25,6-26,3	26,3-27,3	27,4-29,9	більше 29,9
2б	233-290	18,2-20,9	21,0-23,9	24,0-24,2	24,3-25,0	25,1-26,4	26,5-29,1	більше 29,1
3	більше 290	17,0-18,9	19,0-21,8	21,9-22,2	22,3-23,4	23,5-25,7	25,8-27,9	більше 27,9

Відповідно, при формуванні енергетичного балансу будівлі на стадії проектування слід обов'язково включати складову сонячних теплових надходжень [48], оскільки інтенсифікація теплового стресу створює додаткові проблеми не лише для внутрішнього мікроклімату житлових приміщень і систем

їхнього охолодження, а й для відкритих прибудинкових територій, що, своєю чергою, негативно позначається на продуктивності праці та загальному тепловому комфорту населення [49].

Підвищення температурного фону в Європі у період 2016–2019 років порівняно з кліматичною нормою 1965–1994 років зумовило зменшення ефективного фонду робочого часу приблизно на 0,98% у секторах із підвищеним тепловим ризиком. Отримані оцінки свідчать про прямий зв'язок між інтенсифікацією теплового навантаження та втратою продуктивності праці в умовах просто неба, що актуалізує необхідність впровадження адаптаційних заходів у сферах із високою метеорологічною вразливістю.

1.2 Прогнозування впливу теплового стресу для міського населення м. Києва на фоні глобальних кліматичних змін

У межах цього підрозділу здійснено прогнозну оцінку впливу глобальних температурних змін на здоров'я міського населення через аналіз динаміки показника теплового стресу з урахуванням особливостей розпланування та реконструкції житлового фонду.

Вплив глобальних кліматичних змін на стан здоров'я населення урбанізованих територій доцільно розглядати на прикладі динаміки показника теплового стресу, який визначається, зокрема, НІ та характеризує суб'єктивно відчутну температуру, що сприймається організмом людини. Згідно з результатами дослідження [12], у найближчі десятиліття прогнозується посилення теплового стресу внаслідок глобального потепління. Наприклад, у праці [45] показано, що процеси урбанізації сприяють прискоренню зростання теплового стресу приблизно на 30% порівняно із заміськими територіями.

Для міст України зазначена проблематика набуває особливої актуальності в сучасних умовах, з огляду на зобов'язання держави щодо впровадження заходів із досягнення кліматичної нейтральності міського середовища, зокрема в контексті повоєнної відбудови.

Концепція досягнення кліматичної нейтральності міст України, зокрема м. Києва, передбачає в майбутньому необхідність мінімізації ефекту міського теплового острова з одночасним підвищенням рівня теплового комфорту перебування населення на прибудинкових територіях житлових мікрорайонів.

Вимоги щодо забезпечення високого рівня комфортності міського середовища відображені у міжнародних системах оцінювання якості життя, зокрема у рейтингу впорядкованості міст EIU Global Livability Ranking, де відповідні критерії враховуються вже на етапі проектування нових мікрорайонів та реконструкції існуючої забудови. Слід зазначити, що внаслідок погіршення соціально-економічної ситуації в Україні, спричиненого військовою агресією, позиції країни в зазначеному рейтингу залишаються невисокими: станом на 2015 рік м. Київ посідав 132 місце серед 140 міст світу [50].

Запровадження кліматично нейтральних технологій «зеленого» будівництва, заснованих на сучасних міжнародних практиках, сприяє підвищенню якості містобудівної діяльності з урахуванням екологічних та соціальних потреб суспільства [51–62]. Впровадження таких підходів передбачено, зокрема, в проєкті Стратегії розвитку м. Києва до 2035 року [63]. Комплекс заходів із пом'якшення наслідків зміни клімату, що включає розширення використання відновлюваних джерел енергії в будівлях малої поверховості, зниження енергоспоживання у багатоповерхових житлових та громадських спорудах, а також впровадження інноваційних технологій «зеленого» будівництва, відіграє важливу роль у процесі повоєнної реконструкції міст, що підтверджується результатами численних досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів [64–92].

Оцінка ризику для здоров'я людей, які перебувають, працюють або здійснюють фізичну активність в умовах підвищених температур, розглянута у праці [20] на основі показника температури вологого термометра (W). У дослідженні [19] показано, що підвищення температури навколишнього середовища на 2°C призводить до зростання значення W , особливо за умов підвищеної вологості повітря та високих показників температури за сухим термометром. Це свідчить про наявність взаємозв'язку між поступовими

глобальними кліматичними змінами та зростанням значень теплового індексу зовнішнього повітря на урбанізованих територіях.

Індекс тепла HI зазвичай визначається на основі регресійного рівняння Ротфуса [93]:

$$HI = -8.784695 + 1.61139411 \times T - 2.338549 \times RH - 0.14611605 \times T \times RH - 1.2308094 \times 10^{-2} \times T^2 (1) - 1.6424828 \times 10^{-2} RH^2 + 2.211732 \times 10^{-3} \times T^2 \times RH + 7.2546 \times 10^{-4} \times T \times RH^2 + 3.582 \times 10^{-6} \times T^2 \times RH^2 \quad (1.1),$$

де T – температура атмосферного повітря, а RH – відносна вологість повітря, що визначає суб'єктивне теплове відчуття людини.

Відповідно до шкали канадської метеорологічної служби, значення індексу тепла HI понад 30 спричиняють відчутний тепловий дискомфорт, перевищення 40 характеризується значним дискомфортом, а значення понад 45 вважаються небезпечними для здоров'я людини [45]. У випадку досягнення показником HI значення 54 ризик виникнення теплового удару стає практично неминучим [45].

Формула для визначення HI була запропонована J. M. Masterton та F. A. Richardson 1979 року [200]. На відміну від індексу тепла, що застосовується у США, цей показник базується переважно на значенні точки роси, а не на відносній вологості повітря [93].

Рівняння регресії Ротфуса за температурою в градусах Фаренгейта має вигляд [94]:

$$HI = -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times RH - 0.22475541 \times T \times RH - 0.00683783 \times T^2 - 0.05481717 \times RH^2 + 0.00122874 \times T^2 \times RH + 0.00085282 \times T \times RH^2 - 0.00000199 \times T^2 \times RH^2 \quad (1.2)$$

У процесі проєктування нових житлових районів доцільно передбачати заходи щодо пом'якшення нічного теплового стресу, а також враховувати процеси поглинання сонячної радіації поверхнями будівель – як світлопрозорими, так і непрозорими огорожувальними конструкціями, – та подальшу тепловіддачу в нічний період.

Важливим чинником у цьому контексті є орієнтація будівель відносно сторін світу та їх просторове розташування на території забудови. Під час

розрахунку енергетичного балансу будівлі на стадії проектування, як правило, враховується складова сонячних теплових надходжень [95]. Водночас такий чинник впливу на зазначену складову, як кутове розташування будівлі на місцевості, на нашу думку, наразі недостатньо врахований у чинних нормативних документах, що застосовуються для проєктних розрахунків.

На прикладі м. Києва було проведено дослідження взаємозв'язку між середньомісячною температурою повітря та такими метеорологічними показниками, як частота і нерівномірність опадів, відносна вологість повітря та значення теплового стресу за періоди 1981–2010 та 2020–2021 років. Для аналізу використано дані Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України та інформаційні ресурси Copernicus Climate Change Service [96; 97].

У результаті дослідження встановлено кліматичні залежності між значеннями теплового індексу НІ та відносною вологістю повітря для зазначених періодів спостережень у м. Києві, що відображено на графічних матеріалах (рис. 1.1). Аналіз отриманих залежностей свідчить про тенденцію до зростання значення індексу НІ за умов одночасного зменшення відносної вологості повітря.

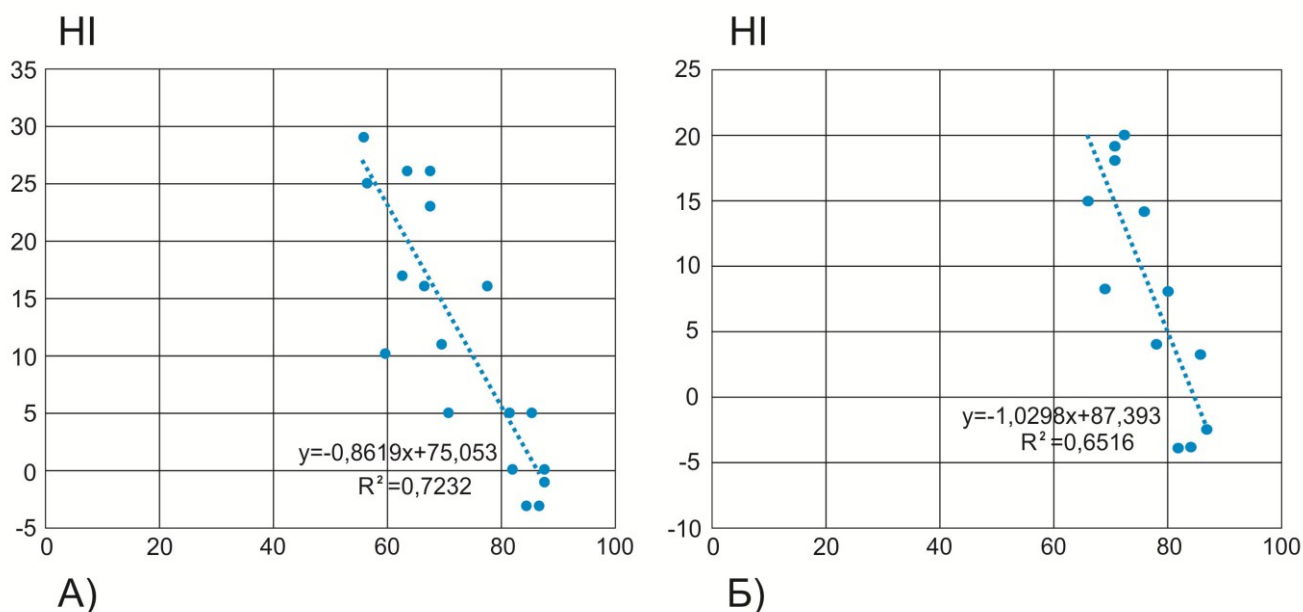


Рисунок 1.1. Залежності величини НІ від відносної вологості повітря:

А) період 1981–2010 років; Б) період 2020–2021 років

Проведений аналіз багаторічної динаміки показників вологості атмосферного повітря в м. Києві засвідчив тенденцію до поступового зниження абсолютної вологості на тлі прогнозованого підвищення температурних характеристик повітряного середовища. Зокрема, встановлені залежності між значенням НІ та середньомісячною температурою повітря для досліджуваних періодів характеризуються в Києві високими коефіцієнтами кореляції, які становлять відповідно 0,9167 та 0,995 (рис. 1.2). Аналіз отриманих результатів свідчить, що зростання значень індексу НІ найбільш виражене у найспекотніші місяці року, що підтверджує посилення теплового навантаження на міське середовище в умовах підвищення температури атмосферного повітря.

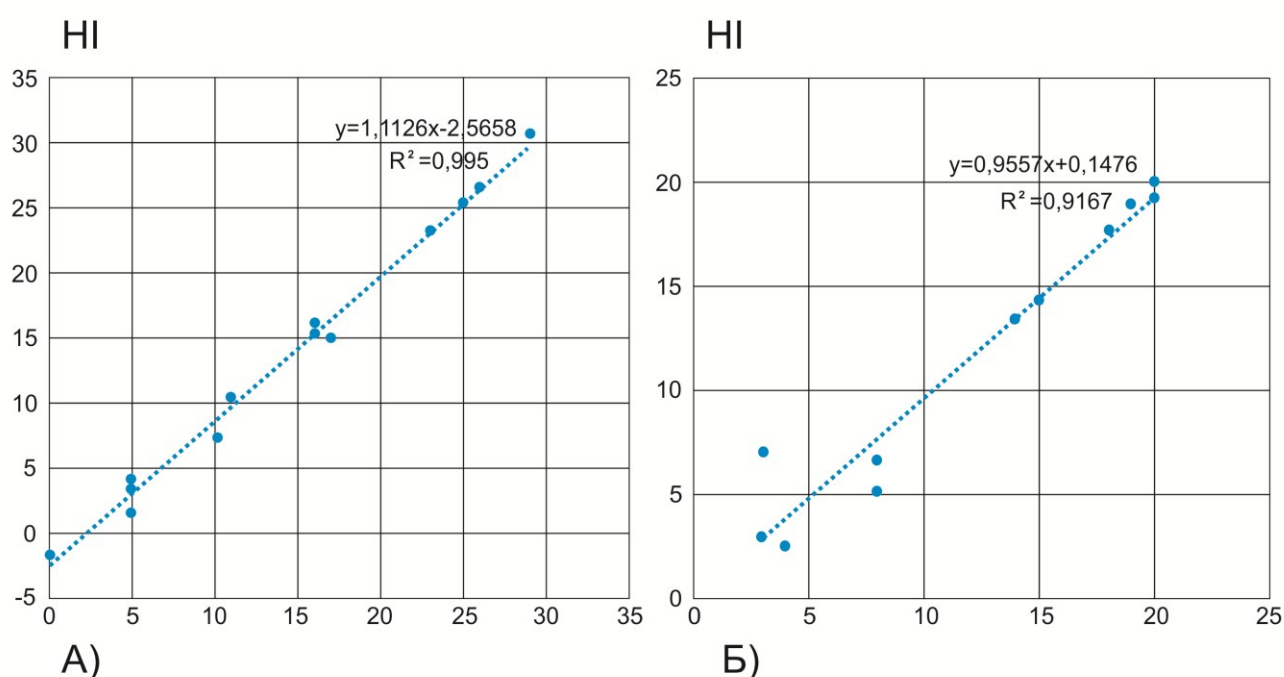


Рисунок 1.2. Залежності величини НІ від температури атмосферного повітря в періоди:
А) 1981–2010 роки; Б) 2020–2021 роки

У табл. 2 на основі даних баз Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського та Copernicus Climate Change Service наведено середньомісячні показники кількості атмосферних опадів у м. Києві для досліджуваних часових періодів: 1981–2020 роки та 1991–2020 роки, а також за окремими роками – 2022 та 2023 роки. Відповідно до рекомендацій ВМО

стандартним кліматологічним періодом для аналізу кліматичної інформації вважається інтервал 1991–2020 років, який найбільш повно відображає сучасні тенденції глобальних кліматичних змін.

Аналіз даних, наведених у *табл. 2*, свідчить про зміну частоти та нерівномірності випадіння атмосферних опадів у м. Києві протягом зазначеного періоду.

На *рис. 1.3* представлено залежності температури за W та граничні значення екологічного ризику для здоров'я населення м. Києва. Значення показника W визначалися за спрощеною формулою відповідно до методики, наведеної у [19]:

$$W = 0,567T + 0,393e + 3,94 \quad (1.3),$$

де T – температура в $^{\circ}\text{C}$, а e – фактичний тиск водяної пари, гПа.

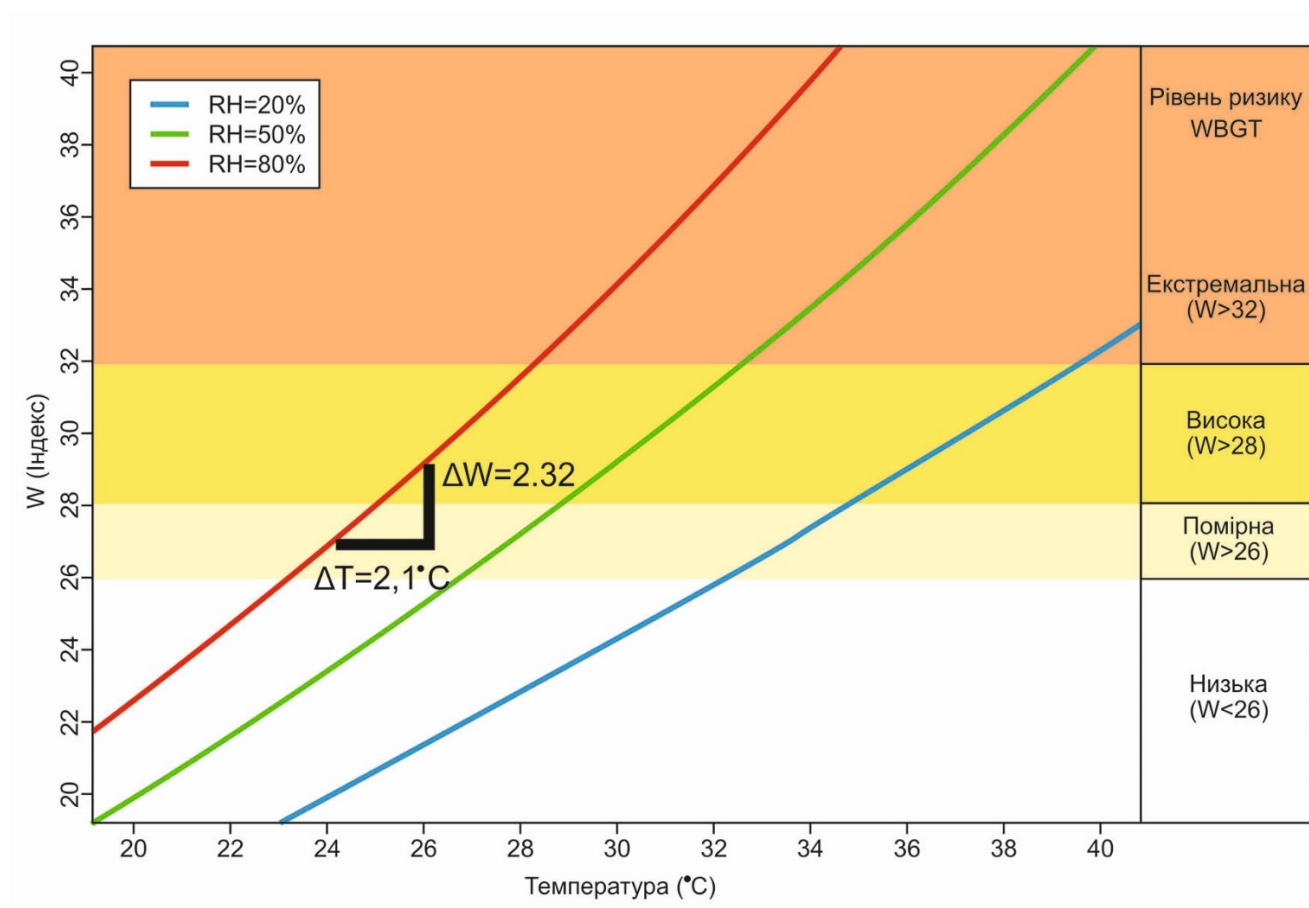


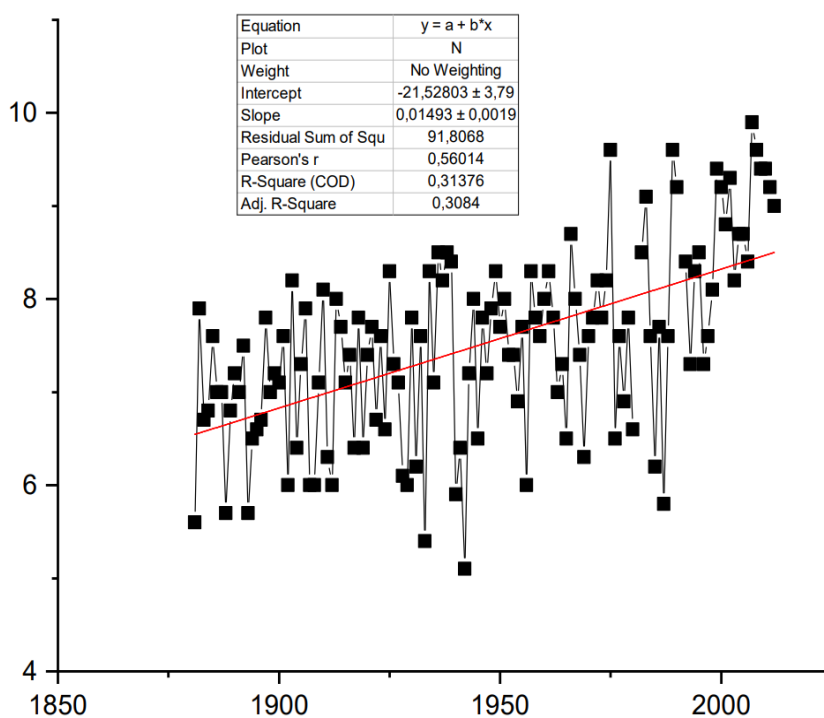
Рисунок 1.3. Залежності температури за W від рівня ризику для здоров'я населення

Таблиця 2. Динаміка середньомісячних значень кількості опадів по м. Києву, мм

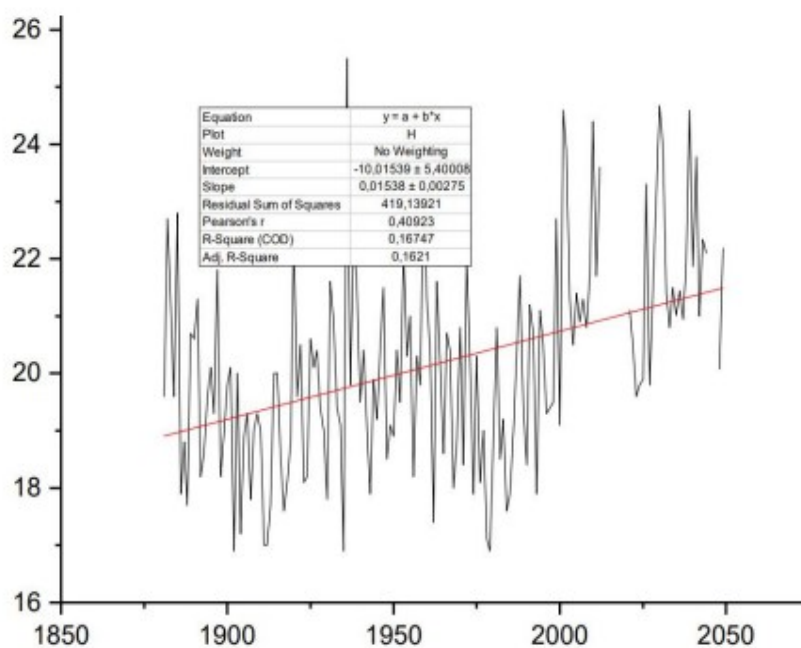
Місяць року	1981–2020 рр. за даними [22]	1991–2020 рр. за даними [23]	2022 р. за даними [23]	2023 р. за даними [23]
I	41	37	50	19
II	40	39	17	30
III	42	40	12	42
IV	54	42	42	102
V	66	65	33	1
VI	88	74	42	87
VII	95	68	40	136
VIII	64	56	60	19
IX	68	58	63	8
X	47	46	44	66
XI	52	46	99	98
XII	49	47	58	65
<i>Разом</i>	696	618	560	673

Відповідно до прогностичних оцінок зміни температурних показників, отриманих із використанням OriginPro 8, було побудовано графічні залежності прогностичної динаміки температури за сухим та вологим термометрами для м. Києва у липні до 2050 року. На *рис. 1.4* наведено результати аналізу динаміки температурних показників у м. Києві (А), а також прогностичні значення температури за сухим термометром для липня (Б). Такі графічні залежності відображають очікувану тенденцію зміни температурних характеристик атмосферного повітря в умовах подальших кліматичних трансформацій.

Дослідження показали, що прогностична динаміка температури за сухим і вологим термометрами в липні для території Києва має виразну тенденцію до зростання. Зокрема, для періоду 1991–2020 років відповідні показники становлять 21,9 °С та 23,853 °С; для 2021–2030 років – 24,136 °С та 26,24 °С; для 2030–2050 років – 26,371 °С та 28,918 °С (на кінець кожного з розглянутих періодів).



A)



Б)

Рисунок 1.4. Аналіз змін температурних показників на території м. Києва протягом періоду 1881–2020 років (А) та прогнозні оцінки для м. Києва до 2050 року (Б)

Результати проведених досліджень свідчать, що прогнозні значення температури за сухим і вологим термометрами для території Києва в липні характеризуються поступовим зростанням у різні часові періоди. Як-от, для періоду 1991–2020 років відповідні значення становлять 21,9 °С та 23,853 °С; для 2021–2030 років – 24,136 °С та 26,24 °С; для періоду 2030–2050 років – 26,371 °С

та 28,918 °C – відповідно на кінець розглянутих інтервалів.

Нанесення отриманих значень на графічну залежність, представлену на *рис. 1.3*, дає змогу оцінити можливий вплив прогнозованих кліматичних змін на стан здоров'я міського населення. Як видно з графіка (*рис. 1.4, Б*), до 2030 року очікується підвищення середньомісячної температури липня приблизно на 2,24 °C. За інших рівних умов і за відносної вологості повітря 80% це може призвести до переходу рівня ризику для здоров'я населення Києва, відповідно до шкали, запропонованої автором [20], – від помірного до високого. За умов відносної вологості 50% прогнозується зміна рівня ризику від низького до помірного. Разом з тим до 2050 року, навіть за відносної вологості на рівні 50%, ризик для здоров'я населення за наведеною шкалою оцінюватиметься як високий.

Відповідно до розглянутих кліматичних баз даних [96–98], екстремальні температурні значення для липня становили 25 °C у період 1981–2010 років та 25,5 °C у період 1991–2020 років. За умов підвищеної вологості повітря рівень ризику для здоров'я населення та ймовірність виникнення теплового стресу визначалися як високі.

Проведений у межах даного дослідження аналіз прогнозованого впливу кліматичних змін на стан здоров'я населення м. Києва свідчить про необхідність врахування заходів зі зниження температурних показників атмосферного повітря у найбільш спекотні місяці року під час розпланування та реконструкції міської забудови.

Одним із напрямів послаблення ефекту теплового куполу над містом може бути впровадження комплексу містобудівних і ландшафтно-розропланувальних рішень, зокрема облаштування внутрішніх озелених дворів, запобігання формуванню так званого явища «міського каньйону», збільшення площ зелених насаджень у межах міста, створення мікрокліматів, а також впровадження зелених дахів на існуючих будівлях. Важливу роль також відіграє застосування в будівництві сучасних покрівельних матеріалів із підвищеним коефіцієнтом відбиття сонячної радіації та використання інноваційних матеріалів для заощення міських територій.

Підвищення комфортності проживання в міському середовищі потребує впровадження як інноваційних енергоефективних технологій охолодження будівель у спекотний літній період, так і відповідних заходів з благоустрою прибудинкових територій. Додаткові можливості для зниження температурних показників на прилеглих територіях можуть бути досягнуті завдяки варіативності розміщення проєктованих будівель у межах генерального плану та оптимізації їх об'ємно-просторових характеристик із урахуванням рельєфу місцевості вже на стадії проєктування.

У межах нашого дослідження також було здійснено оцінку рекреаційного навантаження в адміністративних районах Києва як одного з потенційних механізмів зниження прогнозованого ризику для здоров'я населення та підвищення рівня його комфортного перебування в міському середовищі. За результатами аналізу визначено розподіл середнього рекреаційного навантаження на паркові та зелені зони у розрізі адміністративних районів міста, що представлено на *рис. 1.5*.

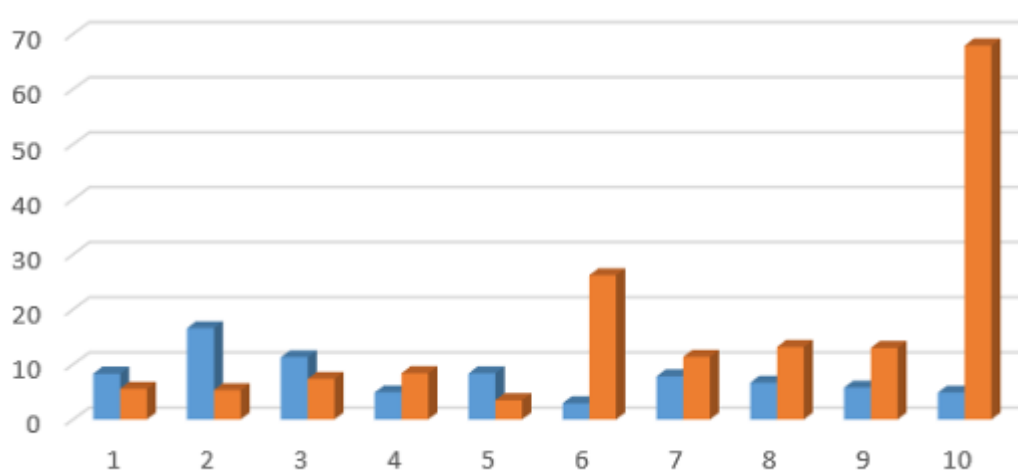


Рисунок 1.5. Розподіл розрахованого рекреаційного навантаження (люд./дн./га) – синій колір; площі зеленої зони по районах міста (км²) – коричневий колір.

Райони міста: 1 – Шевченківський; 2 – Солом'янський; 3 – Святошинський; 4 – Подільський; 5 – Подільський; 6 – Оболонський; 7 – Деснянський; 8 – Дніпровський; 9 – Дарницький; 10 – Голосіївський

Для порівняння оптимальної та граничної рекреаційної місткості зелених зон для Києва було використано джерело [99]. За проведеними розрахунками,

оптимальна місткість складає відповідно, $E_{\text{опт}} = 84\,860$ люд./дн, а гранична – $E_{\text{гр}} = 254\,902$ люд./дн. Результат аналізу за окремими районами міста зведено в *табл. 3*.

Таблиця 3. Значення фактичної рекреаційної місткості в розрізі адміністративних районів м. Києва

Адміністративний район	$E_{\text{опт}}$, люд./дн Фактична рекреаційна місткість	$E_{\text{гр}}$, люд./дн Гранично допустима місткість
Шевченківський	4670,4	6720
Солом'янський	8897,6	6432
Святошинський	8391,6	8880
Подільський	4141,2	10080
Печерський	2936,5	4200
Оболонський	7702,8	31440
Деснянський	8960,4	13680
Дніпровський	8830,8	15840
Дарницький	7563,2	15648
Голосіївський	5506,4	81576

З *табл. 3* видно, що в розрізі Солом'янського району існуюча рекреаційна місткість перевищує гранично допустиму (8 897,6 люд./дн. і 6 432 люд./дн. відповідно), в Святошинському та Шевченківському наближується до граничної.

Величину рекреаційного навантаження в показнику люд./дн./га, що створюють жителі району міста, розраховували за формулою [99]:

$$N = a \cdot P / t_d D S \quad (1.4),$$

де: a – рекреаційна активність одного жителя міста за комфортний період, год; P – населення району міста, осіб; t_d – тривалість умовного облікового дня, год; D – тривалість комфортного періоду (для наших умов 210 днів), днів; S – загальна площа рекреаційного використання, га.

Розрахунок оптимальної та граничної місткості виконано за формулою [99]:

$$E = \sum_{i=1}^k n_i^{\max} \cdot S_i, \quad (1.5)$$

де: E – екологічно допустима (оптимальна або гранична) рекреаційна місткість території, люд./дн.; $n_i^{\max}$ – оптимальне або граничне рекреаційне навантаження, за якого природні комплекси переходять до 2-ї або 3-ї стадії дигресії, люд./дн./га; S_i – площа i -ї ділянки зеленої зони відповідного класу стійкості, га.

На підставі результатів проведених досліджень можна зробити висновок, що прогнозоване підвищення температурних показників у літній період на прибудинкових територіях у поєднанні з підвищеною вологістю повітря сприятиме зростанню рівня теплового стресу для населення, особливо в районах із високою щільністю забудови. У зв'язку з цим заходи щодо зменшення негативного впливу кліматичних чинників на міське населення доцільно передбачати вже на етапі розроблення проєктної документації із застосуванням підходів і технологій «зеленого» будівництва.

Застосуванню елементів BGI з метою підвищення кліматичної стійкості та забезпечення багатофункціонального розвитку міських територій присвячені дослідження, наведені у праці [100]. На основі аналізу світового досвіду впровадження концепції «міста-губки», з особливим акцентом на використанні зелених конструкцій, авторами було здійснено оцінку економічних витрат і потенційних вигід від реалізації відповідних проєктів. У результаті встановлено взаємозв'язок між обсягами інвестиційних витрат та отриманими позитивними ефектами, зокрема енергозбереженням, секвестрацією вуглецю, продукуванням кисню зеленими насадженнями та конструкціями, покращенням якості атмосферного повітря і зменшенням інтенсивності формування міського теплового острова.

1.3 Вплив глобальних кліматичних змін на складові навколишнього середовища та існуючі технології захисту при реконструкції об'єктів у м. Києві

Інтенсивність відбиття сонячного випромінювання урбанізованими територіями та будівлями значною мірою залежить від особливостей міського рельєфу. Глобальні кліматичні зміни можуть мати істотний вплив на функціонування міських екосистем і потребують розроблення адаптаційних заходів і стратегій пом'якшення їхніх наслідків із метою забезпечення сталого розвитку міст [101–104].

Концепція сталого розвитку у сфері «зеленого будівництва» передбачає насамперед підвищення економічної конкурентоспроможності міського середовища, зменшення енерго- та матеріаломісткості будівництва, мінімізацію ризиків для здоров'я та безпеки населення, зокрема у випадку аварійних ситуацій чи небажаних подій під час виконання будівельних робіт. Національні рейтингові системи «зеленого будівництва» формуються відповідно до чинної нормативної бази у сферах будівництва, енергозбереження та екології, враховують національні особливості й традиції. У той же час, на нашу думку, вони поки що недостатньо гармонізовані з міжнародними моделями-стандартами «зеленого будівництва», які застосовуються у країнах-лідерах цієї сфери (США – LEED, Велика Британія – BREEAM, Німеччина – DGNB) [41, 105].

Рельєф Києва характеризується складною морфологічною структурою з чергуванням височинних і низовинних територій, розташованих по обидва боки Дніпра: правобережна частина міста переважно представлена височинами Київського плато, тоді як лівобережжя має переважно низовинний характер рельєфу [106].

За сучасних умов, у процесі реконструкції та відновлення будівель, пошкоджених або зруйнованих внаслідок воєнної агресії, необхідно враховувати як просторові особливості території, так і прогнозовані кліматичні зміни з метою забезпечення комфортних умов проживання населення. Зокрема, зміни клімату

можуть впливати на стійкість ґрунтів на схилах, що здатне спричиняти зсувні процеси та обвали. Коливання температури повітря, нерівномірність випадіння опадів можуть призводити до просідання ґрунтів, утворення тріщин і змін їхніх фізико-механічних властивостей, що, своєю чергою, впливає на надійність будівель і об'єктів інфраструктури. Крім того, трансформації у структурі та розподілі зелених насаджень, зумовлені кліматичними змінами, можуть суттєво впливати як на просторово-ландшафтний вигляд міста, так і на ефективність природного охолодження прибудинкових територій.

У праці [41] як приклад реалізації масштабного інфраструктурного проєкту в Києві наведено реконструкцію Поштової площі, яка стала одним із найбільших проєктів такого типу, реалізованих у передвоєнний період. Виконання реконструкції передбачало врахування складних інженерно-геологічних умов будівельного майданчика, дотримання принципів «зеленого будівництва» в умовах щільної міської забудови.

Під час реалізації проєкту було необхідно забезпечити відсутність зсувних деформацій прилеглих схилів на етапах розроблення котловану, будівництва та подальшої експлуатації споруди, збереження цілісності навколишніх будівель, безпечне функціонування лінії метрополітену, підтримання природного гідрогеологічного режиму території, а також міцність і надійність новозбудованих конструкцій. Моніторинг можливих негативних процесів здійснювався протягом усього періоду реконструкції, а його результати висвітлені у працях автора [38–40].

Імовірність розвитку зсувних процесів оцінювалася з урахуванням інженерно-геологічних умов ділянки будівництва, які були віднесені до III категорії складності. Контроль деформацій тунелів метрополітену здійснювався із застосуванням інклінометричних вимірювань, спостереження за рівнем підземних вод проводилося за допомогою п'єзометричних свердловин, тоді як контроль за станом навколишніх споруд виконувався інструментальними геодезичними методами. Результати моніторингу під час реалізації проєкту показали, що зафіксовані показники перебували в межах допустимих значень,

встановлених чинними будівельними нормами України. В межах проведених досліджень не враховувався довгостроковий прогноз впливу кліматичних змін на компоненти довкілля. Незначні осідання фундаментів (у межах 2–4 мм) були зафіксовані для будівлі на Поштовій площі, що є пам'яткою архітектури (будівля пошти). Відповідно до вимог ВСН 490-87 (1987) максимально допустимі деформації основ фундаментів становлять 10 мм. Осідання до 3 мм, спричинені впливом нового будівництва, також не перевищували гранично допустимих значень. Разом з тим у 2015 році було виконано додаткове підсилення конструкцій будівлі та її фундаментів.

Висока щільність забудови міського простору зумовлює активне освоєння підземного середовища міста, зокрема шляхом спорудження підземних паркінгів, ліній метрополітену, а також інших промислових і соціальних об'єктів. Такі процеси можуть призводити до порушення природного гідрогеологічного режиму територій. Одним із негативних наслідків є підтоплення міського середовища, що виникає внаслідок створення штучних перешкод для природного руху ґрунтових вод. Подібні явища сприяють скороченню терміну експлуатації будівель і споруд, а також можуть призводити до невідповідності умов їх функціонування санітарним нормам. Результати тривалих моніторингових спостережень за деформаціями огорожувальної конструкції котловану на будівельному майданчику офісного центру за адресою вул. Болсуновська, 13–15 у Печерському районі засвідчують тенденцію до активізації негативних природно-техногенних процесів у просторово-часовому вимірі. Зокрема, відзначається зростання площ підтоплення, а також прояви просідань, зсувних процесів та інших небезпечних геодинамічних явищ [37]. Спостереження здійснювалися відповідно до вимог чинного нормативного документа ДБН В.1.2-14:2018 (2018).

Відповідно до чинної нормативної бази проєктування, будівництво та експлуатація будівель і споруд повинні супроводжуватися науково-технічним супроводом, що передбачає проведення відповідного моніторингу. Ці вимоги регламентуються такими нормативними документами, як ДБН Б.1.2-5:2007, ДБН Б.1.2-12-2008 та ДБН Б.1.2-14-2009, в яких у різному обсязі відображено питання

організації та проведення інженерного моніторингу. Під час спостережень за станом будівлі на Поштовій площі (пам'ятка архітектури – будівля пошти) було зафіксовано незначні осідання фундаментів у межах 2–4 мм. Згідно з нормативами, максимально допустимі деформації (осідання) основ фундаментів становлять 10 мм. Осідання до 3 мм, зафіксовані протягом періоду спостережень тривалістю 957 днів, не перевищували гранично допустимих значень, встановлених для впливу нового будівництва. У 2015 році було виконано підсилення конструкцій будівлі пошти та її фундаментів [38–41].

Крім того, зафіксовано розкриття тріщин у конструкціях житлового будинку за адресою провулок Мар'яненка, 7, які виникли внаслідок облаштування котловану під будівництво житлового комплексу за адресами вул. Мечникова, 9А та 11 і Кловський узвіз, 12А [37]. Проведений аналіз стану київських новобудов свідчить про необхідність приведення технічного стану існуючого житлового фонду до сучасних нормативів. Це потребує проведення комплексних інженерних обстежень, організації системного моніторингу технічного стану будівель, а також реалізації заходів з їхньої реконструкції та підсилення. Важливим елементом такого підходу є врахування впливу сонячної радіації на прибудинкові території та просторову організацію забудови, що сприятиме підвищенню комфортності проживання населення в умовах щільної міської забудови [107–112].

Висновки до розділу 1

1. Дослідження температурного режиму міських територій упродовж останніх десятиліть, його прогностичні оцінки на перспективу свідчать про те, що глобальні кліматичні зміни сприяють формуванню так званого теплового купола над містами та суттєво впливають на зростання прогнозованого ризику виникнення теплового стресу населення. Оцінювання такого ризику здійснюється з використанням показників WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) та HI (Heat Index). Отримані результати обґрунтовують необхідність подальших досліджень,

спрямованих на зниження температурного режиму прибудинкових територій у межах квартальної міської забудови з метою забезпечення комфортних умов перебування населення на відкритому повітрі.

2. Між змінами клімату, мікрокліматичними умовами та комплексом фізичних, хімічних і біологічних факторів існує складна взаємодія, що безпосередньо впливає на стан здоров'я населення та працівників, зайнятих на відкритому повітрі, у тому числі на прибудинкових територіях. Кліматичні трансформації призводять до істотних змін умов праці, підвищуючи ризик негативного впливу високих температур. Значна частка нещасних випадків пов'язана з несприятливими фізичними умовами праці, зокрема з надмірним тепловим навантаженням. Для оцінювання теплового впливу на працівників, які виконують роботи на відкритому повітрі, широко застосовується показник WBGT, або індекс температури вологого термометра.

3. У межах даного розділу проведено аналіз прогностичного впливу кліматичних умов на стан здоров'я населення м. Києва. Отримано залежності величини HI від температури повітря за сухим та вологим термометрами, а також відносної вологості атмосферного повітря. Результати досліджень показали, що прогнозна динаміка температури за сухим і вологим термометрами у липні для території міста становить: для періоду 1991–2020 років – відповідно 21,9 °C та 23,853 °C; для періоду 2021–2030 років – 24,136 °C та 26,24 °C; для періоду 2030–2050 років – 26,371 °C та 28,918 °C. Ці значення характеризують прогнозоване зростання температурних показників наприкінці кожного з розглянутих періодів (за показниками сухого термометра).

4. За результатами отриманих прогностичних оцінок встановлено, що до 2050 року значення теплового індексу може зрости майже на 30 %. За таких умов ризик негативного впливу на здоров'я населення, яке перебуває на прибудинкових територіях, а також працівників, зайнятих на відкритому повітрі, оцінюватиметься як «високий» за відносної вологості повітря 80 %, «помірний» – за відносної вологості 50 %, та «низький» – за відносної вологості 20 %.

5. Результати проведених досліджень та аналіз наукових джерел свідчать

про необхідність урахування комплексу заходів щодо зниження температури атмосферного повітря на прибудинкових територіях під час розпланування міської забудови, особливо в найбільш спекотні періоди року. До таких заходів належать: формування внутрішніх озелених дворів, запобігання утворенню явища «міського каньйону», збільшення площі зелених насаджень за рахунок використання вільних міських територій, створення зелених дахів на існуючих будівлях, застосування сучасних покрівельних матеріалів із високим коефіцієнтом відбиття сонячного випромінювання, а також використання спеціальних матеріалів для замощення поверхонь, здатних ефективно відбивати сонячне тепло.

6. У межах проведених досліджень також здійснено оцінювання рекреаційного навантаження в адміністративних районах Києва як одного з потенційних інструментів зниження прогнозованого ризику для здоров'я населення та покращення умов його перебування в міському середовищі. У результаті було визначено розподіл середнього рекреаційного навантаження на паркові та інші зелені зони в розрізі адміністративних районів міста.

7. Додатковим фактором, здатним впливати на формування теплового купола міста, є варіативність розміщення проєктованих будівель і формування їхньої об'ємно-просторової структури з урахуванням поверховості та використання сучасних інноваційних будівельних матеріалів. За умови раціональної схеми забудови територій, оптимального співвідношення площ зелених насаджень, фасадних поверхонь будівель і замощених територій можливе регулювання температурного режиму та повітрообміну в міському середовищі. Відповідні підходи до формування міського простору доцільно враховувати вже на стадії проєктування, беручи до уваги прогнозований вплив глобальних кліматичних змін на компоненти навколишнього середовища.

Основні положення розділу опубліковані автором у працях [1; 2; 3; 5; 8–14]. Список використаних у розділі джерел наведено в загальному списку використаних джерел [1–112].

Розділ 2

ІСНУЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ПЕРЕГРІВУ ПОВЕРХОНЬ І ЗМЕНШЕННЯ ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЖИТЛОВУ ЗАБУДОВУ

2.1 Застосування технологій «зеленого» будівництва для зниження температурного показника відкритого повітря

Світовий досвід у розплануванні міських поселень визначає: під час створення міської житлової забудови необхідно враховувати заходи щодо адаптації до наявних і прогнозованих кліматичних ризиків, які виникають унаслідок глобальних кліматичних змін. Сучасні тенденції розвитку «зеленого» будівництва, а також архітектурно-розропланувальні підходи спрямовані на протидію кліматичним викликам із одночасним підвищенням рівня комфортності проживання населення. Зазначена проблематика широко висвітлюється у працях зарубіжних і вітчизняних дослідників [113–119, ін.].

У праці [117] проаналізовано роль будівельної галузі у досягненні Цілей сталого розвитку ООН. У дослідженнях [113; 121–125] розглянуто основні чинники, які сприяють формуванню явища міського «теплового острова», серед таких виділяють наступні:

- зменшення природного охолоджувального ефекту, пов'язаного із затіненням територій та процесами випаровування;
- фізичні властивості міських будівельних матеріалів, які сприяють інтенсивному поглинанню сонячної енергії, внаслідок чого поверхні та прилеглі повітряні маси в міських районах нагріваються сильніше, ніж у сільській місцевості;
- висота та взаємне розташування будівель, а також відстані між ними, що визначають інтенсивність поглинання та повторного випромінювання сонячної

радіації міською інфраструктурою і залежать від орієнтації забудови відносно сторін світу;

- антропогенні теплові викиди;
- метеорологічні умови;
- географічне положення й особливості рельєфу місцевості (зокрема близькість до великих водойм або гірських масивів), які можуть впливати на локальні режими вітру та процеси формування міського теплового острова.

Для прогнозування формування міських теплових островів застосовують різноманітні методи дослідження, в числі яких методи математичного моделювання, що включають чисельні та емпіричні моделі, використання даних дистанційного зондування Землі, непрямі методи вимірювання та інші підходи, детально описані в працях [113; 126–129, ін.]. Результати світових і вітчизняних досліджень дозволили виділити шість основних аспектів, які зумовлюють формування міських теплових островів, а саме:

- наявність водонепроникних заощених та асфальтованих поверхонь, які спричиняють перенаправлення поверхневого стоку до систем зливової каналізації або міських водойм, що порушує природні механізми охолодження території;
- покрівельні покриття будівель, особливо темних кольорів, які інтенсивніше поглинають сонячну енергію та акумулюють тепло;
- значна теплова маса будівельних конструкцій, здатна накопичувати тепло протягом дня та поступово віддавати його у нічний період;
- зменшення площі зелених насаджень;
- антропогенні теплові викиди, пов'язані, зокрема, з функціонуванням систем кондиціонування повітря;
- вплив глобальних кліматичних змін.

У процесі освоєння нових територій доцільно передбачати комплекс заходів, спрямованих на запобігання формуванню міських теплових островів. Реалізація стратегій їхнього зменшення має низку позитивних ефектів, серед яких – зниження температури поверхні та атмосферного повітря, зменшення енергоспоживання, скорочення рівня забруднення повітря і викидів парникових

газів, а також підвищення комфортності перебування населення на прибудинкових територіях.

У цьому підрозділі дисертації проаналізуємо сучасні технології «зеленого» будівництва, спрямовані на зниження інтенсивності міських теплових островів та запобігання їх формуванню, що, відповідно, сприяє зменшенню температурних показників на прибудинкових територіях.

2.1.1 Холодні тротуари

Технології «холодних тротуарів» передбачають використання спеціальних матеріалів дорожнього покриття – як нових, так і модернізованих існуючих, – які характеризуються зниженою здатністю до акумулювання тепла, забезпечують нижчу температуру поверхні порівняно з традиційними покриттями. Застосування таких рішень може частково зменшити прояви ефекту міського теплового острова, формування якого значною мірою пов'язане з підвищеним нагріванням асфальтованих поверхонь.

Дослідження, проведені фахівцями Масачусетського технологічного інституту, показали, що площа охолоджувальних дорожніх покриттів може становити близько 40% міської дорожньої інфраструктури в містах США [130]. Впровадження таких технологій у містах Бостон та Фінікс сприяло послабленню ефекту міського теплового острова, що дозволило знизити температуру атмосферного повітря приблизно на 2 °C.

Ефективність використання охолоджувальних дорожніх покриттів частково залежить від локальних кліматичних умов і морфологічних характеристик міської забудови. Зниження температури поверхні може супроводжуватися перерозподілом теплових потоків і збільшенням теплового впливу на прилеглі будівлі. Зниження температури поверхні тротуарів сприяє зменшенню потреби в кондиціонуванні приміщень у літній період і водночас може призводити до певного зростання потреби в опаленні взимку. З іншого боку, підвищена відбивна здатність покриття спричиняє відбиття сонячної радіації на фасади прилеглих

будівель, що, навпаки, здатне збільшити потребу в кондиціонуванні влітку, хоча й зменшує потребу в опаленні взимку. У праці [130] наведено результати досліджень щодо оцінювання ефективності впровадження охолоджувальних тротуарів як складової міської інфраструктури.

Підвищення альbedo поверхні дорожніх покриттів зменшує передачі теплової енергії до поверхні та створює локальний охолоджувальний ефект. За оцінками дослідників [130], за умови, що загальна площа урбанізованих територій у світі становить близько 4 млрд. км², навіть часткова заміна традиційного асфальтового покриття на матеріали з підвищеним альbedo може утримати значний екологічний ефект. Якщо приблизно 7,5% міських територій буде покрито асфальтом (для порівняння: у Фініксі цей показник становить 7,7%, в Бостоні – близько 15%), то заміна традиційного дорожнього покриття на охолоджувальне потенційно дозволить знизити викиди парникових газів у межах 0,9–3,1-метричних тон СО₂-еквіваленту протягом наступних 50 років [132].

Практичні результати впровадження таких технологій підтверджуються досвідом окремих міст. Наприклад, у Лос-Анджелесі застосування охолоджувальних дорожніх покриттів позитивно вплинуло на щорічну економію, що становило понад \$90 млн. завдяки зменшенню енергоспоживання [133].

В умовах зростання зацікавленості у використанні проникних дорожніх покриттів, здатних пропускати повітря, воду, водяну пару, забезпечуючи зниження температури поверхні за певних умов вологості, розроблено низку технологічних рішень, спрямованих на підвищення їх екологічної ефективності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище [131]. Серед основних типів таких покриттів виділяють:

– пористі бетонні покриття (Pervious Concrete), які характеризуються високим вмістом крупного заповнювача (щебеню) та мінімальною кількістю піску і цементу, що формує відкриту пористу структуру матеріалу. Завдяки цьому атмосферні опади можуть інфільтруватися крізь пори у підстильний ґрунтовий шар, проходячи природне очищення. Такі покриття широко застосовуються для облаштування паркувальних майданчиків і тротуарів, а також сприяють

ефективному управлінню зливовими водами;

- проникний асфальт (Porous Asphalt), що за принципом функціонування подібний до пористого бетону, однак у його складі використовується асфальтове зв'язувальне. Така структура також забезпечує проникність води, сприяє зменшенню поверхневого стоку;

- решітчасті покриття з наповнювачем являють собою конструкції у вигляді пластикових або бетонних решіток, які заповнюються гравієм, ґрунтом або трав'яним покривом. Подібні системи забезпечують ефективний дренаж, одночасно підвищуючи механічну стійкість поверхні;

- тротуарна плитка розглядається як ефективна альтернатива традиційним дорожнім покриттям для використання на автостоянках, складських і комерційних територіях, у приватному секторі. До її переваг належать висока міцність, здатність зберігати геометричну стабільність навіть за значних температурних коливань, простота та швидкість монтажу. Крім того, таке покриття забезпечує природну фільтрацію води, сприяє зменшенню забруднення поверхневих водойм, а в окремих випадках – поповненню запасів ґрунтових вод. Важливою перевагою є також можливість швидкого доступу до підземних комунікацій та екологічна безпечність, оскільки бетонні елементи не плавляться і не виділяють шкідливих випарів або запахів [131];

- газонні решітки являють собою пористі модульні конструкції, призначені для зміцнення ґрунтового покриву та захисту кореневої системи газонної рослинності, а також природних екосистем від механічних пошкоджень. Такі системи використовуються для облаштування зелених пішохідних зон, ігрових майданчиків, а також так званих екопарковок, що поєднують функціональність дорожнього покриття з елементами озеленення.

Існують різні технологічні підходи до створення охолоджувальних дорожніх покриттів. Зокрема, у дослідженні [134] японські вчені оцінили ефективність застосування водоутримувальних покриттів як одного з різновидів проникних покриттів у міському середовищі. Експериментальні випробування було проведено в низці міст Японії, зокрема в Токіо та Осаці.

Пористі покриття на основі асфальту або бетону в таких системах поєднуються з водоутримувальним підшаром, сформованим із матеріалів, здатних поглинати та накопичувати вологу. За умов підвищення температури поверхні волога, що міститься у підшарі, випаровується завдяки капілярному ефекту, забезпечуючи додаткове охолодження покриття. У деяких конструктивних рішеннях передбачено інтеграцію підземних трубопроводів, які підтримують необхідний рівень вологості покриття.

Як один із ефективних способів зменшення перегрівання міського середовища автори [201] пропонують систему вологого блочного покриття з водоподачею, що забезпечує стабільне підтримання зволоженого стану навіть за умов високих температур. У цій системі водопостачальна мережа інтегрується безпосередньо у структуру водоутримувального блочного покриття. Конструкція включає подавальну трубу, водонаправляючий лист, датчик опадів і панель керування. Вода, що подається через водонаправляючий елемент, транспортується до водоутримувальних блоків капілярним шляхом через піщану основу, що забезпечує ефективне випарне охолодження навіть у суху та спекотну погоду. Завдяки цьому температура поверхні покриття в літній період може підтримуватися на рівні близько 25 °С. Експериментальні випробування системи включали денні цикли зрошення. Водоутримувальні покриття були встановлені на різних типах міських територій – узбіччях доріг, у парках і на площах – загальною площею понад 200 000 м². Результати досліджень показали, що застосування таких покриттів є ефективним засобом підтримання зниженої температури поверхні.

У студії [139] також розглянуто фізичні властивості та принципи функціонування сучасних охолоджувальних дорожніх покриттів, зокрема їхню відбивну здатність (альbedo), теплове випромінювання, теплопровідність, теплоємність, проникність. Проаналізовано типи таких покриттів, окреслено напрями подальших досліджень у сфері застосування світловідбивних матеріалів, розглянуто технології обслуговування й відновлення охолоджувальних покриттів, включно з проникними системами, з урахуванням практики використання в

країнах ЄС.

Показовим прикладом урахування холодних покриттів у тепловому балансі міського середовища є тематичне дослідження їхнього застосування в умовах щільної міської забудови в місті Афіни [140]. У межах цього проєкту було здійснено реконструкцію території площею близько 16 000 м² із використанням нових матеріалів покриття з підвищеною відбивною здатністю, елементів озеленення та систем теплообміну типу «земля–повітря». Результати дослідження показали, що заміна традиційних покриттів на охолоджувальні може забезпечити зниження максимальної температури навколишнього середовища в досліджуваному районі на 1,2–2,0 °C.

За оцінками дослідників Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), кожне підвищення коефіцієнта відбиття сонячного випромінювання на 10% здатне знизити температуру поверхні приблизно на 7 °F (близько 4 °C) [141]. Крім того, було прогнозовано, що збільшення коефіцієнта відбиття сонячного випромінювання дорожніми покриттями на території міста Лос-Анджелес з 10% до 35% може потенційно сприяти зниженню температури атмосферного повітря приблизно на 1 °F (0,6 °C).

У студії [142] проаналізовано ефективність комплексного підходу, що передбачає поєднання використання світловідбивних покриттів із розширенням площі зелених насаджень. Реалізація такого підходу в окремих районах Лос-Анджелеса дозволила досягти зниження температури повітря приблизно на 1,5 °F (0,8 °C) завдяки підвищенню альбедо міських поверхонь.

Ці та інші дослідження показують, що під час проєктування міської інфраструктури необхідно враховувати низку чинників, які визначають ефективність охолодження поверхонь. До них належать: інтенсивність конвективного теплообміну, яка залежить від швидкості руху повітря, температури навколишнього середовища, шорсткості поверхні та загальної площі дорожнього покриття; теплопровідність і теплоємність матеріалів; товщина покриття; морфологічні параметри забудови, у тому числі розміри та взаємне розташування будівель; географічна широта місцевості, сезонні особливості

клімату.

Аналіз сучасних наукових досліджень щодо впливу охолоджувальних дорожніх покриттів на мікроклімат прибудинкових територій свідчить про потенціал їх використання для зниження температури міського середовища. Впровадження таких технологій підвищує міру комфортності перебування населення на відкритому повітрі. Але під час планування забудови нових територій необхідно враховувати чинники, які взаємодіють між собою і визначають ймовірність формування теплового купола над урбанізованими територіями з метою вибору оптимальних конструктивних рішень дорожніх покриттів.

2.1.2 Збільшення частки рослинного покриву в міському середовищі

Комфортність міського середовища визначається комплексом чинників, серед яких провідну роль відіграють мікрокліматичні умови, рівень освітленості, акустичний комфорт, міра забруднення атмосферного повітря, суб'єктивне відчуття затишку.

Серед зазначених чинників озеленення посідає одне з перших місць, адже деревна та трав'яниста рослинність сприяє зниженню температури довкілля завдяки процесам затінення та евапотранспірації, які забезпечують природне охолодження повітря.

Дослідження наукових колективів NASA / GSFC / METI / ERSDAC / JAROS та ASTER (США / Японія) показали, що в літній період лише 10–30% сонячної радіації досягає поверхні під кронами дерев, тоді як основна частина енергії поглинається листям або відбивається назад в атмосферу [130]. У зимовий період частка сонячного випромінювання, що проходить крізь крону дерев, суттєво збільшується і може становити 10–80%, що пов'язано зі зменшенням густоти листяного покриву.

Слід зазначити, що на сучасному етапі більшість великих міст України характеризуються недостатнім рівнем озеленення, який не відповідає чинним

нормативним вимогам щодо площ зелених насаджень [144; 145]. Підвищення температурних показників унаслідок кліматичних змін обумовлює необхідність реалізації адаптаційних заходів у міському плануванні, зокрема формування та розвитку зеленого каркасу міст, що передбачає систему зелених коридорів, пішохідних маршрутів, водно-зелених діаметрів.

Згідно з результатами дослідження ініціативи «Сад історій» та Інституту космічних досліджень НАН України і Державного космічного агентства України, у 2023 році середня літня температура повітря о 10:00 ранку у значній частині міста Рівне становила близько $+27^{\circ}\text{C}$. Такі самі тенденції підвищення температури були прогнозовані також для Києва, Львова, інших великих міст [23; 145].

У багатьох містах ЄС активно впроваджуються концепції зелених коридорів (Green Links) – системи пішохідних маршрутів, які поєднують міські парки через мережу скверів, алей і променадів, забезпечуючи мінімальний контакт із транспортними потоками. Прикладом реалізації такої практики є система зелених коридорів у місті Відень [146].

З метою зниження ризику підтоплення територій у Німеччині в місті Берлін активно впроваджується концепція «місто-губка» (sponge city). Вона охоплює проєктування зелених зон таким чином, щоби під час інтенсивних опадів дощові води спрямовувалися не до міської каналізаційної системи, а до спеціально облаштованих стійких дренажних систем уздовж доріжок і пішохідних маршрутів. У посушливі періоди такі системи сприяють додатковому зволоженню та охолодженню міського середовища, покращуючи мікроклімат урбанізованих територій [146; 147].

Відповідно до рекомендацій ВООЗ, оптимальна забезпеченість населення міськими зеленими насадженнями повинна становити близько 50 м^2 озелених територій на одного мешканця. Міста, в яких частка зелених насаджень становить менше 10% загальної площі території, вважаються несприятливими за умовами озеленення, тоді як сприятливими визнаються ті, де частка рослинності досягає 40–60%. Для великих міст норматив площі зелених насаджень загального

користування складає 21 м^2 на одну особу, або $2,1 \text{ га}$ на 1000 мешканців[146].

На сучасному етапі українські міста лише розпочинають формування концепцій інтеграції існуючих зелених територій – парків, скверів та інших озелених зон – в єдину просторову систему, що також включає природні водні об’єкти – річки, ставки та інші водойми. Така система розглядається як зелений каркас міста, який може слугувати основою стратегічного просторового розпланування. Формування такої мережі підвищить ефективність функціонування зелених насаджень, а також стимулюватиме покращення адаптаційних можливостей міського населення до впливу екстремальних температур, підвищеної концентрації CO_2 та інтенсивної сонячної радіації [148; 149].

Одним із перспективних напрямів підвищення екологічної стійкості урбанізованих територій України є запозичення міжнародного досвіду інтеграції природних елементів у міське середовище. Концепція передбачає формування компактних зелених насаджень із застосуванням принципів екологічної сукцесії та відновлення природних екосистем шляхом підбору рослинних угруповань, найбільш адаптованих до локальних природно-кліматичних умов. Такий підхід пройшов успішну апробацію в багатьох містах світу, демонструє потужну ефективність у підвищенні біорізноманіття й покращенні мікрокліматичних характеристик міського середовища. Вважається, що впровадження подібних технологій являє перспективний напрямок підвищення екологічності українських міст поряд із вертикальним та даховим озелененням, використання яких у деяких країнах вже закріплено на законодавчому рівні [151–153].

Дослідження, проведені американськими вченими LBNL та SMUD для окремих територій США, продемонстрували, що завдяки раціональному розміщенню зелених насаджень можна досягти економії енергії на охолодження будівель у межах 7–47%. Найбільший ефект спостерігався у випадках, коли дерева висаджувалися західніше та південно-західніше від будівель, що забезпечувало ефективне затінення фасадів у найбільш спекотний період доби [154; 155].

Низка наукових досліджень, проведених у 1990-х, була присвячена аналізу можливостей охолодження міського середовища та підвищення енергоефективності будівель упродовж року завдяки використанню деревної та чагарникової рослинності як одного з інструментів пом'якшення наслідків кліматичних змін [156; 157]. Зелені насадження на прибудинкових територіях виконують важливі екологічні та санітарно-гігієнічні функції, зменшуючи негативний вплив забрудненого атмосферного повітря та теплового стресу на здоров'я населення. Крім того, рослинність забезпечує зниження надходження теплової енергії до будівель, що сприяє зменшенню температури повітря у внутрішніх приміщеннях, а також відіграє важливу роль у регулюванні поверхневого стоку та управлінні зливовими водами [155].

2.1.3 Зелені дахи і вертикальне озеленення

Питання дослідження та впровадження інноваційних технологій пом'якшення наслідків міських теплових островів, серед іншого шляхом використання зелених дахів і вертикального озеленення, висвітлено у численних роботах зарубіжних і вітчизняних науковців [158–163, ін.]. За результатами багатомісячних досліджень, проведених науковцями в окремих містах США, встановлено, що максимальне зниження температури поверхонь будівель унаслідок затінення деревами може становити від 20 до 45 °F для стін і покрівель будівель [158]. У межах одного з досліджень також було проаналізовано вплив витких рослин, як-от виноградної лози, на температурний режим огорожувальних конструкцій будівель. Отримані результати засвідчили можливість зниження температури поверхні стін до 36 °F (20 °C) [163]. Крім того, субстратний шар зеленого даху виконує додаткову захисну функцію, зменшуючи вплив вітрових навантажень та ультрафіолетового випромінювання на нижні конструктивні елементи покрівлі.

У світовій практиці спостерігається стале зростання інтересу до застосування таких зелених інфраструктурних рішень. Відповідно до даних бази

проектів зелених дахів, станом на червень 2007 року загальна площа реалізованих або тих, що перебували на стадії реалізації, проектів зелених дахів у Сполучених Штатах становила близько 6,6 млн. кв. футів (приблизно 614 000 м²) [164]. А у країнах ЄС одним із лідерів у сфері дослідження, розроблення технологій та практичного впровадження зелених дахів є Німеччина, де накопичено неабиякий досвід їх використання. За попередніми оцінками експертів, близько 10% усіх плоских покрівель у Німеччині займають зелені дахи, що використовуються як сади або рекреаційні простори [164].

Дослідження, проведені у штаті Флорида, передбачали порівняльний аналіз температурного режиму поверхонь зелених дахів і традиційних світловідбивних покрівель у літній період. Отримані результати показали, що середня максимальна температура поверхні зеленого даху в серпні становила близько 86 °F (30 °C), тоді як температура поверхні сусідньої будівлі зі світлою покрівлею досягала 134 °F (57 °C) [165].

У низці наукових праць також здійснено кількісну оцінку потенційного зниження температури міського середовища внаслідок масштабного впровадження технологій зелених дахів [166]. Результати моделювання для міста Торонто (Канада) засвідчили, що озеленення 50% доступних покрівель у центральній частині міста може сприяти зниженню середньої температури повітря на 0,2–1,4 °F (0,1–0,8 °C). Додаткове використання систем зрошення таких дахів здатне забезпечити подальше зниження температури приблизно на 3,5 °F (2 °C), а також поширити ефект охолодження на ширший географічний регіон із можливим зменшенням температури на 1–2 °F (0,5–1,0 °C) [167].

Залежно від конструктивних особливостей та типу рослинності зелені дахи класифікують на інтенсивні, екстенсивні та комбіновані. Вибір конкретного типу визначається конструкцією покрівлі, її несучою здатністю, а також кліматичними та географічними умовами території [158]. У студії [168] проаналізовано практику впровадження зелених стін, які також відомі як живі стіни або вертикальні сади. Такі конструкції можуть реалізовуватися у вигляді систем решіток або кабельних конструкцій, встановлених перед зовнішніми стінами будівель, по яких ростуть

виткі рослини, або у вигляді більш складних інженерних систем, де рослини інтегровані безпосередньо у структуру стіни. Прикладом масштабного впровадження подібних рішень є зелена стіна на будівлі магазину в місті Хантсвілл (штат Алабама), площа якої становить близько 2000 кв. футів (190 м^2), що робить її однією з найбільших у Північній Америці [168].

Огляд наукових досліджень і аналіз практичного досвіду впровадження зелених дахів і вертикального озеленення засвідчують їхню високу ефективність у поліпшенні мікрокліматичних умов урбанізованих територій. За умови достатнього рівня вологості, необхідного для процесів випарного охолодження, такі рішення можуть слугувати дієвим інструментом пасивного охолодження прибудинкових територій, підвищуючи комфортність проживання в міському довкіллі. Крім того, їхнє застосування сприяє зниженню інтенсивності ефекту міських теплових островів, загальному поліпшенню мікрокліматичних характеристик міського простору.

Врахування зазначеного міжнародного досвіду є доцільним уже на етапі проєктування нових житлових мікрорайонів, зокрема в контексті післявоєнної відбудови міст України, що дозволить сформувати більш стійке, екологічно збалансоване, комфортне міське середовище.

2.1.4 Холодні покрівлі

Під холодними покрівлями розуміють покрівельні системи, виготовлені з матеріалів із підвищеною здатністю до відбиття сонячної радіації та теплового випромінювання, що забезпечує зниження температури їх поверхні порівняно з традиційними покрівельними матеріалами. За результатами досліджень встановлено, що в період пікових літніх температур поверхня холодних покрівель приблизно на $28\text{--}33^\circ\text{C}$ нижча, ніж температура поверхні традиційних покрівельних покриттів [169].

Світові наукові дослідження свідчать, що традиційні покрівельні матеріали характеризуються низьким коефіцієнтом сонячного відбиття (у межах $5\text{--}15\%$),

унаслідок чого вони поглинають близько 85–95% сонячної енергії замість її відбиття в атмосферу. Натомість сучасні холодні покрівельні матеріали мають високий коефіцієнт відбиття сонячної радіації (понад 65%), що забезпечує поглинання приблизно на 35% меншої кількості енергії, особливо у видимому та інфрачервоному (тепловому) спектральних діапазонах [169].

У праці [170] наведено результати моделювання, спрямованого на оцінку потенційного впливу широкомасштабного впровадження холодних покрівель у шести адміністративних районах Нью-Йорка. Згідно з отриманими результатами, за умови впровадження холодних дахів на 50% доступних покрівельних площ прогнозується середнє зниження добової температури повітря на рівні 0,3 °F (0,2 °C) у масштабах усього міста.

Із конструктивного погляду розрізняють два основні типи покриттів холодних покрівель: цементні та еластичні. Цементні покриття складаються переважно з цементних часток, інколи з додаванням полімерних компонентів, і характеризуються певною проникністю, тому для забезпечення гідроізоляції потребують наявності відповідного підпокрівельного шару. Еластичні покриття містять полімерні добавки, які зменшують крихкість матеріалу та покращують його адгезійні властивості; водночас вони виконують функцію гідроізоляційної мембрани [171].

Застосування холодних покрівель сприяє зменшенню теплопередачі до внутрішнього простору будівлі, що, у свою чергу, забезпечує скорочення енергоспоживання на кондиціювання повітря. LBNL провела серію розрахункових досліджень з метою оцінки сукупного енергетичного ефекту використання холодних покрівель у 11 містах США [172]. Важливою перевагою застосування такого методу пасивного охолодження є зниження споживання електроенергії в літній період. Скорочення енергетичного попиту, у свою чергу, зменшує обсяги спалювання викопного палива, що сприяє зниженню викидів атмосферних забруднювачів, зокрема NOX, а також парникових газів, і, відповідно, позитивно впливає на екологічний стан міського середовища.

У дослідженні [173] було оцінено потенційний екологічний ефект від

застосування холодних покрівель у містах Батон-Руж і Х'юстон. Результати показали, що завдяки зменшенню енергоспоживання будівель можливе скорочення викидів CO₂ приблизно на 6–7%. Зниження викидів атмосферних забруднювачів, зокрема NOX, сприяє покращенню якості приземного шару повітря, що, у свою чергу, позитивно впливає на стан здоров'я населення та рівень теплового комфорту в міському середовищі.

Для житлових будівель, які не оснащені системами кондиціонування повітря, використання холодних покрівель вкрай важливе з погляду захисту громадського здоров'я під час хвиль спеки. Додавання холодних покрівельних покриттів у поєднанні з теплоізоляцією до житлових будівель без систем кондиціонування суттєво зменшує надходження тепла до внутрішніх приміщень. За результатами дослідження, проведеного для міста Філадельфія, впровадження таких заходів посприяло зниженню максимальної добової температури поверхні стелі приблизно на 2,6 °C (4,7 °F) [174].

Разом з тим, застосування холодних покрівель має певні обмеження в холодний період року, оскільки висока відбивна здатність покриття зменшує надходження сонячного тепла до будівлі взимку. Однак, як зазначено в роботі [174], для кліматичних умов Філадельфії обсяг корисної сонячної енергії, відбитої холодним дахом у зимовий період, є меншим порівняно з кількістю небажаної теплової енергії, що відбивається влітку. Отже, під час проєктування нових будівель або реконструкції існуючої забудови доцільно враховувати кліматичні та географічні особливості конкретної території, що дозволить забезпечити оптимальний баланс між енергетичною ефективністю будівель і мікрокліматичними умовами міського середовища.

2.1.5 Розташування забудови відносно сторін світу

На сучасному етапі архітектурно-розропланувальні рішення в умовах щільної міської забудови переважно передбачають використання спеціалізованих оздоблювальних матеріалів для фасадів будівель і тротуарних покриттів, які

характеризуються підвищеною відбивною здатністю сонячної радіації або, навпаки, матеріалів із високою абсорбційною здатністю для інтенсивного поглинання теплової енергії. До таких заходів також належать озеленення територій та врахування впливу значної частки кам'яних і штучних поверхонь на формування ефекту міського теплового острова. Вибір конкретних підходів визначається поставленими містобудівними завданнями та кліматичними умовами регіону будівництва [132].

У той же час при розплануванні нових міських територій істотне значення має раціональна орієнтація житлових будівель відносно сторін світу. Оптимальне розміщення та геометрія забудови мікрорайонів дають змогу зменшити негативний вплив перегрівання фасадних поверхонь у період пікових літніх температур. Покращенню мікрокліматичних умов як усередині будівель, так і на прилеглих територіях, забезпечує більш комфортні умови проживання населення без витратних інженерних рішень [175].

Частина наукових досліджень у сфері містобудування та будівельної фізики [176; 177] присвячена аналізу процесів радіаційного теплообміну між будівлями та навколишнім середовищем, зокрема дослідженню сонячного коротко- та довгохвильового випромінювання, що взаємодіє з поверхнями будівель і елементами міського середовища. У цих працях основна увага приділяється визначенню інтенсивності сумарної сонячної радіації, яку сприймають фасади будівель у процесі їх експлуатації, а також оцінці впливу цієї радіації на тепловий баланс огорожувальних конструкцій і енергоспоживання будівель. Такі студії дозволяють оцінити рівень нагрівання фасадних поверхонь, визначити їхню роль у формуванні мікроклімату прилеглих територій, встановити можливості оптимізації архітектурних рішень із метою підвищення енергоефективності забудови.

У той же момент питання, пов'язані з кількісною оцінкою ступеня затінення територій внутрішніх дворів і фасадів будівель, а також визначенням обсягів прямої сонячної радіації, що надходить на підстильну поверхню дворових просторів залежно від орієнтації будівель відносно сторін світу, на сьогодні

залишаються недостатньо вивченими. У наявних наукових працях ці аспекти розглядаються переважно фрагментарно або локально, без комплексного врахування взаємодії геометричних параметрів забудови, щільності розміщення будівель і сезонних змін сонячної інсоляції [178; 179]. У результаті цього відсутня цілісна науково обґрунтована методологія оцінювання впливу архітектурно-розропланувальної структури житлових кварталів на формування мікрокліматичних умов у внутрішньодворових просторах.

Більшість існуючих досліджень і практичних рекомендацій розроблені для конкретних регіонів світу з певними кліматичними умовами. У зв'язку з цим пряме застосування результатів таких досліджень у містобудівній практиці України є обмеженим, оскільки вони не враховують специфіку кліматичних зон країни, особливості сезонного розподілу сонячної радіації, тривалість теплих періодів року, а також характер сучасної міської забудови. Це ускладнює використання зарубіжного досвіду для формування оптимальних архітектурно-розропланувальних рішень, спрямованих на природне регулювання мікроклімату житлових територій.

В умовах актуальності біокліматичного підходу до розропланування міст набуває необхідність формування універсальних містобудівних моделей, які забезпечуватимуть баланс між енергоефективністю будівель та тепловим комфортом відкритих міських просторів. Важливим завданням є розроблення рішень, що дозволять одночасно зменшити перегрів фасадів будівель у літній період, знизити інтенсивність нагрівання підстильних поверхонь двору і створити сприятливі мікрокліматичні умови на прибудинкових територіях. При цьому необхідно враховувати глобальні кліматичні зміни, які супроводжуються поступовим підвищенням середніх температур та збільшенням частоти екстремальних теплових хвиль [175; 180].

Недостатній рівень дослідження впливу орієнтації та геометричних параметрів житлової забудови на формування мікроклімату внутрішньодворових просторів, а також обмеженість адаптації існуючих світових рішень до кліматичних умов України зумовлюють наукову та практичну актуальність

проведення подальших досліджень у цьому напрямі. Саме необхідність комплексного вивчення зазначених питань і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для оптимізації архітектурно-розроблених рішень житлової забудови визначає доцільність і актуальність досліджень, виконаних у межах даної дисертаційної роботи.

2.2 Аналіз ефективності існуючих світових технологій пасивного охолодження урбанізованого простору

Узагальнення результатів аналізу сучасних світових технологій і практик, спрямованих на зменшення інтенсивності формування теплового купола над урбанізованими територіями, а також на підвищення рівня комфортності перебування населення на відкритих міських просторах, дало можливість систематизувати наявний науковий та практичний досвід у цій сфері. Проведений аналіз дозволив визначити основні чинники впливу, які формують тепловий режим міського середовища, а також окреслити переваги та можливі обмеження застосування різних технологічних і містобудівних рішень у процесі розпланування та забудови урбанізованих територій.

Отримані результати дали змогу виокремити ключові фактори, які визначають ефективність застосування зазначених підходів у формуванні сприятливого мікроклімату міського середовища, а також оцінити їх вплив на екологічні, енергетичні та соціальні аспекти розвитку міських територій. Узагальнені характеристики цих факторів, а також їхні переваги й недоліки з погляду практичного застосування при забудові населених пунктів, наведено у *табл. 4*.

Таблиця 4. Закордонний досвід окремих впроваджень природних (пасивних) технологій охолодження міського середовища

№ з/п	Технологія охолодження	Країна, місце впровадження, ефективність	Фактори впливу, переваги і недоліки	Посилання на джерело
1	Холодні	1. США, Заміна звичного	Відбивна здатність,	[130–133,

	тротуари	покриття на охолоджуюче (у Фініксі це 7,7% території, у Бостоні – 15). Зниження кількості парникових газів від 0,9 до 3,1 метричних тон CO₂ – еквівалент в найближчі 50 років. 2. Греція, Афіни. Відновлення площі 16 000 м² з використанням нових покриттів з високою відбивною здатністю, зелених насаджень та теплообмінників «земля-повітря». Заміна звичайних покриттів холодними покриттями може знизити максимальну температуру навколишнього середовища в районі, що розглядається на 1,2–2,0 °C.	тепловипромінювання, теплопередача, конвекція, теплоємність, проникність. <i>Завдяки зниженню температури прохолодні тротуари можуть знизити потребу в кондиціонерах влітку (при цьому збільшуючи потребу в опаленні взимку), а з іншого – навпаки, відбиваючи світло, падаюче від них випромінювання на довколишні будівлі – збільшити використання кондиціонерів влітку (але зменшити потребу в опаленні взимку).</i>	139–141]
2	Прониклі тротуари	Японія, Токіо, Осака, пористі покриття на основі асфальту або бетону мають водоутримувальний підшар з матеріалів, що поглинають вологу, а при нагріванні покриття випаровують за допомогою капілярного ефекту. В деякі системи включено підземні водопроводи для забезпечення вологості покриття, 200 000 м². Вода, транспортована водонаправляючою поверхнею, подається до водоутримувальних блоків капілярним шляхом через піщану подушку, що дозволяє системі забезпечувати випарне охолодження навіть у гарну погоду та підтримувати температуру поверхні покриття на рівні 25 °C влітку.	Відбивна здатність, тепловипромінювання, теплопередача, теплоємність матеріалу, проникність конвекція, шорсткості тротуару матеріалу; товщина покриття; розміри та розташування будівель на певній території, широти місцевості, пори року. <i>Підвищення енергоефективності завдяки зменшенню витрат на кондиціювання.</i>	[134]
3	Озеленення	1. Австрія, Відень, зелені коридори (<i>Green links</i>) 2. Японія, концепція мікролісу Миякаві 3. США, LBNL, економія енергії на охолодження	Затіннення, евапотранспірація, підбір місцевих рослин, рельєф, забудова місцевості. <i>Поліпшення мікроклімату, освітленості, відчуття затишку, незагазованості,</i>	[146; 150–156]

		становила від 7% до 47% і була максимальною, коли дерева були висаджені на захід і південний захід від будівель	зниження рівня шуму охолодження міського клімату (затінення та евапотранспірація).	
4	Холодні покривлі	1. США, м. Нью-Йорк. Усереднена добова модель передбачила зниження температури по всьому місту на 0,3 °F (0,2 °C) при 50% впровадженні холодних дахів на доступному просторі дахів у шести районах Нью-Йорку 2. США, LBNL, моделювання оцінки чистого енергетичного впливу застосування холодної покривлі в 11 містах США. Оцінено потенційне скорочення викидів CO₂ на 6–7% у Батон-Руж та Х'юстоні завдяки скороченню споживання енергії в будівлях 3. США, м. Філадельфія. Зниження після встановлення холодних дахів та ізоляції; зменшило надходження тепла в приміщення та покращило сприйняту максимальну добову температуру поверхні стелі приблизно на 2,6 °C (4,7 °F).	Відбивні та випромінюючі властивості матеріалів, мікроклімат місцевості, розташування забудови, та конструкції, географічна зона. <i>Зменшення енергоспоживання в будівлях, скорочення викидів парникових газів, покращення якості повітря, покращення здоров'я і комфорту людини.</i>	[170–174]
5	Зелені дахи	1. США. Флорида. Порівняння температури поверхні влітку на зеленому даху з температурою на сусідній будівлі зі світлою покрівлею показало, що середня максимальна температура (для серпня місяця) поверхні зеленого даху становила 86 °F (30 °C), тоді як прилеглої світлої покривлі становила 134 °F (57 °C) 2. Канада, Торонто. Додавання зелених дахів до 50% доступних поверхонь у центрі міста призведе до охолодження всього міста на 0,2–1,4 °F (0,1–0,8 °C). Зрошення цих дахів може	Затінення, евапотранспірація, підбір місцевих рослин, рельєф, забудова місцевості, тип конструкції. <i>Середовище вирощування зеленого даху захищає нижні шари від впливу вітру та ультрафіолетового випромінювання, знижує температуру, створює додаткове охолодження, зменшення шуму і забруднення повітря.</i>	[165; 167]

		додатково знизити температуру приблизно на 3,5 °F (2 °C) і розширити охолоджену територію від 1 до 2 °F (0,5–1,0 °C) у більшому географічному регіоні.		
6	Вертикальне озеленення	1. США, дослідження для ряду міст. Максимальне зниження температури поверхні через затінення деревами становить від 20 до 45 °F для стін і дахів двох будівель. Вивчався вплив виноградної лози на температуру стін; зниження до 36 °F (20 °C). 2. США, Хантсвіллі, штат Алабама, зелена стіна площею 2 000 кв. футів (190 м ²).	Затінення, еватранспірація, підбір місцевих рослин, рельєф, забудова місцевості. <i>Зниження температури, охолодження, збільшення затінення, зменшення шуму і забруднення поверхні.</i>	[158; 163]

Проведений аналіз сучасних світових технологій пасивного охолодження урбанізованого середовища свідчить про те, що їх комплексне врахування та інтеграція у процес архітектурно-розропланувального проєктування можуть суттєво впливати на формування теплового режиму майбутніх міських територій. Застосування таких підходів вже на етапі розпланування нових житлових масивів дозволяє зменшити негативні наслідки перегрівання міського середовища, знизити інтенсивність формування міських теплових островів та сприяти покращенню мікрокліматичних умов у межах житлової забудови.

Комплексне поєднання різних методів пасивного охолодження – зокрема озеленення, використання світловідбивних матеріалів, впровадження холодних покриттів, оптимізації щільності забудови та формування сприятливої просторової структури кварталів – здатне забезпечити більш збалансований тепловий режим міського середовища.

У цьому ключі потребує уваги питання раціонального просторового розміщення комірки житлового кварталу відносно сторін світу, що є одним із дієвих прийомів природного регулювання мікроклімату урбанізованих територій. Для кліматичних умов України завданням є визначення таких архітектурно-

розрозрапланувальних рішень, які забезпечуватимуть максимально можливий рівень затінення прибудинкових територій у періоди пікових літніх температур, зменшуючи інтенсивність нагрівання підстильних поверхонь в першу чергу внутрішнього двору забудови. Саме тому визначення оптимальних параметрів розміщення житлових кварталів для кліматичних умов України є одним з пріоритетних напрямів подальших наукових досліджень у сфері формування стійкого та комфортного міського середовища.

Висновки до розділу 2

1. У розділі здійснено узагальнений аналіз сучасних світових технологій, спрямованих на мінімізацію інтенсивності формування теплового купола над новими урбанізованими територіями та підвищення рівня комфортності перебування населення у міському середовищі в умовах глобальних кліматичних змін. Розглянуто основні підходи технологій «зеленого» будівництва та визначено комплекс взаємопов'язаних факторів, що впливають на зниження температурних показників у міському просторі.

2. За результатами проведеного аналізу встановлено, що при застосуванні технологій «зеленого» будівництва у сучасній архітектурній практиці в різних країнах світу недостатньо уваги приділяється саме такому методу пасивного охолодження, як врахування оптимальної орієнтації забудови відносно сторін світу. Як показують сучасні дослідження, розташування будівель може суттєво впливати на зменшення температурного режиму прибудинкових територій, що досягається завдяки збільшенню частки затінених ділянок підстильної поверхні внутрішнього двору та зменшенню періоду нагрівання фасадів будівель прямою сонячною радіацією.

3. Проведений аналіз також показав, що окремі архітектурно-розрозрапланувальні рішення світової практики, пов'язані з геометрією розміщення будівель відносно сторін світу, не можуть бути безпосередньо застосовані в умовах кліматичних зон України. Це зумовлено відмінностями у кліматичних

характеристиках, інсоляційних режимах конкретної місцини та особливостях традиційних проєктних прийомів країни при розплануванні нових кварталів. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку адаптованих містобудівних рішень, спрямованих на природне регулювання мікроклімату житлових територій та формування оптимального балансу між енергоефективністю будівель і тепловим комфортом міського середовища.

4. Враховуючи зазначене, актуальним є подальше дослідження теплового режиму територій подвір'я житлових кварталів секційної забудови залежно від їх орієнтації відносно сторін світу. Необхідність отримання науково обґрунтованих даних щодо впливу просторового розміщення будівель та орієнтацію прибудинкової території на формування мікроклімату внутрішньоквартального простору визначає доцільність і актуальність проведення досліджень, що виконуються в межах цієї дисертації.

Розділ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПІДСТІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ВНУТРІШНЬОГО ДВОРУ ТИПОВИХ РІШЕНЬ КВАРТАЛЬНОЇ ЗАБУДОВИ

3.1 Обґрунтування доцільності аналізу біокліматичної ефективності типових розрозпланувальних рішень квартальної забудови

Традиційний процес проєктування багатоквартирних житлових будинків на етапі розміщення об'ємів на генеральному плані значною мірою спирається на конфігурацію земельних ділянок, відведених під забудову, а також на композиційно-просторові рішення, сформовані в межах усталеної міської структури. На цьому етапі пріоритет, як правило, надається питанням щільності забудови, дотримання червоних ліній, нормативних відступів, організації транспортних і пішохідних зв'язків, а також візуальній інтеграції нового об'єкта в навколишнє забудоване середовище. Мікрокліматичні аспекти, зокрема аналіз інсоляції та теплового режиму дворових просторів, нерідко розглядаються як другорядні або зводяться до виконання мінімальних нормативних вимог.

Така ситуація значною мірою зумовлена жорсткими умовами щільної міської забудови, характерної для більшості сучасних міст. Вільні ділянки під нове будівництво зазвичай мають складну конфігурацію та обмежену площу, а їхнє оточення вже сформоване будівлями різної поверховості й функціонального призначення. В таких умовах архітектор змушений працювати в межах заданих параметрів, прагнучи максимально ефективно «вписати» новий житловий комплекс у наявну містобудівну тканину. Це передбачає врахування історичного контексту, масштабності навколишньої забудови, силуетних характеристик і візуальних домінант, що відсуває питання біокліматичної оптимізації на другий план.

Композиційно-просторові рішення при цьому формуються, виходячи з

візуальної логіки та економічної доцільності. Регулярні схеми забудови, такі як рядова або периметральна, сприймаються як більш передбачувані й зручні з точки зору розрахунків щільності, типізації секцій та організації підземних паркінгів. Проте подібні схеми, незважаючи на їхню поширеність, далеко не завжди є оптимальними з позиції теплового комфорту та стійкості до перегріву. Однотипна орієнтація будівель і повторюваність просторових прийомів призводять до формування стійких зон перегріву та недостатньої варіативності затінення внутрішньоквартальних просторів.

Сучасні стратегії, спрямовані на створення енергоефективної та кліматично адаптованої архітектури, здебільшого реалізуються на рівні огорожувальних конструкцій та інженерних рішень. Найпоширенішим інструментом стає використання спеціалізованих фасадних матеріалів із високою відбивною здатністю щодо сонячної радіації, так званих «холодних» поверхонь. Їх застосування зменшує нагрів фасадів і, як наслідок, скорочує теплові потоки, що надходять усередину будівель у літній період. У низці кліматичних зон, навпаки, використовують матеріали з високою абсорбцією, які сприяють акумулюванню тепла в холодний період та підвищенню енергоефективності будівель [180].

Попри певну ефективність таких рішень, вони мають низку обмежень. По-перше, фасадні матеріали впливають переважно на тепловий режим самих будівель, але меншою мірою – на мікроклімат відкритих просторів: дворів, пішохідних маршрутів і рекреаційних зон. Підстильна поверхня, представлена асфальтом, бетоном або плитковим мощенням, продовжує активно акумулювати сонячну радіацію та віддавати тепло в навколишній простір, формуючи несприятливі умови для перебування людини. По-друге, ефект від використання високо відбивних або абсорбуючих матеріалів суттєво залежить від їхнього стану, рівня забруднення та терміну експлуатації, що знижує прогнозованість їхнього довгострокового впливу.

Технологічні рішення не враховують потенціал архітектурно-розроблювальних прийомів як інструменту пасивного кліматичного регулювання. Геометрія забудови, взаємне розташування об'ємів, їх орієнтація

відносно сторін світу та сформовані ними просторові структури здатні чинити не менш істотний вплив на тепловий режим території, ніж характеристики оздоблювальних матеріалів. Проте в традиційному процесі проєктування ці можливості часто залишаються нереалізованими через прагнення до типізації та спрощення проєктних рішень.

У контексті глобальної зміни клімату та почастищення періодів екстремальної спеки такий підхід стає дедалі менш стійким. Зростання середніх літніх температур і збільшення кількості спекотних днів загострюють проблему перегріву житлових кварталів, особливо в умовах щільної міської забудови. Це призводить до підвищення теплового стресу серед населення, зниження якості життя та зростання енергоспоживання на охолодження приміщень. За таких обставин стає очевидною необхідність перегляду традиційних проєктних стратегій і зміщення акценту з локальних технічних рішень на комплексний біокліматичний підхід.

Інтеграція мікрокліматичного аналізу на ранніх стадіях проєктування, зокрема під час формування генерального плану та розміщення архітектурних об'єктів, дає змогу використовувати геометрію забудови як активний інструмент регулювання теплових процесів. Асиметричні схеми розташування будівель, варіативна орієнтація секцій, формування просторів із динамічним затіненням і спрямованою вентиляцією здатні чимало знизити теплове навантаження на внутрішньоквартальні території без збільшення вартості будівництва. Такі рішення потребують більш складної аналітичної роботи, утім в довгостроковій перспективі забезпечують більш стійкий і комфортний результат.

Останніми роками в межах досліджень сталого розвитку міського середовища дедалі частіше проводяться оцінки впливу вертикального озеленення фасадів на температурний режим міських районів у різний час доби та в різні сезони року [181]. Такий інтерес зумовлений зростанням щільності забудови, збільшенням частки твердих поверхонь і, як наслідок, посиленням ефекту міського теплового острова. Вертикальне озеленення розглядається як один із доступних інструментів пасивного регулювання мікроклімату, особливо в умовах

дефіциту вільних територій для традиційного озеленення.

Результати досліджень свідчать, що зелені фасади здатні знижувати температуру зовнішніх поверхонь будівель завдяки кільком фізичним процесам. Насамперед це затінення огорожувальних конструкцій, яке зменшує прямий вплив сонячної радіації. Додатково важливу роль відіграє випаровувальне охолодження: у процесі транспірації рослини поглинають теплову енергію, що призводить до зниження температури навколишнього повітря в безпосередній близькості до фасаду. У денні години, особливо в літній період, різниця температур між озеленими та неозеленими фасадами суттєво відрізняється, що підтверджується натурними вимірюваннями.

Більшість досліджень підкреслює, що вплив вертикального озеленення на температуру повітря має локальний характер і поширюється на обмежену відстань від фасаду. У масштабах усього кварталу або району його ефект є менш вираженим порівняно з архітектурно-розроблювальними прийомами, такими як орієнтація будівель, щільність забудови та організація затінених просторів. У зв'язку з цим вертикальне озеленення дедалі частіше розглядається не як самостійне рішення, а як елемент комплексної стратегії біокліматичного проєктування.

Під час розпланування нових міських поселень на вільних територіях, не обтяжених жорсткими містобудівними та історичними обмеженнями, з'являється можливість враховувати ширший спектр чинників, що впливають на формування комфортного й стійкого житлового середовища. Одним із ключових таких чинників є оптимальне розташування геометрії житлових будинків мікрорайону відносно сторін світу. На відміну від реконструкції сформованої забудови, де орієнтація будівель зумовлена наявною вулично-дорожньою схемою, проєктування «з чистого аркуша» дає змогу цілеспрямовано використовувати сонячну енергію як керований ресурс.

Орієнтація житлових будинків за сторонами світу безпосередньо визначає характер інсоляції фасадів і внутрішніх просторів. У піковий літній період сонячна радіація стає одним із головних чинників перегріву як самих будівель,

так і прилеглих відкритих територій. Фасади, орієнтовані на південь і південний захід, зазнають найбільш інтенсивного сонячного впливу в денні та вечірні години, що призводить до перегріву огорожувальних конструкцій. Акумуляоване тепло згодом передається в навколишній простір, формуючи підвищені температури повітря у дворах і на пішохідних маршрутах.

Грамотна орієнтація геометрії житлових корпусів дає змогу набагато зменшити цей ефект. Наприклад, витягнута форма будівель, орієнтована по осі схід–захід, зменшує площу фасадів, звернених на південь і захід, тим самим скорочуючи сумарну кількість поглинутої сонячної радіації. Водночас фасади, орієнтовані на північ, отримують більш рівномірне та м'яке освітлення без інтенсивного теплового впливу, що позитивно позначається на тепловому балансі будівлі, проте лише в літній період [182–184].

Керування сонячною енергією через орієнтацію забудови впливає не лише на мікроклімат зовнішніх просторів, а й на умови всередині будівель. Оптимально орієнтовані квартири отримують достатнє природне освітлення без надмірного перегріву, що зменшує потребу в активному кондиціонуванні повітря. В умовах зростання енергоспоживання та підвищення навантаження на інженерні системи це стає важливим чинником підвищення загальної енергоефективності житлової забудови.

Особливого значення цей чинник набуває на рівні квартальної житлової забудови. Взаємне розташування будівель і відстані між ними формують складну систему затінення та інсоляції, яка визначає тепловий режим дворових просторів. За умови продуманої орієнтації можливе створення ділянок із поетапним, динамічним затіненням, коли різні зони двору перебувають у тіні в різний час доби. Це уможлиблює уникнути тривалого перегріву одних і тих самих поверхонь і сприяє більш рівномірному розподілу температури по території кварталу.

Орієнтація квартальної забудови відносно сторін світу не є універсальним інструментом проєктування сталої житлової середовища й залежить від конкретних кліматичних умов регіону. У більш північних широтах пріоритет може надаватися максимальному використанню сонячної енергії для опалення та

природного освітлення в холодний період року, тоді як у південних і континентальних – основна увага приділяється захисту від перегріву. Водночас навіть у межах одного кліматичного поясу грамотне зонування мікрорайону та варіативна орієнтація окремих корпусів дають можливість гнучко адаптувати забудову до сезонних змін.

Продуману орієнтацію забудови відносно сторін світу можна розглядати як один із найбільш доступних і економічно ефективних інструментів кліматичної адаптації міст. На відміну від складних інженерних систем, цей прийом не потребує значних додаткових витрат на етапі експлуатації та закладається ще на ранній стадії проектування. Крім того, його вплив на тепловий режим і енергоспоживання зберігається протягом усього життєвого циклу забудови.

На сьогоднішній день наукові дослідження теплового режиму міст значною мірою зосереджені на аналізі фундаментальних процесів, що визначають формування ефекту міського теплового острова. Цей феномен розглядається як трансформація природного клімату під впливом урбанізації та являє собою стійку різницю температур між міськими й сільськими територіями. Отримані знання формують теоретичну та методологічну основу для розроблення стратегій кліматичної адаптації та сталого розвитку міст, у той же час підкреслюючи необхідність переходу від узагальнених підходів до більш детального вивчення мікрокліматичних процесів на рівні кварталів і окремих містобудівних елементів [185; 186].

На стадії розпланування території під житлову забудову аналіз ступеня нагрівання підстильної поверхні прибудинкового простору є одним із пріоритетних чинників забезпечення комфортного перебування людини. В умовах сучасних міст, що характеризуються значною часткою твердих покриттів, саме співвідношення сонячної радіації та тіні значною мірою визначає рівень теплового стресу й самопочуття користувачів дворових, пішохідних і рекреаційних зон. Недооцінка цього аспекту на ранніх етапах проектування призводить до формування перегрітих і функціонально обмежених просторів, які втрачають свою соціальну та екологічну цінність.

Загальний рівень теплового комфорту людини на відкритому повітрі формується під впливом сукупності метеорологічних показників. До них належать температура повітря, рівень сонячної радіації, швидкість і напрямок вітру, відносна вологість, а також температурні характеристики поверхонь міської забудови. Сонячна радіація відіграє домінуючу роль, оскільки саме вона визначає інтенсивність нагрівання тіла людини та навколишніх поверхонь. Навіть за помірних значень температури повітря висока інсоляція здатна спричинити відчуття перегріву й дискомфорту, особливо в умовах обмеженої вентиляції.

Морфологічні особливості міської забудови модифікують вплив метеорологічних чинників. Геометрія кварталів, висота та орієнтація будівель, ширина вулиць і характер дворових просторів формують індивідуальні мікрокліматичні умови, що відрізняються від фонових кліматичних показників регіону [187]. Затінення, створюване будівлями, може як знижувати теплове навантаження в спекотний період, так і, за невдалої конфігурації, призводити до надмірної інсоляції або, навпаки, до дефіциту сонячного світла. Тому аналіз затіненості має враховувати не лише сумарну кількість сонячної радіації, а й її часовий розподіл протягом доби.

В останні десятиліття ця проблематика активно досліджується у наукових працях зарубіжних авторів. Чимала кількість робіт присвячена аналізу взаємозв'язку між затіненням геометрії міської забудови та показниками теплового комфорту, такими як PET, UTCI або PMV. При цьому більшість досліджень має чітку територіальну прив'язку та ґрунтується на даних конкретних міст і кліматичних зон – від середземноморських і субтропічних регіонів до помірних і континентальних кліматів. Це зумовлено тим, що вплив сонячної радіації та тіні варіюється залежно від географічної широти, сезонності та локальних кліматичних умов.

Так, для південних регіонів із високим рівнем інсоляції пріоритетним є формування максимального затінення в денні години, тоді як у більш північних широтах надмірна тінь може негативно позначатися на комфорті та енергоефективності забудови. Аналогічно відрізняється роль орієнтації будівель:

рішення, ефективні в одному кліматичному контексті, можуть виявитися неактуальними або навіть негативними в іншому. З цієї причини зарубіжні дослідження, попри їхню методологічну цінність, не можуть бути механічно перенесені в інші географічні умови без відповідної адаптації.

У цьому зв'язку результати проведених у дисертації досліджень слід розглядати як такі, що є застосовними в межах конкретного географічного положення. А саме – для Києва та Київської області, що відповідає I кліматичній зоні України. Їхня цінність полягає не так в універсальності отриманих числових показників, як у виявлених закономірностях і принципах, які можуть бути використані як методологічна основа для подальших локальних досліджень. Такий підхід дасть змогу інтегрувати наукові методи аналізу в практику містобудівного проектування, підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

У радянській містобудівній практиці упродовж 1920–1980-х сформувався обмежений, але стійкий набір типових розрозпланувальних рішень житлової забудови, які послідовно застосовувалися залежно від історичного періоду, соціально-економічних завдань і рівня розвитку будівельних технологій. До найбільш поширених належать замкнена (периметральна), рядова та точкова схеми забудови. Кожна з них має власну історію виникнення, етапи домінування у структурі радянського міста.

Замкнена (периметральна) забудова набула найбільшого поширення у ранній радянський період, переважно у 1920–1930-х, а також активно використовувалася в повоєнній практиці відбудови 1940–1950-х. Цей тип розпланування значною мірою успадкований від європейської містобудівної традиції, що ґрунтувалася на формуванні чітко окреслених кварталів із внутрішніми дворами. Периметральна забудова забезпечувала виразну вуличну лінію, високу щільність та ефективне використання міських територій. В умовах обмежених ресурсів і необхідності компактного розміщення житла цей прийом давав змогу формувати стійку міську тканину, захищену від вітру та вуличного шуму. У 1930-ті він активно застосовувався в проєктах тогочасних міст і реконструкції центральних районів, поєднуючись з архітектурою неокласицизму.

У пізніший період інтерес до периметральної забудови знизився через її високу вартість та обмежену адаптивність до індустріального будівництва.

Хоча таке рішення забезпечує чітку просторову структуру та захищеність двору від зовнішніх впливів, зокрема шуму й вітру, – за регулярної геометрії та рівномірної висоти забудови внутрішній двір часто зазнає дефіциту природної вентиляції, нерівномірного розподілу тіні. У піковий літній період це призводило в деяких випадках до накопичення тепла й підвищення температури підстильної поверхні, особливо в центральній частині двору.

Рядова забудова стала домінуючим типом у період масового житлового будівництва з кінця 1950-х до кінця 1980-х. Її поширення безпосередньо пов'язане з прийняттям курсу на індустріалізацію будівництва та стандартизацію архітектурних рішень. Лінійне розміщення однакових за висотою та типологією житлових будинків давало можливість ефективно застосовувати типові серії, великопанельні конструкції та потокове будівництво. Рядова схема забезпечувала виконання нормативів інсоляції та санітарних розривів за мінімальних проектних витрат. В умовах швидкого зростання міст цей прийом виявився найбільш технологічним і економічно доцільним. Однак орієнтація на повторюваність і функціональність призвела до формування монотонного міського середовища та слабкої просторової організації внутрішньоквартальних територій. У той же час, однакова орієнтація корпусів зумовлювала повторюваність несприятливих мікрокліматичних ефектів і надмірну інсоляцію окремих ділянок двору протягом тривалого часу. Внаслідок цього формувалися протяжні зони перегріву підстильної поверхні, особливо в літній період, за обмежених можливостей для динамічного затінення.

Точкова забудова почала активно використовуватися у 1970–1980-х як спроба диверсифікувати розрозрахункову структуру мікрорайонів, підвищити щільність забудови без збільшення протяжності лінійних будинків. Точкові житлові будинки, як правило, мали більшу поверховість і компактний план, що дозволяло гнучкіше розміщувати їх у структурі кварталу. Цей прийом розглядався як інструмент ущільнення забудови та створення візуальних акцентів у міському

середовищі. В умовах дефіциту вільних територій точкова схема економила землю й формувала більш різноманітні силуети житлових районів. І попри те за масового застосування вона нерідко призводила до розрізненості просторової структури та погіршення якості дворових просторів. В умовах щільної забудови та за відсутності продуманої композиції висотні об'єми створювали протяжні зони інтенсивної інсоляції підстильної поверхні між корпусами, що також спричиняло локальний перегрів внутрішнього двору.

Більшість типових рішень радянського періоду – периметральна, рядова і точкова забудова – були тією чи тією мірою успадковані й адаптовані в умовах пострадянського розвитку міст України. Сучасне містобудівне середовище сформувалося на стику інерції попередньої розропланувальної моделі та нових соціально-економічних передумов.

У 1990-х і на початку 2000-х лінійне розміщення секційних будинків стало основою для добудови «спальних районів», формування нових кварталів на периферії міст, освоєння вільних територій колишніх промислових зон. При цьому рядова схема доповнювалася збільшеною поверховістю та більш щільним розміщенням будинків, що зумовлено зростанням вартості землі, прагненням інвесторів максимізувати корисну площу.

Точкова забудова набула особливого поширення в пострадянській Україні в контексті ущільнення сформованої міської тканини. За умов відсутності комплексного планування та слабого контролю за розвитком територій точкові житлові будинки стали інструментом фрагментарного освоєння вільних або напівзабудованих ділянок. Цей тип забудови успадкував радянську ідею компактного вертикального об'єму, але в ринкових умовах набув іншого значення: дозволяв швидко реалізовувати проєкти без необхідності реконструкції кварталів у цілому. Точкові висотні будинки зазвичай розміщувалися всередині існуючих мікрорайонів, що призводило до перевантаження інженерної інфраструктури, дефіциту паркувальних місць і погіршення мікрокліматичних умов дворових просторів.

Периметральна забудова, навпаки, останніми роками пережила своєрідне

«відродження», але вже в іншій якості. В центральних районах міст України та в проєктах житлових комплексів комфорт- і бізнес-класу цей тип розпланування почав застосовуватися як більш престижний і візуально впорядкований.

Також широкого поширення в розплануванні житлових кварталів набула напівзамкнена П-подібна структура. Така схема забезпечує більш виражений зв'язок двору з навколишнім простором і покращені умови провітрювання порівняно з повністю замкненими структурами. Водночас за невдалої орієнтації відкритого фасаду формуються зони тривалої інсоляції, що підвищує ризик перегріву підстильної поверхні. Ефективність цього типу забудови більшою мірою залежить від орієнтації відносно сторін світу та композиційних варіацій розміщення житлових секцій.

3.2 Розрахунок температурного режиму підстильної поверхні внутрішнього двору типових містобудівних рішень квартальної забудови

Аналіз містобудівної практики як радянського періоду, так і етапу розвитку незалежної України свідчить про те, що ключові розрозпланувальні рішення житлових кварталів у переважній більшості випадків формувалися з міркувань економічної доцільності, а не з позицій кліматичної адаптації та формування сталого мікроклімату житлових територій.

У зв'язку з цим нами поставлено завдання розглянути, проаналізувати та здійснити порівняльну оцінку наведених вище типових містобудівних рішень із позиції впливу різних варіантів орієнтації житлової забудови відносно сторін світу на тепловий режим внутрішньоквартального простору.

Слід зазначити, що такі містобудівні рішення активно застосовуються сьогодні різними проєктними організаціями на периферії Києва, що відповідає І кліматичній зоні України [189].

Увагу цього дослідження зосереджено на виявленні якостей підстильної поверхні внутрішнього двору кварталу. Саме ця поверхня є найбільш схильною

до перегріву в умовах багатоповерхової забудови й безпосередньо впливає на рівень теплового стресу мешканців. У ході роботи проаналізовано чотири актуальні на сьогоднішній день типові рішення розпланування території під житлову забудову: точкова, рядкова, периметральна, П-подібна.

1. Точкова схема забудови у 16 поверхів (рис. 3.1) представлена в дисертації чотирма окремо розташованими 16-поверховими житловими корпусами, які формують відносно вільний внутрішньоквартальний простір.

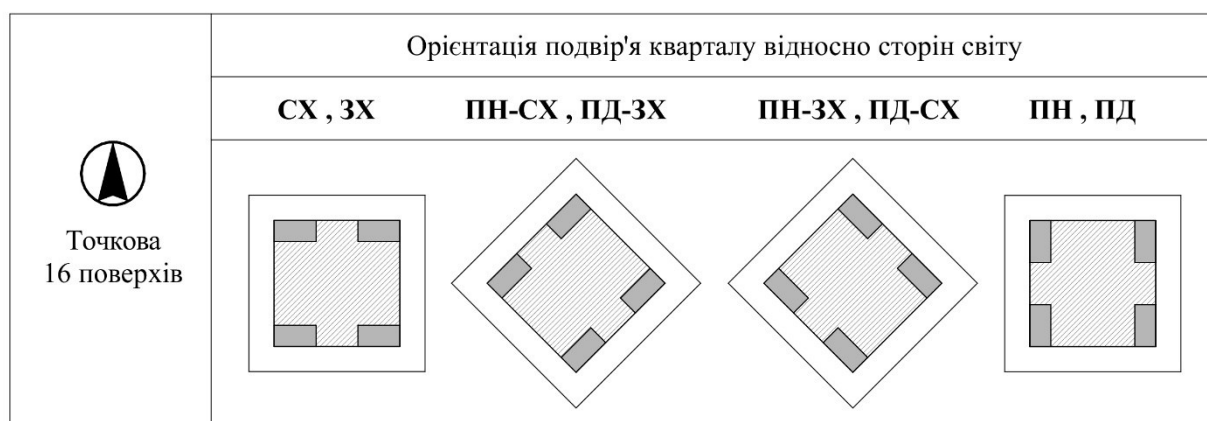


Рисунок 3.1. Варіанти орієнтації відносно сторін світу точкової забудови житлового кварталу, проаналізовані в дисертації

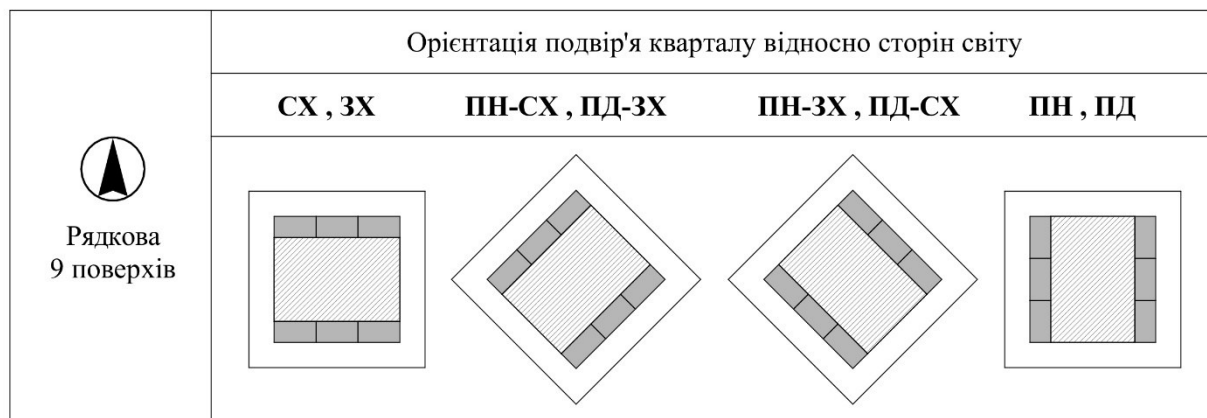


Рисунок 3.2. Варіанти орієнтації відносно сторін світу рядкової забудови житлового кварталу, проаналізовані в дисертації

2. Рядова 9-ти поверхова схема забудови кварталу (рис. 3.2) представлена двома лінійними секційними будинками з повторюваною орієнтацією. Цей тип широко застосовується в сучасних житлових кварталах завдяки конструктивній простоті й економічній ефективності.

3. Периметральна 9-поверхова схема забудови кварталу (рис. 3.3). Схема передбачає формування замкненого або напівзамкненого дворового простору за рахунок розміщення житлових корпусів по межі ділянки.

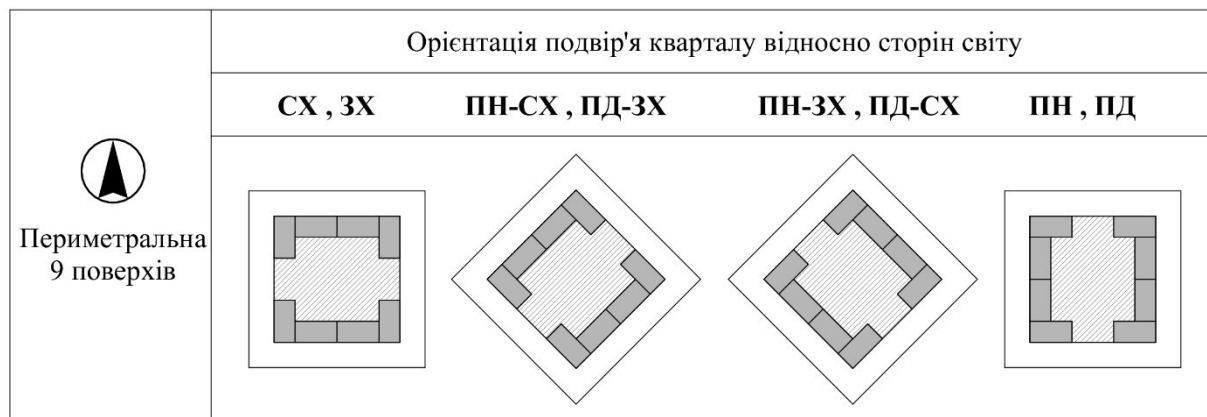


Рисунок 3.3. Варіанти орієнтації відносно сторін світу периметральної забудови житлового кварталу, проаналізовані в дисертації

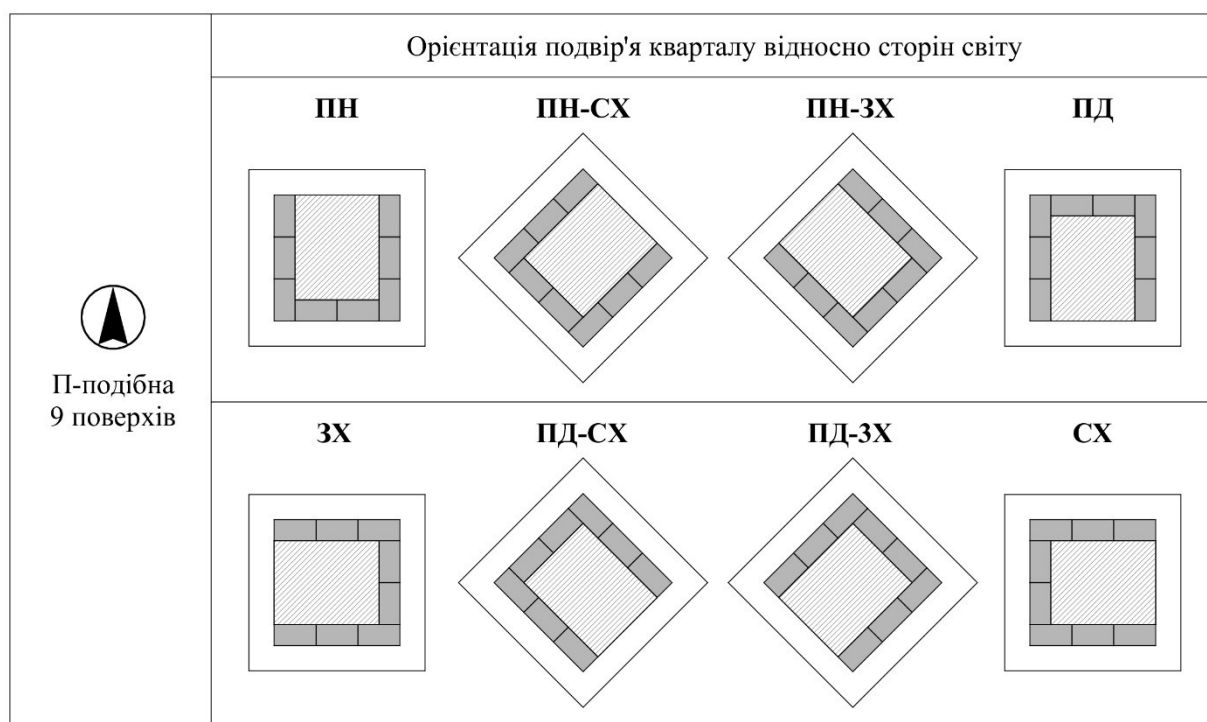


Рисунок 3.4. Варіанти орієнтації відносно сторін світу

П-подібної забудови житлового кварталу, проаналізовані в дисертації

4. П-подібна 9-поверхова схема забудови кварталу (рис. 3.4) формує частково замкнений дворовий простір із відкритим фронтом, орієнтованим, як правило, в бік вулиці або внутрішньоквартального проїзду.

Для зазначених варіантів, окрім температурного режиму підстильної поверхні, було розраховано середній відсоток затіненості упродовж світлового дня в піковий літній період.

З метою отримання більш повної та репрезентативної картини дослідження розрахунки виконувалися для різних варіантів орієнтації житлового кварталу відносно сторін світу. Поворот розпланувальної структури здійснювався з кроком 45° , що дало змогу охопити основні інсоляційні сценарії та оцінити чутливість кожного розропланувального рішення до зміни орієнтації. Такий підхід спомогає виявити не лише абсолютні значення затіненості, а й міру стійкості різних схем забудови до зміни сонячного впливу.

Порівняння отриманих даних щодо температури підстильної поверхні та середнього відсотка затіненості створює можливість комплексно оцінити біокліматичну ефективність кожного варіанта, визначити розропланувальні структури, які демонструють найкращі показники в умовах пікових літніх навантажень.

У межах дослідження були використані моніторингові дані Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України за липень 2021 року, відповідно до яких середня температура повітря за цей період становила $24,6^\circ\text{C}$ [190]. Вибір розрахункового періоду зумовлений необхідністю проаналізувати процеси нагрівання та затінення підстильної поверхні в умовах пікових літніх теплових навантажень, що для І кліматичної зони України відповідає липню.

Прийняття як вихідного параметра середньої температури повітря в липні дало змогу розглядати умови як характерні для спекотного літнього дня без прив'язки до екстремальних, аномальних значень. Моделювання й розрахунки виконувалися на прикладі одного світлового дня, що забезпечило зіставність результатів між різними розропланувальними варіантами та можливість виокремити вплив виключно морфології забудови й орієнтації будівель на процеси нагрівання та затінення.

Як об'єкт дослідження було обрано типову квартальну чарунку площею 1 га, що найбільш притаманна до сучасних житлових комплексів, які будуються на периферії Києва.

Орієнтовну площу кожної житлової секції прийнято рівною 500 м², що зумовлено економічною доцільністю та відповідає поширеній практиці проєктування багатоквартирних житлових будинків. Цей показник відображає раціональний баланс між щільністю забудови, ефективним використанням земельної ділянки та оптимізацією будівельних витрат. Прийняття однакової площі секцій для всіх розглянутих варіантів уніфікувало вихідні параметри моделювання та забезпечило коректність подальшого порівняльного аналізу.

Розрахунок кількості надходження сонячної радіації було виконано з використанням спеціалізованого програмного забезпечення Townscope [191], призначеного для аналізу інсоляції та мікрокліматичних характеристик забудованих територій. Використання цього інструменту дозволило провести порівняльний аналіз різних сценаріїв розміщення житлових секцій і кількісно оцінити вплив типових регулярних схем забудови на розподіл прямої сонячної радіації всередині кварталу упродовж світлового дня.

Перед початком дослідження було виконано підготовку цифрових тривимірних моделей будівель, що відображають прийняті розпланувальні та об'ємно-просторові рішення досліджуваної квартальної чарунки (рис. 3.5).

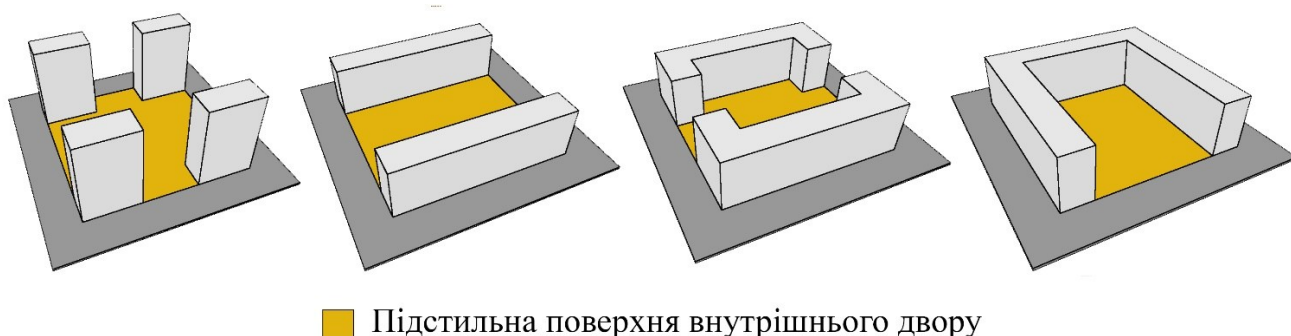


Рисунок 3.5. Тривимірні моделі квартальної забудови, опрацьовані в межах дисертації

3D-моделі житлових корпусів були сформовані з урахуванням їхніх габаритів, поверховості, орієнтації відносно сторін світу та взаємного

розташування. Особливу увагу приділено коректності геометрії, оскільки саме точність об'ємів і відстаней між ними безпосередньо впливає на результати інсоляційного аналізу. Після завершення моделювання об'єкти були експортовані у формат 3ds, щоби забезпечити сумісність із програмним середовищем Townscope та збереження всіх ключових параметрів просторової структури.

Із розрахунку свідомо було виключено вплив навколишньої забудови з метою отримання більш коректних результатів, які відображають виключно вплив розропланувальної структури досліджуваної квартальної комірки. Такий підхід ізолює вплив геометрії та взаємного розташування житлових корпусів на розподіл прямої сонячної радіації й уникає спотворення даних за рахунок зовнішніх чинників, які безпосередньо не належать до предмета дослідження.

Підстильна поверхня в розрахунковій моделі була умовно прийнята вільною від деревно-чагарникової рослинності. Припущення зроблено з метою виключення впливу складно прогнозованої та варіативної затіненості, пов'язаної з породним складом, висотою, щільністю крон і сезонною мінливістю зелених насаджень. Таким чином, аналіз було зосереджено на базових архітектурно-ропланувальних параметрах забудови як визначальному чиннику формування інсоляційного та теплового режиму.

Прийняті обмеження дали змогу розглядати отримані результати як «чистий» сценарій, що демонструє переваги та недоліки різних схем розміщення житлових корпусів за різної орієнтації відносно сторін світу. Надалі отримані дані можуть слугувати основою для більш комплексних моделей, що враховують вплив озеленення внутрішньоквартального простору з метою формування найбільш сприятливих мікрокліматичних умов.

Першим кроком проведеного нами дослідження став розрахунок середньої кількості прямої сонячної радіації, вираженої у Bm/m^2 , що надходить на підстильну поверхню внутрішнього дворового простору упродовж одного світлового дня (рис. 3.6). Цей показник було обрано як базовий, оскільки саме сумарний вплив прямої сонячної радіації визначає інтенсивність нагрівання горизонтальних поверхонь і, як наслідок, формування теплового режиму

внутрішньоквартальної території. Розрахунок середнього значення дозволив перейти від миттєвих коливань інсоляції до інтегральної оцінки теплового навантаження, більш репрезентативної для аналізу умов комфортності.

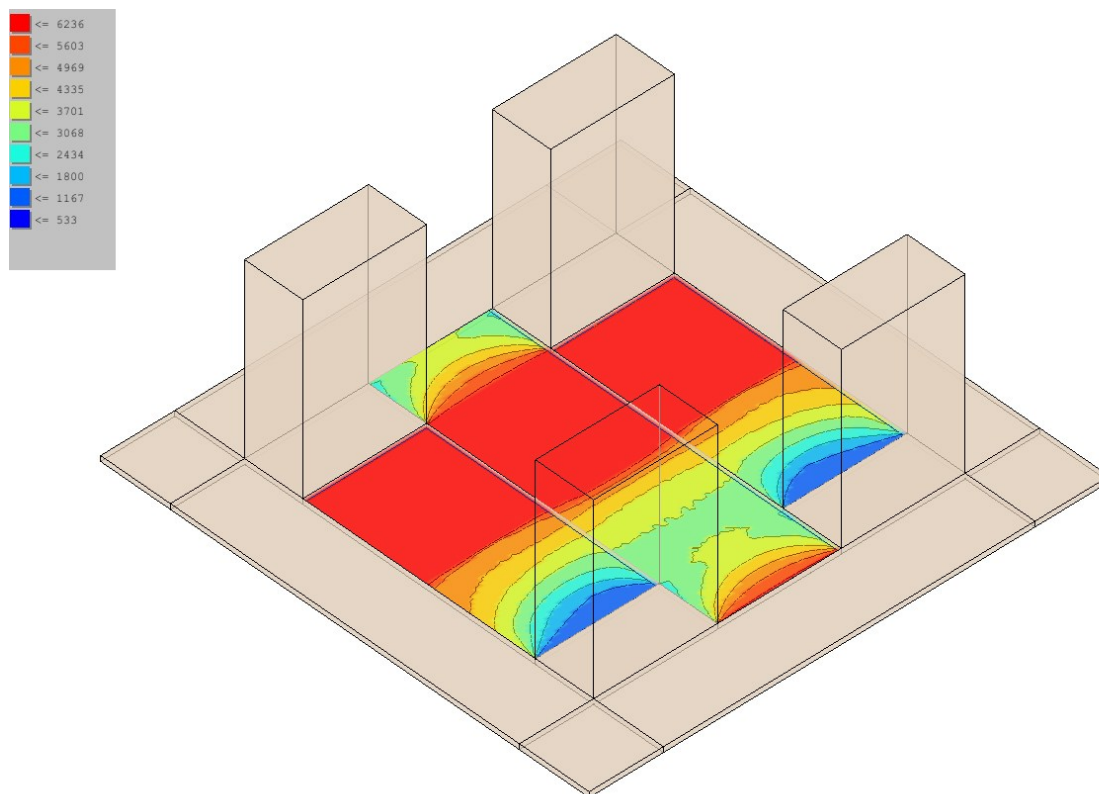


Рисунок 3.6. Приклад побудови схеми розрахунку кількості прямої сонячної радіації у спеціалізованій програмі Townscore для точкової забудови

У межах проведеного дослідження було прийнято рішення встановити в програмі Townscore обмеження на 10 рівнів градації надходження теплового потоку на підстильну поверхню двору. Спираючись на отримані результати, за формулою (3.1) було розраховано кількість Bt , які у середньому отримує один квадратний метр поверхні двору упродовж світлового дня відповідно до рівня теплового навантаження.

$$I_i = E_i \times S_i, \quad (3.1)$$

де E_i – середня кількість прямої сонячної радіації упродовж світлового дня на фрагмент подвір'я; S_i – площа фрагменту подвір'я; i – номер фрагменту подвір'я, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Середнє значення кількості енергії від прямої сонячної радіації $I_{\text{заг}}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$), що приходить упродовж світлового дня на площу поверхні подвір'я, визначається за формулою (3.2):

$$I_{\text{заг}} = \frac{\sum I_i}{S_o}, \quad (3.2)$$

де $\sum I_i$ – Сумарна кількість потрапляння прямої сонячної радіації на підстильну поверхню подвір'я упродовж світлового дня; S_o – Загальна площа підстильної поверхні подвір'я.

Отримані дані структуровано й занесено в таблиці. Нижче у *табл. 5* подано приклад отриманих значень для варіанту точкової забудови за орієнтації внутрішнього двору кварталу СХ, ЗХ.

Таблиця 5. Кількість прямої сонячної радіації, яка потрапила на внутрішнє подвір'я точкової забудови кварталу за орієнтації СХ, ЗХ

№ з/п	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я упродовж світлового дня за розрахунком Townscope ($\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$)	Площа поверхні подвір'я (м^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я упродовж світлового дня ($\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{доба}$)	Середнє значення прямої сонячної радіації упродовж світлового дня ($\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$)
1		6236	3266	20366776	
2		5603	283	1585649	
3		4969	685	3403765	
4		4335	668	2895780	
5		3701	1136	4204336	
6		3068	1016	3117088	
7		2434	275	669350	
8		1800	192	345600	
9		1167	244	284748	
10		533	11	5863	
Загалом			7776	36878955	4743

Розрахунки були виконані окремо для кожного з розглянутих варіантів забудови житлового кварталу (*Додаток Б*). Крім того, для кожного розрозрахункового рішення моделювання здійснювалося за різної орієнтації забудови відносно сторін світу. Отримані дані стали вихідною основою для

подальшого аналізу теплового режиму та оцінки біокліматичної ефективності типових містобудівних рішень. У табл. 6 наведено отримані середні значення надходження прямої сонячної радіації на підстильну поверхню внутрішнього двору для варіантів, розглянутих автором.

Таблиця 6. Середнє значення кількості прямої сонячної радіації, яку отримує підстильна поверхня подвір'я упродовж світлового дня для типових рішень забудови кварталу

Типи квартальної забудови	Орієнтація подвір'я кварталу відносно сторін світу							
	ПН	ПН-СХ	ПН-ЗХ	ПД	ЗХ	ПД-СХ	ПД-ЗХ	СХ
Точкова, $Bt \cdot ч/м^2$	4372	4498	4498	4372	4743	4498	4498	4743
Рядкова, $Bt \cdot ч/м^2$	4140	4734	4734	4140	5175	4734	4734	5175
Периметральна, $Bt \cdot ч/м^2$	3693	4029	4029	3693	4423	4029	4029	4423
П-подібна, $Bt \cdot ч/м^2$	3402	3868	3868	4102	4428	4447	4447	4425

Другим кроком нашого дослідження стало визначення з використанням формули А. М. Шкловера [192] середньої температури нагрівання підстильної поверхні під впливом прямої сонячної радіації протягом однієї години світлового дня. Формула Шкловера (3.3) ґрунтується на врахуванні інтенсивності сонячної радіації, теплофізичних властивостей матеріалу поверхні та метеорологічних умов. Вона дозволяє оцінити процес накопичення тепла поверхнею в умовах прямого сонячного опромінення та відображає реальний характер теплової взаємодії між сонячною енергією і підстильним шаром. Практика її застосування у містобудівних і кліматичних дослідженнях демонструє високу міру відповідності розрахункових значень температури результатам натурних і лабораторних вимірювань. Завдяки цьому методика Шкловера вважається надійним інструментом для аналізу теплового режиму відкритих просторів і може використовуватися для оцінки перегріву не лише підстильної поверхні, а й площини фасадів у різних типах міської забудови.

$$t_{cal} = t_{out} + \frac{R \times \alpha S, c}{\alpha_{out}} \quad (3.3)$$

де t_{out} – температура зовнішнього повітря (°C); R – пряма сонячна радіація, яка потрапляє на поверхню за досліджуємий проміжок часу, Bm/m^2 ; $\alpha S, c$ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею, який визначається згідно з п. 11.3 ДСТУ 9190-2022 (табл. 10) [95]; α_{out} – коефіцієнт теплообміну поверхні, який обчислюється за емпіричною формулою [192; 193]:

$$\alpha_{out} = 1,16 \times (5 + 10 \times \sqrt{v}) \quad (3.4)$$

де v – швидкість вітру, m/c .

Однак підстильна поверхня прибудинкової території отримує теплову енергію не лише від прямої сонячної радіації, а й унаслідок теплообміну з навколишніми об'єктами забудови. У результаті такої взаємодії сумарний тепловий індекс прибудинкового простору зростає. У цьому випадку рівняння балансу питомого теплового потоку для поверхні фасаду, що сприймає променисте тепло, може бути записане за низки прийнятих допущень:

- відсутнє багаторазове відбиття та поглинання між фасадами будівель і підстильною поверхнею;
- температура зовнішньої поверхні не залежить від температури внутрішнього повітря приміщення;
- обчислення виконуються для тонкого поверхневого шару за одну годину, тому вважається, що цей шар має сталу температуру, яка відповідає завершенню часового інтервалу;
- розглянуті поверхні є однорідними та не мають перепаду рельєфу;
- вплив атмосфери не враховується.

Температуру нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору було розраховано з урахуванням погодинного відсотка затінення та визначено середнє значення протягом розрахункових годин (табл. 7). При цьому коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею двору прийнято згідно з ДСТУ 9190:2022 (табл. 10) $\alpha S, c = 0,7$ для мощення поверхні двору клінкерною цеглою. Коефіцієнт

теплообміну поверхні прийнято відповідно до формули (2); для міста Києва він визначений за середньостатистичними довідковими даними [190].

Таблиця 7. Середня температура підстильної поверхні подвір'я для регулярних типових рішень забудови кварталу

Типи квартальної забудови	Орієнтація подвір'я кварталу відносно сторін світу							
	ПН	ПН-СХ	ПН-ЗХ	ПД	ЗХ	ПД-СХ	ПД-ЗХ	СХ
Точкова, $t^{\circ}\text{C}$	34,8	35,1	35,1	34,8	35,7	35,1	35,1	35,7
Рядкова, $t^{\circ}\text{C}$	34,3	35,7	35,7	34,3	36,7	35,7	35,7	36,7
Периметральна, $t^{\circ}\text{C}$	33,3	34,0	34,0	33,3	35,0	34,0	34,0	35,0
П-подібна, $t^{\circ}\text{C}$	32,6	33,7	33,7	34,2	35,0	35,0	35,0	35,0

На основі заповненої розрахункової таблиці, що містить отримані значення температури нагрівання підстильної поверхні для всіх розглянутих варіантів забудови та орієнтацій відносно сторін світу, з метою наочного представлення і ручності порівняльного аналізу було побудовано діаграми. Використання діаграм суттєво спростило інтерпретацію розрахункових даних, підвищило наочність зіставлення температурного режиму підстильної поверхні в межах проведеного дослідження.

Аналіз отриманих результатів, наведених на *рис. 3.7*, дає змогу оцінити нагрівання підстильної поверхні для точкової забудови ділянки. Загалом значення температури перебувають у відносно вузькому діапазоні, що свідчить про слабку чутливість точкової схеми до зміни орієнтації, однак окремі відмінності все ж простежуються. Варто зазначити, що характер точкової забудови у нашому дослідженні представлений у вигляді прямокутних паралелепіпедів зі сторонами $15 \times 30 \text{ м}$ у плані.

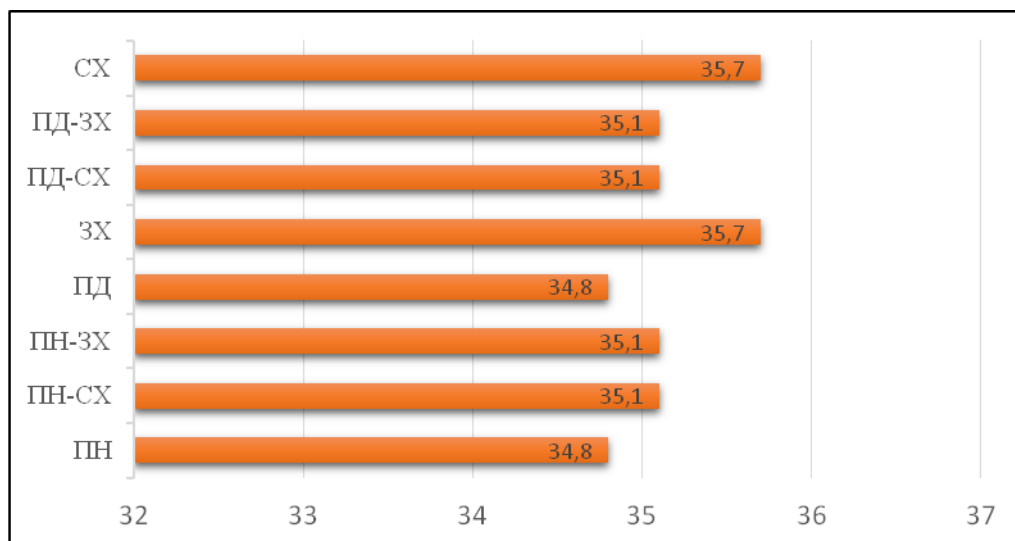


Рисунок 3.7. Середня температура нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору житлового кварталу відносно сторін світу протягом світлового дня.
Варіант точкової забудови житлового кварталу

Найбільші значення температури підстильної поверхні зафіксовані за орієнтації по осі СХ–ЗХ, де температура досягає 35,7 °C. Це вказує на найбільш несприятливі умови з погляду перегріву, зумовлені тривалішим впливом прямої сонячної радіації на відкриті горизонтальні поверхні двору за таких орієнтацій. У цих випадках компактний характер точкової забудови не забезпечує достатнього рівня затінення, а дворовий простір залишається підданим інтенсивному сонячному опроміненню протягом значної частини дня.

Дещо нижчі, але все ще високі значення температури – 35,1 °C – спостерігаються за діагональних орієнтаціях двору. Це свідчить про незначне покращення теплових умов, пов'язане з більш рівномірним розподілом тіні протягом світлового дня, однак різниця порівняно з найбільш несприятливими варіантами залишається мінімальною.

Найменші значення температури підстильної поверхні – 34,8 °C – зафіксовані при орієнтації ПН та ПД. Ці варіанти можна вважати відносно більш сприятливими для точкової забудови, оскільки вони забезпечують дещо менше сумарне теплове навантаження на дворовий простір. Проте навіть у цих випадках температура залишається достатньо високою, що вказує на загальну схильність точкової забудови до перегріву відкритих просторів.

Аналіз показників температури підстильної поверхні для варіанта рядкової забудови, наведених на (рис. 3.8), дозволяє виявити більш виражену залежність теплового режиму внутрішньодворового простору від орієнтації житлових корпусів відносно сторін світу порівняно з точковою схемою забудови. Розкид значень температури в цьому випадку є більш суттєвим, що вказує на підвищену чутливість лінійної забудови до напрямку сонячної радіації.

Найвищі значення температури підстильної поверхні зафіксовані при орієнтації СХ і ЗХ, де температура досягає 36,7 °С. Ці орієнтації є найбільш несприятливими з точки зору теплового комфорту. Крім того, протяжні лінійні фасади будівель протягом дня отримують інтенсивне сонячне опромінення, а дворовий простір залишається відкритим для прямої сонячної радіації у ранкові та денні години. У результаті відбувається максимальне нагрівання підстильної поверхні.

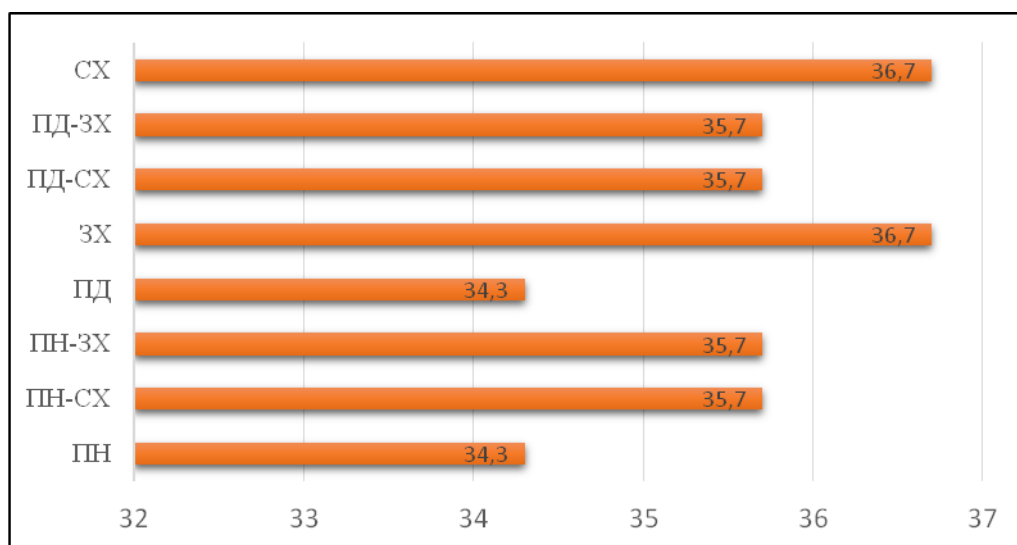


Рисунок 3.8. Середня температура нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору житлового кварталу відносно сторін світу протягом світлового дня.
Варіант рядкової забудови житлового кварталу

Дещо нижчі, але все ще високі температурні значення – 35,7 °С – спостерігаються при орієнтаціях ПД-ЗХ, ПД-СХ, ПН-ЗХ і ПН-СХ. Діагональні орієнтації забезпечують часткове зміщення зон затінення протягом дня, однак при

рядовій забудові цього виявляється недостатньо для істотного зниження теплового навантаження на підстильну поверхню.

Найбільш сприятливі показники температури підстильної поверхні для рядкової забудови зафіксовані при орієнтації ПД і ПН, де температура становить 34,3 °С. У цих випадках лінійне розміщення секцій сприяє більш рівномірному розподілу тіні від будівель протягом світлового дня, що зменшує сумарне надходження прямої сонячної радіації на територію подвір'я і, як наслідок, знижує рівень його перегріву.

Аналіз результатів розрахунку температури нагрівання підстильної поверхні для варіанта периметральної забудови житлового кварталу, наведених на діаграмі (рис. 3.9), демонструє більш збалансований і стійкий тепловий режим внутрішньоквартального простору порівняно з точковою та рядковою схемами. Діапазон коливань температур у цьому випадку є найменшим, що свідчить про меншу залежність периметральної забудови від орієнтації відносно сторін світу.

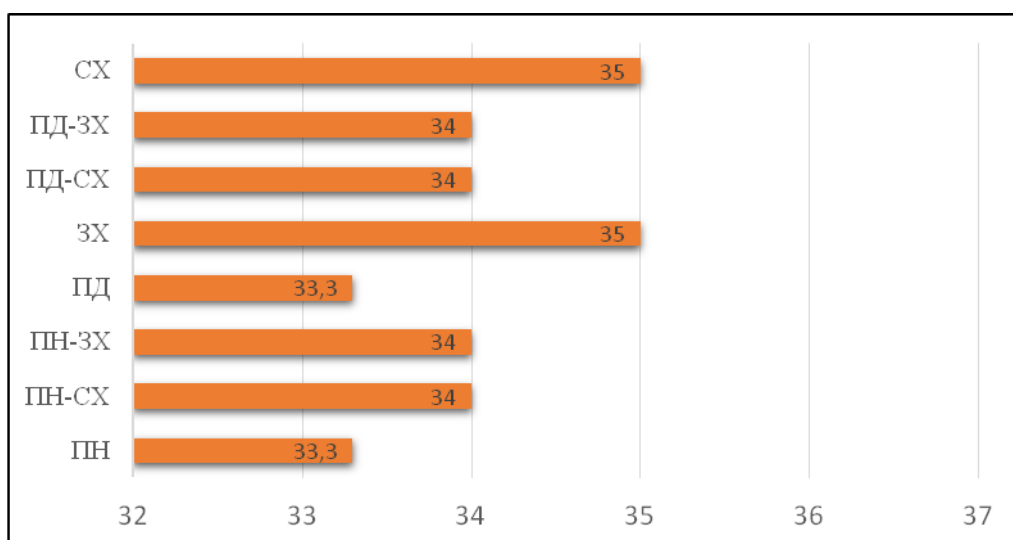


Рисунок 3.9. Середня температура нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору житлового кварталу відносно сторін світу протягом світлового дня.
Варіант периметральної забудови житлового кварталу

Найбільші значення температури підстильної поверхні зафіксовані при орієнтації СХ і ЗХ, де температура досягає 35,0 °С. Незважаючи на те, що ці орієнтації залишаються найбільш несприятливими, абсолютні значення

температури тут нижчі, ніж в аналогічних орієнтаціях при точковій і рядковій забудові. Це пояснюється формуванням закритого дворового простору, в якому фасади будівель забезпечують взаємне затінення значної частини горизонтальних поверхонь протягом світлового дня.

Проміжні значення температури – $34,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – спостерігаються при діагональних орієнтаціях: ПД–ЗХ, ПД–СХ, ПН–ЗХ і ПН–СХ. У цих випадках периметральна схема демонструє достатньо рівномірний розподіл тіні, що знижує сумарний вплив прямої сонячної радіації на підстильну поверхню двору та обмежує її перегрів.

Найбільш сприятливі температурні показники зафіксовані при орієнтації ПД і ПН, де температура підстильної поверхні становить $33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ці значення є мінімальними серед усіх розглянутих орієнтацій для периметральної забудови та свідчать про високу ефективність цього типу розпланувального рішення з точки зору пасивного зниження теплового навантаження. Закрита структура кварталу в поєднанні з оптимальною орієнтацією сприяє тривалому затіненню дворового простору та зменшенню часу прямого сонячного опромінення.

Отримані результати підтверджують, що периметральна забудова має найбільший потенціал формування сприятливого мікроклімату внутрішньоквартальних просторів. Навіть при несприятливій орієнтації відносно сторін світу температурні показники залишаються відносно помірними, а при оптимальній орієнтації демонструють найнижчий рівень перегріву підстильної поверхні порівняно з іншими типами містобудівних рішень.

Аналіз результатів розрахунку температури нагрівання підстильної поверхні для варіанта П-подібної забудови житлового кварталу (*рис. 3.10*) демонструє виражену залежність теплового режиму внутрішньодворового простору від орієнтації забудови відносно сторін світу. Порівняно з периметральною схемою П-подібна структура виявляє більшу варіативність температурних показників, що пов'язано з частковою відкритістю двору та нерівномірним характером затінення.

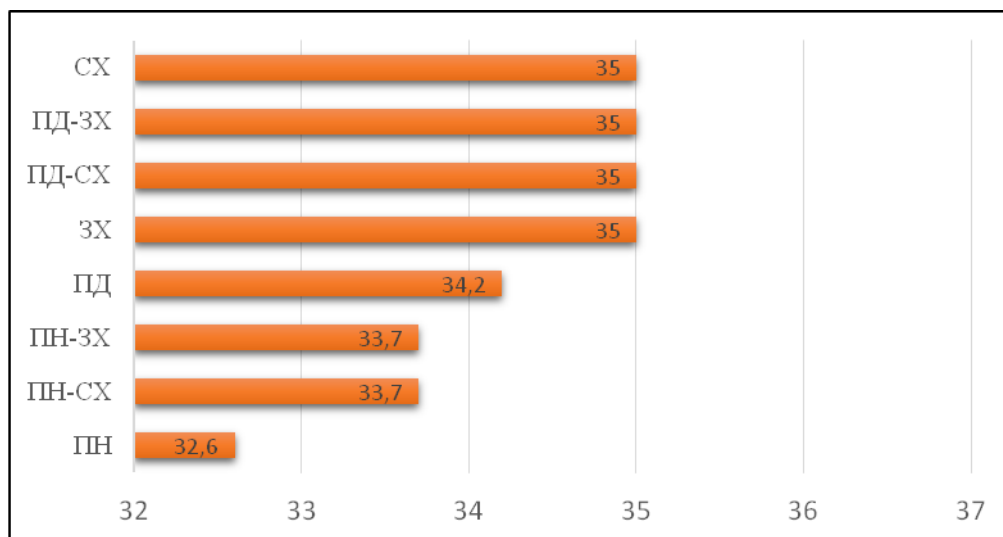


Рисунок 3.10. Середня температура нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору житлового кварталу відносно сторін світу протягом світлового дня.
Варіант П-подібної забудови житлового кварталу

Найвищі значення температури підстильної поверхні – $35,0^{\circ}\text{C}$ – зафіксовано при орієнтаціях СХ, ЗХ, а також при діагональних орієнтаціях ПД–ЗХ і ПД–СХ. У цих конфігураціях відкрита сторона двору зорієнтована таким чином, що значна частина внутрішнього простору зазнає тривалого впливу прямої сонячної радіації. Це призводить до збільшення тривалості інсоляції горизонтальних поверхонь і, як наслідок, до їх інтенсивного перегріву.

Дещо сприятливіші показники спостерігаються при орієнтації ПД, де температура підстильної поверхні становить $34,2^{\circ}\text{C}$. У цьому випадку конфігурація забудови забезпечує часткове екранування двору корпусами будівель, що сприяє скороченню тривалості прямого сонячного опромінення в денні години. Однак відкритість структури й надалі обмежує потенціал зниження теплового навантаження.

Більш виражене зниження температури фіксується при орієнтаціях ПН–ЗХ і ПН–СХ, для яких температура підстильної поверхні становить $33,7^{\circ}\text{C}$. Ці варіанти можна вважати відносно сприятливими, оскільки орієнтація відкритої частини двору в бік північних румбів зменшує надходження прямої сонячної радіації та сприяє більш рівномірному розподілу тіні протягом світлового дня.

Мінімальне значення температури підстильної поверхні – $32,6^{\circ}\text{C}$ – зафіксовано при орієнтації ПН. Цей варіант є найбільш ефективним для П-

подібної забудови з точки зору охолодження простору подвір'я. Утім північна орієнтація відкритого двору суттєво обмежує інсоляцію, що і зумовлює найнижчий рівень перегріву серед усіх розглянутих орієнтацій даного типу забудови.

П-подібна забудова має потенціал формування відносно комфортного мікроклімату за умови раціонального вибору орієнтації відносно сторін світу. Водночас за несприятливої орієнтації цей тип розпланувального рішення демонструє температурні показники, співставні з найбільш перегрітими варіантами рядкової та точкової забудови, що підкреслює критичну роль орієнтації у процесі проєктування П-подібних житлових кварталів.

3.3 Розрахунок середнього відсотка затінення підстильної поверхні внутрішнього двору типових містобудівних рішень квартальної забудови

Наступним етапом дослідження стало визначення відсотка затінення поверхні внутрішнього двору. Розрахунок також виконано для кожного з розглянутих варіантів за різної орієнтації.

Як ілюстрацію результатів дослідження наведено *табл. 8*, що відображає міру затінення території подвір'я периметральної схеми забудови. Аналогічні таблиці складено для всіх типів забудови, розглянутих у роботі (*Додаток Г*).

Таблиця 8. Середній відсоток затінення підстильної поверхні периметральної забудови житлового кварталу упродовж дня

Площа поверхні, м ²		5550							
Орієнтація забудови		СХ, ЗХ		ПН-СХ, ПД-ЗХ		ПН-ЗХ, ПД-СХ		ПН, ПД	
Показник затінення		м ²	%	м ²	%	м ²	%	м ²	%
Розрахунковий період (h)	06:00	2060	37,1	3619	65,2	4877	87,9	5370	96,8
	07:00	1530	27,6	3427	61,7	3256	58,7	4689	84,5
	08:00	1294	23,3	2945	53,1	1910	34,4	3351	60,4
	09:00	1415	25,5	2437	43,9	1139	20,5	2269	40,9
	10:00	1508	27,2	1964	35,4	628	11,3	1420	25,6

11:00	1585	28,6	1469	26,5	640	11,5	766	13,8
12:00	1625	29,3	1013	18,3	1057	19,0	518	9,3
13:00	1575	28,4	555	10,0	1486	26,8	791	14,3
14:00	1503	27,1	622	11,2	1913	34,5	1415	25,5
15:00	1422	25,6	1143	20,6	2514	45,3	2242	40,4
16:00	1316	23,7	1901	34,3	3000	54,1	3346	60,3
17:00	1501	27,0	3243	58,4	3458	62,3	4625	83,3
18:00	2099	37,8	4929	88,8	3634	65,5	5385	97,0
19:00	3027	54,5	5277	95,1	2802	50,5	5385	97,0
20:00	3848	69,3	5401	97,3	2974	53,6	5385	97,0
μ (%)	32,8		48,0		42,4		56,4	

За розрахунковий період прийнято повний світловий день. Моделювання здійснювалося із заданим погодинним кроком, що дозволило відстежити динаміку зміни затінення протягом дня. Для кожного часового інтервалу фіксувалися ділянки підстильної поверхні, які перебували в тіні від будівель, а також ділянки, що зазнавали прямого сонячного опромінення.

Принцип визначення усередненого відсотка затінення ґрунтувався на співвідношенні площі затінених ділянок до загальної площі підстильної поверхні внутрішнього двору. Здобуте відсоткове значення відображало рівень затінення в кожний конкретний момент часу. Дані, які було отримано для всіх часових інтервалів світлового дня, підсумовувалися та усереднювалися. Такий підхід дозволяє врахувати не лише максимальні або мінімальні значення, а й реальний розподіл тіні в часі, що є показовим для оцінки комфортності використання подвір'я протягом усього дня.

Для точкової забудови у 16 поверхів розрахунок усередненого відсотка затінення виявив виражену нерівномірність розподілу тіні. Висотні корпуси формують протяжні тіні у ранкові та вечірні години, однак у денний період значна частина підстильної поверхні залишається відкритою для прямої сонячної радіації. У результаті усереднений показник затіненості формується за рахунок короткочасних періодів інтенсивного затінення та тривалих періодів перегріву, що відображається у відносно низьких значеннях інтегрального показника (рис. 3.11).

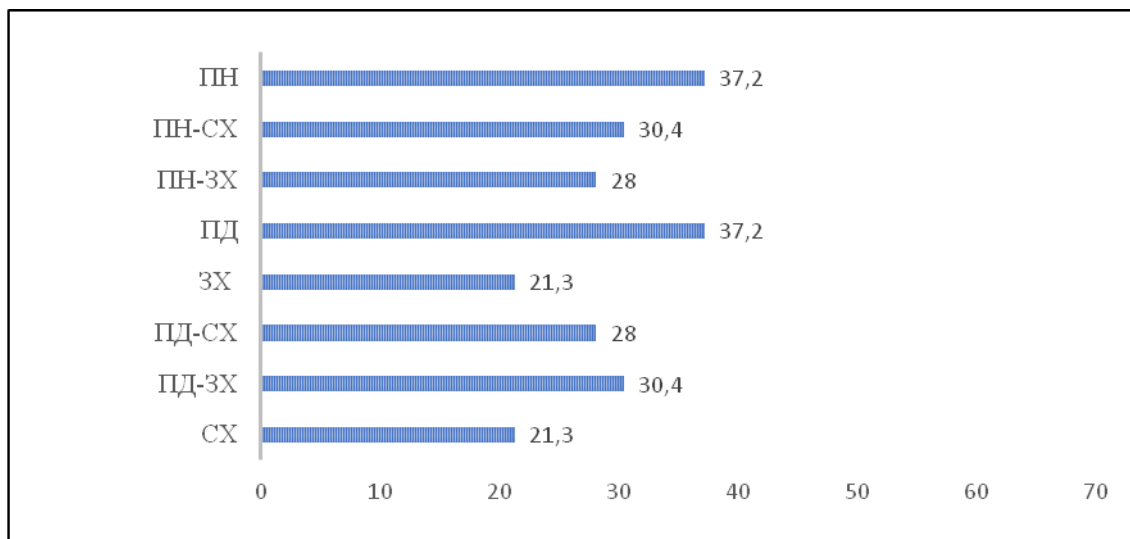


Рисунок 3.11. Відсоток затінення підстильної поверхні внутрішнього двору відносно сторін світу точкової забудови житлового кварталу впродовж світлового дня

У випадку рядкової забудови у 9 поверхів (рис. 3.12) метод підрахунку дозволив виявити повторюваність тіньових сценаріїв. Лінійне розміщення секцій з однаковою орієнтацією призводить до формування паралельних смуг тіні, які переміщуються двором упродовж дня, проте не забезпечують рівномірного покриття всієї підстильної поверхні.

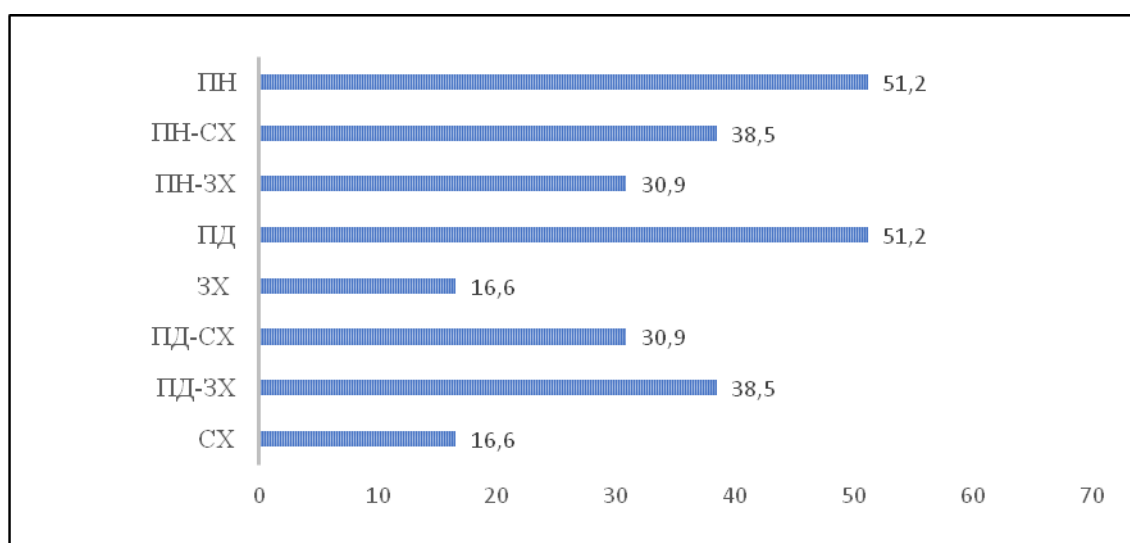


Рисунок 3.12. Відсоток затінення підстильної поверхні внутрішнього двору відносно сторін світу рядкової забудови житлового кварталу впродовж світлового дня

Під час усереднення таких даних стає очевидним, що окремі ділянки двору зазнають тривалого сонячного впливу, тоді як інші залишаються в тіні лише обмежений час, що знижує загальний рівень біокліматичної ефективності.

Периметральна забудова у 9 поверхів формує замкнений дворовий простір, що суттєво впливає на характер затінення (рис. 3.13). Принцип розрахунку усередненого відсотка затінення в цьому випадку дозволив урахувати внесок кожного корпусу, який оточує двір. У ранкові та вечірні години значна частина території подвір'я перебуває в тіні від фасадів, однак у полуденний період центральна зона часто виявляється повністю інсольованою. Усереднений показник відображає компроміс між тривалими періодами затінення по периметру та перегрівом у центральній частині, що є важливим для оцінки функціональної придатності двору.

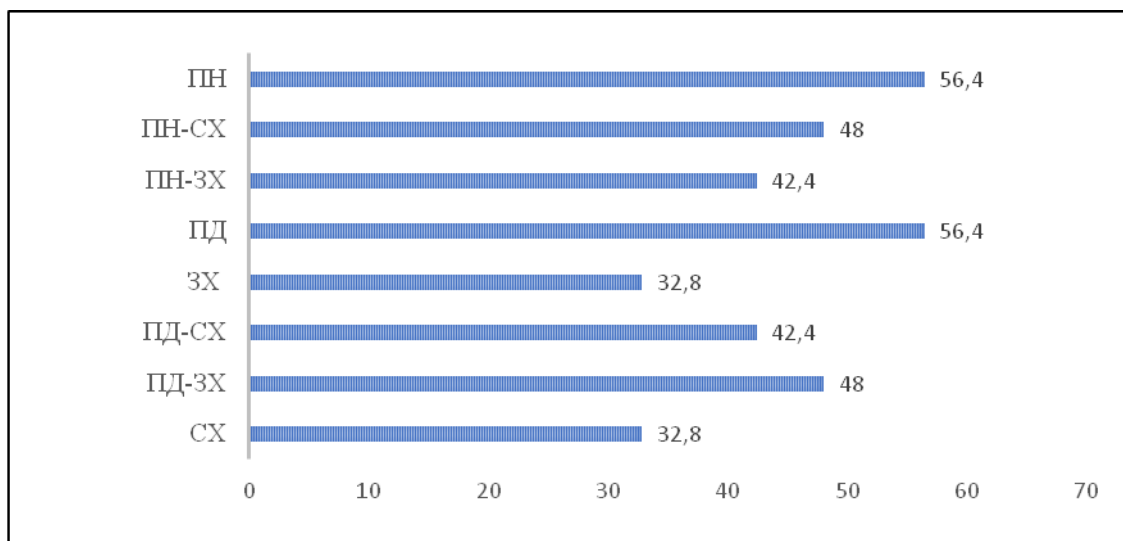


Рисунок 3.13. Відсоток затінення підстильної поверхні внутрішнього двору відносно сторін світу периметральної забудови житлового кварталу впродовж світлового дня

Для П-подібної забудови у 9 поверхів розрахунок затінення продемонстрував більш складну та варіативну картину (рис. 3.14). Частково закрита форма двору створює асиметричний розподіл тіні, що залежить від орієнтації відкритої сторони. Принцип усереднення в цьому випадку дозволив урахувати як зони з тривалим затіненням, так і ділянки, які зазнають інтенсивної

інсоляції. Отриманий показник характеризує міру адаптивності такого розпланувального рішення до змін сонячного впливу упродовж дня.

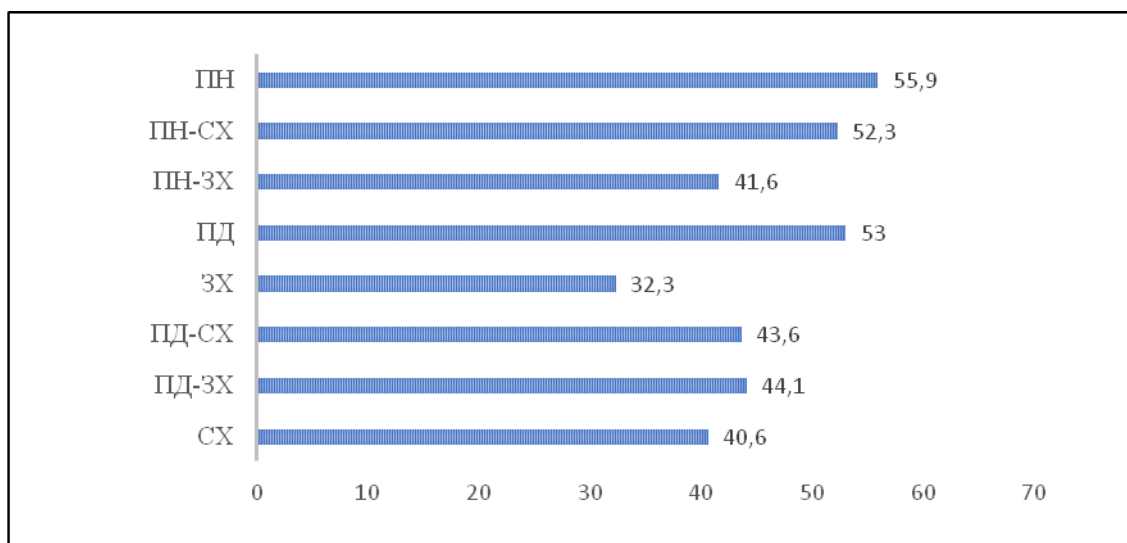


Рисунок 3.14. Відсоток затінення підстильної поверхні внутрішнього двору відносно сторін світу П-подібної забудови житлового кварталу впродовж світлового дня

У процесі дослідження, під час зіставлення отриманих даних щодо середнього значення температури нагрівання підстильної поверхні та середнього відсотка її затінення для одних і тих самих варіантів містобудівної структури, було виявлено, що ці показники не демонструють однозначно узгодженої оцінки за однакової орієнтації кварталу відносно сторін світу. Іншими словами, одна й та сама орієнтація забудови може характеризуватися відносно високим відсотком затінення, але водночас супроводжуватися підвищеними значеннями температури нагрівання підстильної поверхні, або навпаки.

Це пояснюється тим, що середній відсоток затінення характеризує виключно геометричний та інсоляційний аспект – частку площі підстильної поверхні, яка протягом світлового дня перебуває в тіні від будівель. Цей показник фіксує наявність або відсутність прямого сонячного опромінення, проте не враховує інтенсивність радіації в конкретні години, тривалість опромінення окремих ділянок, а також теплову інерцію матеріалів. У результаті дві орієнтації

кварталу можуть мати близькі значення затінення, але принципово різний розподіл сонячної енергії в часі.

Середня температура нагрівання підстильної поверхні є інтегральним тепловим показником, який формується під впливом цілого комплексу чинників. Навіть короткочасне, але інтенсивне сонячне опромінення в години максимальної висоти сонця, здатне суттєво підвищити середню температуру, незважаючи на відносно високий сумарний відсоток затінення протягом дня.

Додаткову роль відіграє нерівномірність розподілу тіні в часі. Затінення, що припадає на ранкові або вечірні години з низькою інтенсивністю сонячної радіації, має менший вплив на температурний режим, ніж відсутність тіні в полуденний період. Отже, орієнтації з однаковим або навіть вищим середнім відсотком затінення можуть демонструвати підвищені значення температури нагрівання підстильної поверхні.

Відмінність між цими двома показниками є закономірною та вказує на необхідність їх спільного аналізу. Відсоток затінення відображає просторово-геометричні умови інсоляції, тоді як температура нагрівання фіксує реальний тепловий ефект, що формує мікроклімат внутрішньоквартального простору.

Під час вибору оптимального містобудівного рішення доцільно надавати пріоритет показнику середньої температури нагрівання підстильної поверхні, розглядаючи при цьому середній відсоток затінення як допоміжний і уточнювальний параметр. Такий підхід зумовлений тим, що саме температура підстильної поверхні безпосередньо характеризує тепловий стан внутрішньоквартального простору. Саме цей показник визначає формування локального теплового поля, рівень теплового стресу для людини та внесок території у формування внутрішньоквартального й міського острова тепла.

Висновки до розділу 3

1. Під час аналізу теплового режиму внутрішньоквартальних просторів і визначення відсотка затіненості підстильної поверхні ключову роль відіграє

сукупність просторових і морфологічних параметрів забудови. До таких параметрів належать форма земельної ділянки, щільність забудови, поверховість житлових будівель, відстані між корпусами, характер їх взаємного розташування. Кожен із цих чинників безпосередньо впливає на умови інсоляції, тривалість перебування окремих ділянок у тіні, інтенсивність нагрівання горизонтальних поверхонь. У сукупності вони формують тепловий баланс внутрішньоквартального простору, визначають рівень його теплового комфорту в піковий літній період.

2. Результати проведених нами досліджень виявили наявність прямої залежності між середніми значеннями температури нагрівання підстильної поверхні та відсотком її затіненості від орієнтації містобудівної структури відносно сторін світу. Зміна орієнтації житлових кварталів призводить до суттєвих коливань теплового навантаження на внутрішньоквартальні простори навіть за збереження однакових показників щільності та поверховості забудови. Це підтверджує, що орієнтація є самостійним і вагомим чинником біокліматичного проєктування.

3. Оптимізація орієнтації забудови та розрозрахункової структури з урахуванням сонячної радіації й затінення сприятиме зниженню перегріву підстильних поверхонь, зменшенню теплового випромінювання в зонах пішохідного використання і, як наслідок, зниженню ризику теплового стресу в мешканців майбутньої селітьби. У довгостроковій перспективі це підвищить якість житлового середовища, його стійкість до кліматичних змін і комфортність повсякденного перебування на відкритих просторах.

4. Оскільки проведені дослідження виконані з урахуванням конкретних кліматичних умов України для І кліматичної зони та ґрунтуються на аналізі найбільш поширених типових містобудівних рішень, отримані результати мають високу міру прикладної значущості для вітчизняної архітектурної та містобудівної практики. Прив'язка розрахунків до реальних метеорологічних даних, характерних для пікового літнього періоду, дозволяє розглядати висновки дослідження як репрезентативні для умов експлуатації сучасних житлових

кварталів. Це створює підґрунтя для використання виявлених закономірностей під час розроблення генеральних планів, схем планування територій та архітектурних концепцій житлової забудови.

5. Під час оцінювання ефективності розпланувальних рішень з позиції формування сталого біокліматичного простору основним критерієм доцільно вважати середню температуру нагрівання підстильної поверхні як більш об'єктивний і фізично обґрунтований показник теплового комфорту. Середній відсоток затінення при цьому доцільно використовувати в комплексі з температурними даними – для аналізу механізмів формування теплового режиму та коригування архітектурно-розпланувальних рішень на ранніх стадіях проєктування.

Розділ 4

ПРОПОЗИЦІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИХ РОЗПЛАНУВАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ДО КВАРТАЛЬНОЇ ЗАБУДОВИ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ПЕРЕГРІВУ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ВНУТРІШНЬОГО ДВОРУ

4.1 Обґрунтування необхідності відмови від регулярних розпланувальних структур квартальної житлової забудови на користь запропонованих автором асиметричних рішень

Багатоповерхове секційне житло з відкритими дворами на дві або більше сторін є одним із найпоширеніших типів забудови в сучасних містах. Така розрозпланувальна структура часто розглядається як універсальне рішення, що забезпечує нормативну інсоляцію, візуальну відкритість і відносну простоту організації внутрішньоквартального простору.

Проте в умовах зміни клімату та зростання середньорічних температур дедалі очевиднішими стають її суттєві недоліки, насамперед пов'язані з формуванням несприятливого мікроклімату та вираженого перегріву дворових територій. Відкриті двори багатоповерхової секційної забудови нерідко перетворюються на зони підвищеного теплового стресу, що різко знижує комфорт і якість перебування мешканців.

Основною причиною перегріву таких дворів є їх просторова організація. Відкриті дворові простори, як правило, мають великий масштаб, регулярну геометрію та однорідну орієнтацію житлових секцій. Це призводить до тривалого впливу прямої сонячної радіації на більшу частину підстильної поверхні двору протягом світлового дня. Відсутність просторової асиметрії та виражених перепадів висот унеможливорює формування динамічного затінення, унаслідок чого одні й ті самі ділянки зазнають інтенсивного нагрівання протягом багатьох годин поспіль.

Суттєву роль у формуванні дискомфорту відіграє характер покриття дворових просторів. У багатоповерховій секційній забудові значну частку займають асфальтовані проїзди, мощені майданчики та жорсткі покриття, що характеризуються високою теплоємністю. В умовах постійної інсоляції вони активно акумулюють тепло, нагріваючись до екстремальних температур. Навіть після зниження сонячної активності нагріті поверхні продовжують випромінювати тепло, підтримуючи високий температурний фон у дворі у вечірній та нічний час. Це посилює відчуття задухи та перешкоджає природному охолодженню житлового середовища.

Некомфортність перебування у перегрітих дворах особливо гостро проявляється в години максимальної активності мешканців. Дитячі майданчики, спортивні зони та пішохідні маршрути, розташовані на відкритих, незахищених ділянках, стають малопридатними для використання у денний час. Поверхні обладнання та покриття нагріваються до температур, потенційно небезпечних для контакту, що обмежує можливості для активного відпочинку й прогулянок. У результаті дворові простори втрачають свою соціальну та рекреаційну функцію, перетворюючись на транзитні або навіть зовсім пустуючі зони.

Найбільш уразливими в таких умовах є діти, люди похилого віку та особи з хронічними захворюваннями. Для цих груп населення перегрів дворового простору становить не лише дискомфорт, а й реальний ризик для здоров'я. Підвищена температура повітря та відсутність тіньових зон сприяють розвитку теплового стресу, перевтоми й погіршенню самопочуття. Цей чинник обмежує тривалість перебування на відкритому повітрі та знижує загальну фізичну активність мешканців.

Негативний вплив перегрітих дворів поширюється й на житлові приміщення. Високий тепловий фон у межах двору сприяє додатковому нагріванню фасадів і застелення нижніх поверхів, підвищуючи температуру всередині квартир. Мешканцям доводиться частіше використовувати кондиціонери та інші системи охолодження, що призводить до зростання енергоспоживання й експлуатаційних витрат. Таким чином, дискомфорт дворових

просторів безпосередньо впливає на екологічну та економічну стійкість житлової забудови.

З погляду гармонійності архітектурного середовища перегріті відкриті двори справляють несприятливе враження. Однорідний, яскраво освітлений простір без виражених тіньових акцентів сприймається як плаский і монотонний. Різкі контрасти світла й відблисків, відсутність прохолодних зон і візуального різноманіття посилюють відчуття порожнечі та несприятливості середовища. Це знижує емоційну прив'язаність мешканців до дворового простору та зменшує його цінність як місця повсякденного тривалого перебування.

В умовах сучасних вимог до сталого розвитку та кліматичної адаптації міст стає очевидним, що традиційна модель багатоповерхового секційного житла з відкритими дворами потребує критичного переосмислення. Без урахування мікрокліматичних чинників такі двори залишаються вразливими до перегріву й не забезпечують базового рівня комфорту для користувачів. Некомфортність перебування в подібних просторах спотворює саму ідею двору як важливого елемента житлового середовища, призначеного для відпочинку, спілкування та формування локальної спільноти.

Відсутність тіні, слабка вентиляція, висока теплоємність покриттів і регулярна геометрія забудови роблять такі простори малопридатними для тривалого перебування. Усвідомлення цих проблем є необхідним кроком для переходу до більш адаптивних, кліматично стійких моделей житлової забудови, орієнтованих на реальний комфорт і здоров'я населення.

У відповідь на виявлені проблеми перегріву та дискомфорності відкритих дворів багатоповерхового секційного житла особливої актуальності набуває пошук альтернативних містобудівних прийомів, здатних принципово змінити мікроклімат внутрішньоквартальних просторів. Одним із найбільш перспективних підходів у цьому контексті є імітація природного рельєфу в плануванні житлових кварталів, що розглядається як свідомо альтернатива регулярній, геометрично впорядкованій забудові. На відміну від традиційних схем, орієнтованих переважно на формальні та нормативні параметри, цей прийом спирається на

природні механізми терморегуляції, які довели свою ефективність у природних ландшафтах.

Долини та ущелини функціонують як природні кліматичні регулятори, створюючи комфортне, термічно збалансоване середовище. Протягом дня пряма сонячна радіація послідовно переміщується схилами, не концентруючись тривалий час на одній і тій самій поверхні. Унаслідок цього одні ділянки перебувають у тіні в ранкові години, а інші – в другій половині дня.

Природні ландшафти демонструють високу міру адаптивності до екстремальних температурних умов. Долини, ущелини, схили та терасовані поверхні формують складну систему мікрокліматичних зон, у яких тепло не концентрується, а перерозподіляється в часі та просторі. Вивчення цих процесів показує, що стійкість середовища досягається не за рахунок ізоляції від кліматичних впливів, а завдяки їхньому пом'якшенню. В містобудуванні це означає перехід від жорстких, регулярних схем забудови до більш гнучких просторових структур, здатних адаптуватися до змінних кліматичних умов.

Повторення геометрії природного рельєфу в містобудуванні проявляється насамперед у відмові від симетрії та однотипності просторової структури. Зміщення корпусів, варіативність їхньої орієнтації, різна поверховість, терасування та формування понижень і підвищень створюють складнішу й неоднорідну геометрію дворового простору. Така структура перешкоджає рівномірному й тривалому сонячному опроміненню всіх поверхонь одночасно. У результаті інсоляція розподіляється в часі й просторі, а дворові покриття та фасади не зазнають безперервного перегріву.

Як приклад такого містобудівного рішення розглянемо модель, запропоновану автором. На *рис. 4.1* представлено схему генерального плану міського кварталу, що складається з кількох секційних 9-поверхових житлових будинків. Формування кварталу частково ґрунтується на відтворенні геометрії форм природного каньйону. Дослідження було проведене автором з метою визначення раціональності такого розропланувального рішення з позиції теплового комфорту та зниження ризику виникнення теплового стресу в

мешканців. Розрахунки виконано за допомогою спеціалізованої програми Townscope. Кольоровими плямами показано розподіл прямої сонячної радіації на підстильній поверхні внутрішнього двору. Діагональність рішення навмисно відходить від регулярної гіподамової системи розмітки вулиць, щоб розрозпланувальна структура мала більшу подібність до природного рельєфу.

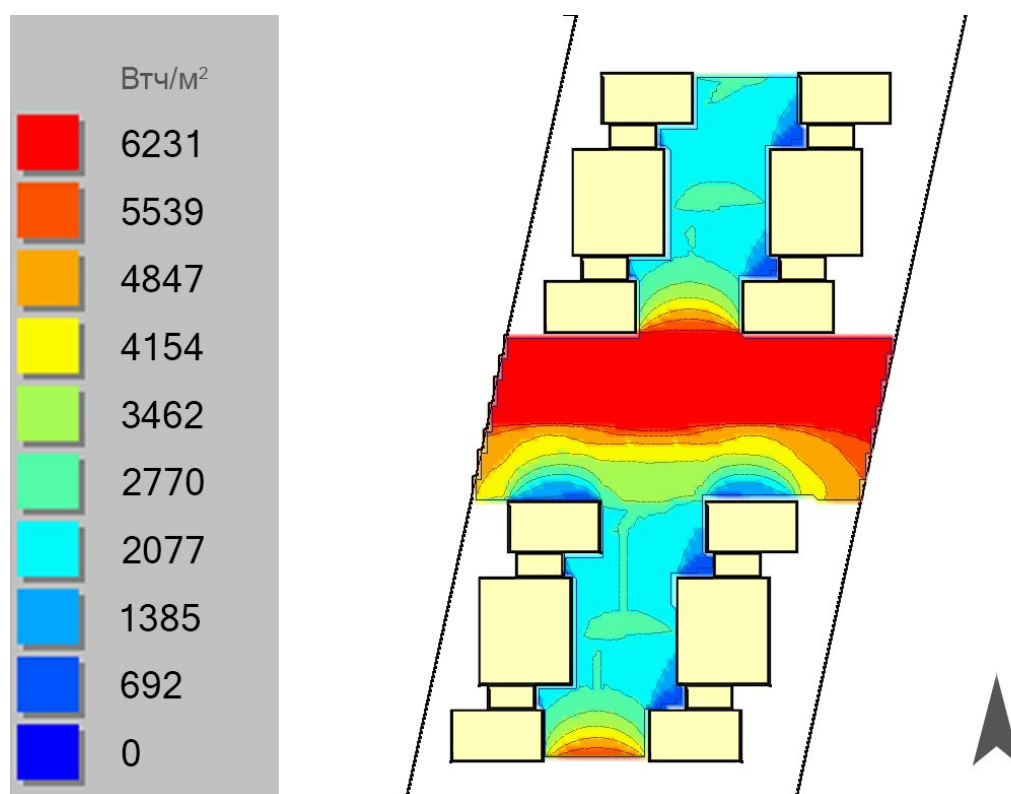


Рисунок 4.1. Розподіл прямої сонячної радіації у внутрішньому дворі кварталу, що імітує форму природного каньйону

Найбільші значення прямої сонячної радіації фіксуються в розширених ділянках двору та в місцях розривів між корпусами, де сонячні промені проникають глибше в простір. Ці зони позначені на схемі теплими кольорами й характеризуються короткочасним, але інтенсивним нагріванням підстильної поверхні. Водночас центральні та звужені частини «каньйону», екрановані фасадами будівель, більшу частину світлового дня перебувають у напівтіні або тіні, що відображено холодною кольоровою гамою. Тут рівень надходження сонячної радіації істотно нижчий, нагрівання поверхні відбувається повільніше та рівномірніше.

Одним із ключових ефектів такого підходу є формування динамічного затінення. На прикладі запропонованої автором моделі житлового кварталу (рис. 4.2) можна проаналізувати характер розподілу тіньових зон у часовому інтервалі з 9:00 до 16:00, що відповідає найбільш спекотному періоду літнього дня. Чітко простежується, що аналогічно до природних долин і ущелин, де тінь послідовно переміщується схилами, у кварталах із «рельєфною» розрозпланувальною структурою зони затінення постійно змінюють своє положення протягом дня. Це дає змогу поверхням періодично охолоджуватися, знижує їх середньодобову температуру та зменшує вторинне теплове випромінювання, яке є однією з головних причин теплового дискомфорту в традиційних відкритих дворах.

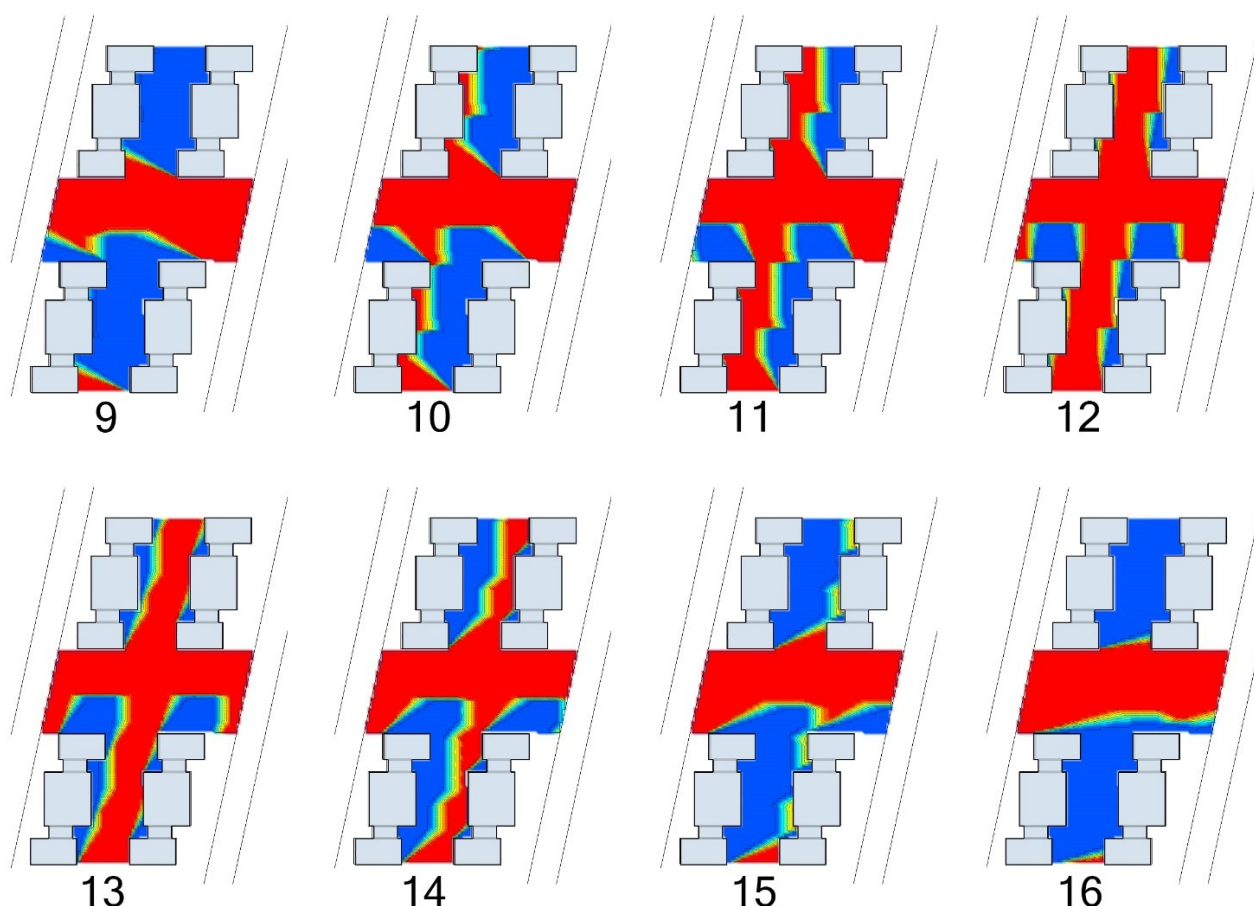


Рисунок 4.2. Погодинне розподілення тіньових зон у проміжку в часі з 9:00–16:00

Не менш важливим є вплив імітації рельєфу на повітрообмін. Перепади висот, розриви між об'ємами та формування просторових «каналів» створюють умови для спрямованої природної вентиляції. Тепле повітря отримує можливість ефективно видалятися з дворового простору, а прохолодніші повітряні маси – надходити до зон перебування людей. Це принципово відрізняє такі квартали від регулярної забудови, де застій повітря в замкнутих або напівзамкнутих дворах посилює перегрів і відчуття задухи.

На відміну від пласкої та однорідної розропланувальної структури, характерної для регулярної забудови, рельєфно-орієнтована композиція формує різноманіття просторових умов. Це дає змогу цілеспрямовано розміщувати дитячі, спортивні та рекреаційні майданчики в найбільш сприятливих мікрокліматичних зонах житлового кварталу. Це наочно підтверджує виконане автором дослідження з розподілу сумарного значення надходження сонячної радіації (рис. 4.3).

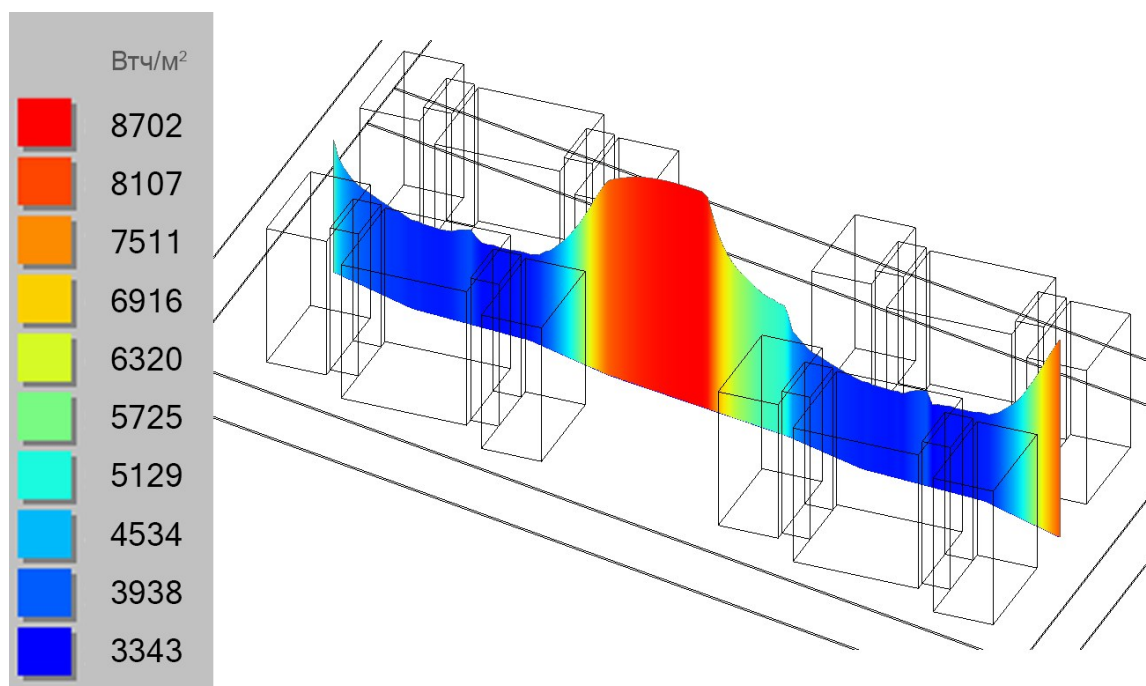


Рисунок 4.3. Розподілення загальної сонячної радіації у внутрішньому просторі житлового кварталу каньйоноподібної форми

Дитячі майданчики, рекреаційні простори та пішохідні маршрути можуть бути інтегровані в понижені або частково затінені ділянки, де теплове

навантаження об'єктивно нижче. Такі простори зберігають функціональність упродовж усього дня й не потребують додаткових тимчасових засобів затінення. Вони не втрачають своєї придатності в години максимальної інсоляції, коли відкриті, незахищені ділянки, відповідно, стають маловикористовуваними. Завдяки періодичному затіненню поверхні мощення та покриття не встигають накопичувати надлишкове тепло, що призводить до зниження температури контактних зон і, зокрема, зменшення вторинного теплового випромінювання від асфальту, бетону та каменю.

Майданчики для занять спортом, навпаки, доцільно розміщувати в більш відкритих, добре провітрюваних ділянках кварталу, де забезпечується активний повітрообмін і ефективне відведення тепла. Перепади висот і просторові розриви між корпусами будинків також сприяють формуванню спрямованих повітряних потоків, що особливо важливо під час фізичної активності. Водночас асиметрична геометрія забудови дозволить уникнути надмірної інсоляції, зберігаючи баланс між відкритістю та захистом від перегріву.

Майданчики для відпочинку доцільно розміщувати на ділянках із максимальним мікрокліматичним потенціалом – у напівтіні, поблизу островців озеленення. Такі зони, за аналогією з природними «кишенями» прохолоди, стають природними точками тяжіння для мешканців, забезпечуючи комфортні умови для тривалого перебування, спілкування та відновлення. Неоднорідна структура забудови дозволяє створювати візуально ізольовані, але водночас доступні простори, підвищуючи їх психологічну та функціональну цінність.

Особливу роль у плануванні житлового кварталу відіграє поєднання нерівномірного розподілу об'ємів будівель і якісного озеленення дворового простору. У природному середовищі саме рослинність підсилює охолоджувальний ефект рельєфу, забезпечуючи затінення та випарне охолодження.

Житлові квартали з асиметричною геометрією забудови дають змогу рівномірно розподіляти зелені насадження, формуючи систему мікрокліматичних «кишень» прохолоди, що в підсумку знижує загальний тепловий фон дворового

простору та запобігає концентрації комфортних зон лише в окремих локаціях. У міській житловій забудові це знаходить відображення у створенні зелених терас, дворів-садів, озелених дахів і лінійних парків, рівномірно розподілених по території кварталу. Такі елементи формують систему локальних мікрокліматичних «ядер», які спільно працюють на зниження температури та підвищення комфорту міського середовища.

Вивчення й осмислення перелічених природних механізмів терморегуляції простору дозволяє використовувати їх як основу для формування кліматично адаптованого міського середовища в умовах глобальної зміни клімату. Форма простору міського середовища може функціонувати як пасивний регулятор температури з метою підвищення біокліматичної стійкості без застосування технічних засобів. Збільшення частоти та тривалості хвиль спеки робить традиційні інженерні рішення дедалі менш стійкими з погляду енергоспоживання та екологічного навантаження. У цьому контексті звернення до природних механізмів терморегуляції дає змогу сформувати середовище, здатне ефективно функціонувати навіть за екстремальних кліматичних сценаріїв. Такі підходи при проєктуванні нових житлових кварталів стають не альтернативними, а необхідними інструментами розвитку сучасних міст.

4.2 Розрахунок температурного режиму підстильної поверхні внутрішнього двору для альтернативних рішень розпланування квартальної житлової забудови

Спираючись на викладені вище тези щодо переваг асиметричної схеми розміщення житлових корпусів порівняно з традиційною регулярною розрозпланувальною моделлю в контексті біокліматичної стійкості житлової забудови, нами було проведено дослідження однієї комірки квартальної житлової структури. Метою дослідження стало виявлення просторових, мікрокліматичних і функціональних відмінностей, які виникають у разі застосування асиметричного

принципу формування забудови, а також оцінка його потенціалу у зниженні теплового навантаження та підвищенні комфорту проживання.

Як об'єкт другого етапу дослідження було обрано типову квартальну комірку розмірами 100×100 м площею 1 га з 9-поверховою секційною забудовою. У межах аналізу розглядалися два сценарії розрозпланувальної організації. Обидва варіанти передбачали нерегулярне розташування житлових секцій різної орієнтації на ділянці та варіативну конфігурацію внутрішньоквартального простору. Подібно до дослідження, описаного вище, в третьому розіді, обидва варіанти мають однакову щільність забудови ділянки – 8 однотипних секцій по 500 м^2 кожна.

Перший варіант розрозпланувального рішення представлений у вигляді асиметричної, умовно випадкової структури забудови, в якій об'єми будівель скомпоновані вільним чином, без жорсткої прив'язки до регулярної сітки або повторюваного модуля. В основі цього підходу лежить акцент на індивідуальність просторового рішення та відмова від типової, формально впорядкованої композиції. Таке розміщення житлових секцій формує складнішу, різноманітнішу геометрію внутрішньоквартального простору, наближену за характером до природних просторових структур.

Принциповою особливістю асиметричного рішення є висока адаптивність компонування. Оскільки взаємне розташування секцій не підпорядковане суворим лінійним або осьовим закономірностям, ця схема може бути відносно легко переосмислена та трансформована під ділянки різної форми й площі. Це особливо актуально в умовах сучасної міської забудови, де вільні території часто мають складну конфігурацію та обмеження за червоними лініями, інсоляцією або оточенням. Асиметрична структура дає змогу гнучко реагувати на такі обмеження, не втрачаючи при цьому функціональної та композиційної цілісності.

Зазначений підхід відкриває широкий спектр архітектурних варіацій. Зміна кутів повороту секцій, відстаней між корпусами та їхньої взаємної орієнтації дозволяє формувати різноманітні просторові сценарії без збільшення поверховості або щільності забудови. Це створює передумови для більш точної

налаштування мікрокліматичних умов, зокрема розподілу тіні та сонячної радіації, а також для більш раціонального розміщення функціональних зон двору.

Не менш значущим є аспект сприйняття простору людиною. Асиметрична розпланувальна структура сприяє формуванню складнішого, «читабельнішого» середовища, в якому відсутня монотонність і візуальна повторюваність. Дворовий простір набуває характеру послідовності різномасштабних фрагментів, що підвищує інтерес і комфортність перебування, посилює відчуття ідентичності місця, позитивно впливає на психологічне сприйняття житлового середовища.

У межах цього дослідження цей варіант буде названо асиметричним. На *рис. 4.4* подано розглянуті автором орієнтації цього розпланувального рішення відносно сторін світу.

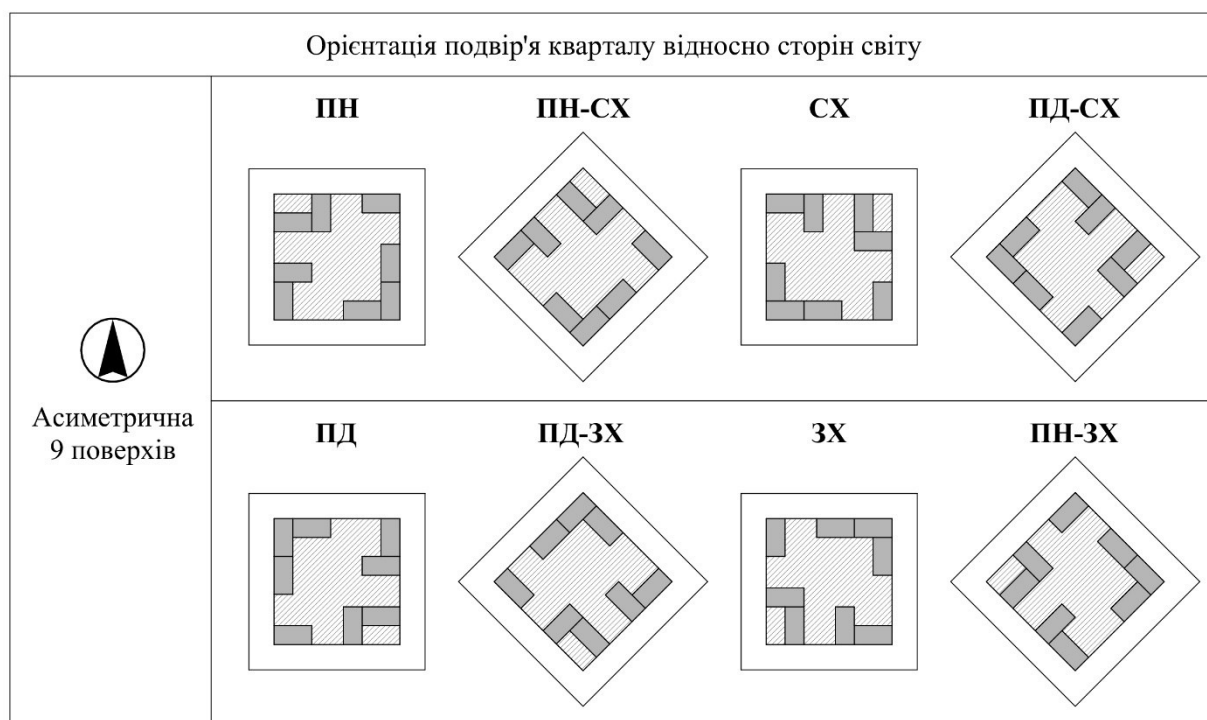


Рисунок 4.4. Варіанти орієнтації для асиметричної забудови кварталу відносно сторін світу, які досліджувалися

Слід зазначити, що подібні за принципом асиметричні розпланувальні рішення вже знаходять відображення в реалізованих об'єктах сучасної архітектурної практики в низці зарубіжних країн. Такі житлові комплекси

демонструють відхід від жорстко регулярних схем забудови на користь більш вільної композиції об'ємів, орієнтованої на формування різноманітного та людиноорієнтованого середовища. Аналіз вибірових фотографій реалізованих проєктів дозволяє наочно оцінити якісні переваги такого підходу з точки зору сприйняття простору: візуальне різноманіття, відсутність монотонності, формування різномасштабних дворових фрагментів і м'якші переходи між забудованими та відкритими зонами [194–196].

Другий варіант розпланувального рішення ґрунтується на імітації геометрії природного каньйону та передбачає формування витягнутого, асиметричного внутрішньоквартального простору, обмеженого житловими секціями однакової висоти (рис. 4.5). Усі будівлі в цьому варіанті мають однакові висотні параметри, що дозволяє виключити вплив різновисотності на характер затінення та зосередити увагу виключно на просторовій конфігурації забудови. Такий прийом спрямований на моделювання умов, характерних для природних ущелин і долин, де геометрія простору сприяє формуванню більш стабільного та прохолодного мікроклімату. Як було припущено на початку цього розділу, така схема компонування внутрішнього житлового простору створює низку переваг з точки зору пасивного охолодження дворової території.

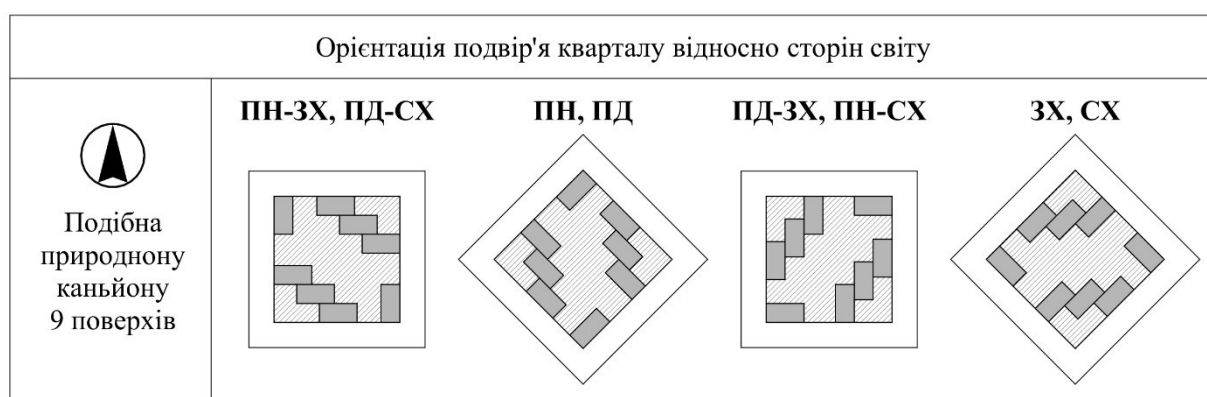


Рисунок 4.5. Варіанти орієнтації для каньйоноподібної забудови кварталу відносно сторін світу, які досліджувалися

Рішення має обмежену, але достатню варіативність композиційних підходів. Основна ідея каньйоноподібної структури задає певні рамки для компонування

секцій, утім допускає зміну протяжності, кутів повороту та ширини внутрішнього простору залежно від конфігурації земельної ділянки.

Для кожного з варіантів у ході дослідження планувалося розрахувати температуру підстильної поверхні двору та відсоток затінення в певний момент часу погодинно упродовж світлового дня в піковий літній період із кроком в одну годину. А також – порівняти середні значення цих показників і отримані результати занести до таблиць. На основі середніх отриманих значень щодо затінення та температурного режиму підстильної поверхні – побудувати діаграми порівняння.

Аналогічно до першого етапу дослідження, представленого в третьому розділі, умовні ділянки під житлові квартали розташовані в Київській області, що відповідає І кліматичній зоні України. Також як розрахунковий період були використані моніторингові дані Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського за липень 2021 року із середньою температурою повітря 24,6 °С.

Розрахунок кількості надходження прямої сонячної радіації на підстильну поверхню внутрішнього двору виконано за спрощеними цифровими моделями у спеціалізованій програмі Townscope [191] з урахуванням безхмарного неба.

Використання єдиного часового інтервалу та єдиного методу дослідження для першого і другого етапів зумовлене необхідністю забезпечення коректного й зіставного аналізу отриманих результатів для всіх розглянутих у науковій роботі варіантів розпланувальних схем забудови кварталу. Застосування однакових вихідних кліматичних умов дозволило виключити вплив сезонних і метеорологічних коливань та зосередити увагу виключно на відмінностях, що виникають унаслідок розпланувальної структури та орієнтації забудови.

Таблиця 9. Середнє значення кількості прямої сонячної радіації, яку отримує підстильна поверхня подвір'я упродовж світлового дня для асиметричної та подібної природному каньйону схеми забудови кварталу

Типи квартальної забудови	Орієнтація подвір'я кварталу відносно сторін світу							
	ПН	ПН- СХ	ПН-ЗХ	ПД	ЗХ	ПД- СХ	ПД-ЗХ	СХ

Асиметрична, $Bt \cdot \text{ч}/\text{м}^2$	3635	3808	3726	4001	3841	3867	3970	3567
Каньйоноподібна, $Bt \cdot \text{ч}/\text{м}^2$	3358	3446	3656	3358	3676	3656	3446	3676

Методику розрахунку середніх значень надходження прямої сонячної радіації, а також підходи до визначення середньої температури нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору було детально викладено в третьому розділі цього дослідження. Підсумкові значення, отримані в ході розрахунків, систематизовано та подано в *табл. 9* і *табл. 10*, де наочно відображено відмінності теплових та інсоляційних характеристик розглянутих розпланувальних варіантів.

Таблиця 10. Середня температура підстильної поверхні подвір'я для асиметричної і подібної природному каньйону схеми забудови кварталу

Типи квартальної забудови	Орієнтація подвір'я кварталу відносно сторін світу							
	ПН	ПН-СХ	ПН-ЗХ	ПД	ЗХ	ПД-СХ	ПД-ЗХ	СХ
Асиметрична, $t \text{ } ^\circ\text{C}$	33,1	33,5	33,3	34,0	33,6	33,7	33,9	33,0
Подібна природньому каньйону, $t \text{ } ^\circ\text{C}$	32,5	32,7	33,2	32,5	33,2	33,2	32,7	33,2

Аналогічно до етапу дослідження, представленого в третьому розділі, на основі заповненої розрахункової таблиці з отриманими значеннями температури нагрівання підстильної поверхні для альтернативних варіантів забудови були виконані діаграми. Застосування графічної форми подання даних, як і раніше, дозволило спростити візуальний аналіз та забезпечити наочне зіставлення температурного режиму підстильної поверхні між розглянутими варіантами розпланувальних рішень.

Отримані значення для асиметричного рішення (*рис. 4.6*) загалом демонструють помірний діапазон температур, що свідчить про більш згладжений тепловий режим порівняно з більш регулярними типами забудови. Мінімальні показники температури зафіксовано при північно-східній орієнтації (СХ – близько $33,0 \text{ } ^\circ\text{C}$), а також при північній орієнтації (ПН – близько $33,1 \text{ } ^\circ\text{C}$). Це

пояснюється зниженою інтенсивністю прямої сонячної радіації та більш тривалим періодом затінення підстильної поверхні.

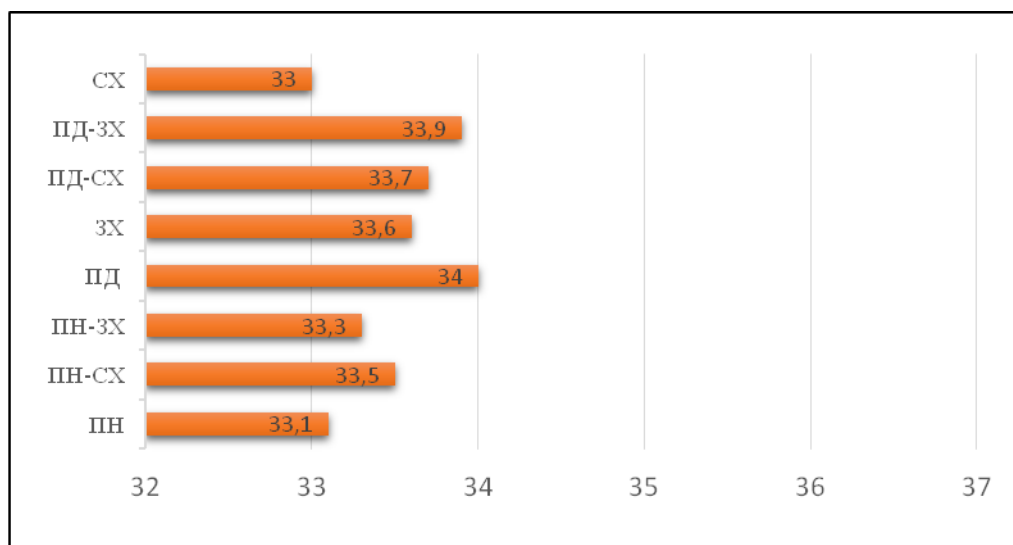


Рисунок 4.6. Середня температура нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору житлового кварталу відносно сторін світу упродовж світлового дня.
Варіант асиметричної схеми житлової забудови

Найвищі значення температури відзначаються за ПД-орієнтації, де показник досягає приблизно 34,0 °C, а також за ПД-ЗХ – близько 33,9 °C. Підвищення температури в цих напрямках пов'язане з максимальним рівнем інсоляції упродовж дня та меншою часткою сталого затінення. Східні та західні напрямки (ЗХ – 33,6 °C, ПД-СХ – 33,7 °C) займають проміжне положення, відображаючи комбінований вплив ранкового та вечірнього сонячного опромінення.

Слід зазначити, що при асиметричній забудові різниця температур між найбільш і найменш нагрітими орієнтаціями є відносно невеликою та становить менше 1 °C. Це доводить, що нерегулярна конфігурація забудови сприяє більш рівномірному розподілу сонячної радіації та формуванню складної системи тіней, що знижує контрастність теплових показників. Таким чином, асиметрична забудова кварталу може розглядатися як відносно сприятлива з точки зору обмеження перегріву підстильної поверхні та формування більш стабільних теплових умов у межах внутрішньоквартального простору.

У подальшому ході дослідження було отримано значення температури для забудови, що повторює геометрію природного каньйону (рис. 4.7). Показники характеризуються доволі вузьким діапазоном коливань, що свідчить про порівняно рівномірний тепловий стан внутрішньоквартального простору при цьому типі розпланувальної структури.

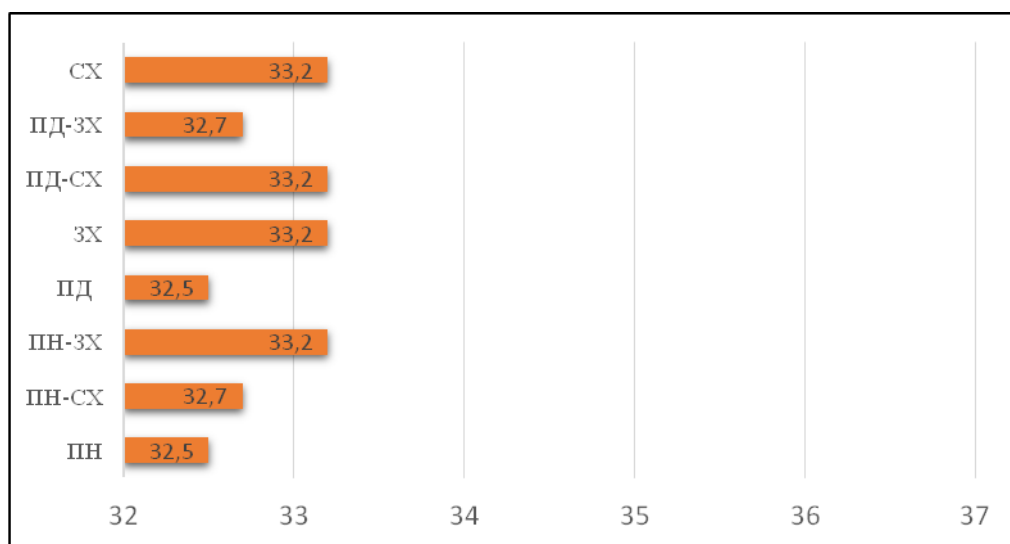


Рисунок 4.7. Середня температура нагрівання підстильної поверхні внутрішнього двору житлового кварталу відносно сторін світу упродовж світлового дня. Варіант схеми житлової забудови подібної до природного каньйону

Мінімальні значення температури зафіксовано за ПД- та ПН-орієнтаціях й становлять близько 32,5 °C. Це пояснюється поєднанням факторів інсоляції та затінення: в одному випадку – за рахунок особливостей взаємного розташування будівель, що формують стійкі тіні, в іншому – внаслідок обмеженого надходження прямої сонячної радіації. Дещо вищі, але все ще помірні значення спостерігаються за ПД-ЗХ- та ПН-СХ-орієнтаціях – близько 32,7 °C, що відображає частковий вплив сонячного опромінення у ранкові та вечірні години.

Максимальні показники температури підстильної поверхні – близько 33,2 °C – характерні для ПН-ЗХ-, ПД-СХ-, ЗХ- та ПН-СХ-орієнтаціях. У цих випадках спостерігається триваліший вплив прямої сонячної радіації на окремі ділянки дворового простору за одночасного зниження ефективності затінення.

Однак навіть максимальні значення не перевищують 33,2 °С, що свідчить про відсутність виражених перегрівів.

Отже результати дослідження засвідчили, що варіант забудови, який повторює геометрію природного каньйону, є найбільш оптимальним з погляду формування стійкого біокліматичного простору. Така розпланувальна структура забезпечує більш рівномірний розподіл сонячної радіації, запобігає концентрації теплових навантажень в окремих зонах дворового простору. Геометрія забудови сприяє формуванню складної системи затінення протягом усього світлового дня, що знижує пікові значення температури підстильної поверхні, мінімізує ризик перегріву. Відсутність виражених температурних екстремумів за будь-якої орієнтації відносно сторін світу вказує на збалансований тепловий режим, близький до комфортного. Застосування такого проектного рішення підвищує адаптивність забудови до кліматичних умов, сприяє формуванню більш стійкого та теплокомфортного житлового середовища, а отже – зменшує ризик теплового стресу.

Методику визначення середнього відсотка затінення підстильної поверхні внутрішньоквартального простору детально викладено в третьому розділі; вона ґрунтується на поетапному аналізі інсоляційних умов упродовж світлового дня з урахуванням геометрії забудови та орієнтації кварталів відносно сторін світу. У межах завдань праці зазначену методику було застосовано до асиметричної та каньйоноподібної структур, для яких виконано аналогічні розрахункові та графоаналітичні операції. У *табл. 11* наведено результати виконаних обчислень для каньйоноподібної забудови. Повний обсяг отриманих даних для асиметричної забудови дивись у Додатку Ж.

Таблиця 11. Середній відсоток затінення підстильної поверхні схеми забудови житлового кварталу подібної до природного каньйону упродовж дня

Площа поверхні, m^2	5585							
Орієнтація забудови	ПН–ЗХ, ПД– СХ		ПН–СХ, ПД– ЗХ		СХ, ЗХ		ПН, ПД	
Показник	m^2	%	m^2	%	m^2	%	m^2	%

Розрахунковий період (h)	06:00	3700	66,2	3970	71,1	4210	75,4	4480	80,2
	07:00	3100	55,5	4000	71,6	3540	63,4	4400	78,8
	08:00	2750	49,2	3730	66,8	3040	54,4	3850	68,9
	09:00	2370	42,4	3470	62,1	2720	48,7	2970	53,2
	10:00	2070	37,1	2930	52,5	2440	43,7	2200	39,4
	11:00	1820	32,6	2300	41,2	2340	41,9	2000	35,8
	12:00	1917	34,3	1710	30,6	2310	41,4	1900	34,0
	13:00	2420	43,3	2010	36,0	2230	39,9	2000	35,8
	14:00	2938	52,6	2290	41,0	2140	38,3	2600	46,6
	15:00	3150	56,4	2720	48,7	2520	45,1	3450	61,8
	16:00	3290	58,9	3430	61,4	2840	50,9	4300	77,0
	17:00	3100	55,5	4040	72,3	3390	60,7	4400	78,8
	18:00	3200	57,3	4230	75,7	3760	67,3	4150	74,3
	19:00	3560	63,7	4360	78,1	3930	70,4	4020	72,0
	20:00	3970	71,1	4480	80,2	3950	70,7	3850	68,9
	μ (%)	51,8		59,3		54,1		60,4	

Подана на *рис. 4.8* діаграма відображає розподіл середнього відсотка затінення підстильної поверхні внутрішнього двору для асиметричної забудови житлового кварталу протягом одного світлового дня при різній орієнтації відносно сторін світу. Порівняно з регулярними розпланувальними схемами асиметрична забудова демонструє більшу варіативність мікрокліматичних сценаріїв, однак ця варіативність має переважно позитивний характер.

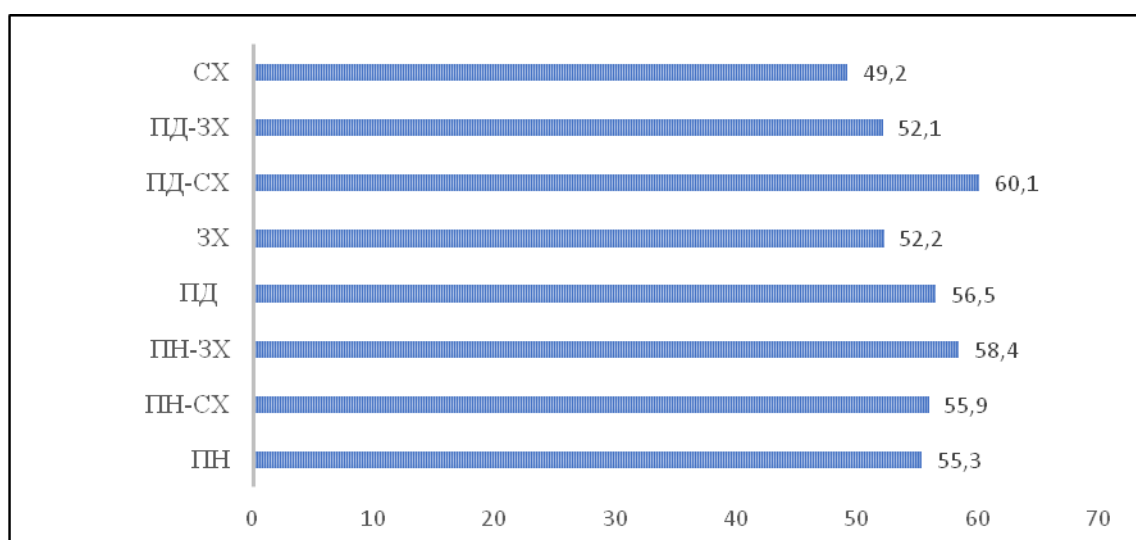


Рисунок 4.8. Відсоток затінення підстильної поверхні внутрішнього двору відносно сторін світу асиметричної схеми забудови житлового кварталу упродовж дня

Нерегулярна геометрія дозволяє уникнути повторюваності несприятливих інсоляційних ефектів і знижує ризик формування великих зон перегріву. У сукупності з раніше отриманими даними щодо середнього значення температури нагрівання підстильної поверхні це підтверджує, що асиметрична забудова має значний потенціал адаптації до пікових літніх теплових навантажень.

Навіть за менш сприятливих орієнтацій відносно сторін світу зберігаються локальні зони затінення, що знижують загальний рівень теплового навантаження на підстильну поверхню. Значення затінення в діапазоні 52,1–58,4% (орієнтації ПД–ЗХ, ЗХ, ПД, ПН–ЗХ, ПН–СХ, ПН) свідчать про те, що в більшості випадків асиметрична структура забезпечує помірно високий рівень екранування сонячної радіації, сприяючи формуванню більш комфортних умов перебування у внутрішньоквартальному просторі.

Аналіз діаграми відсотка затінення підстильної поверхні для каньйоноподібної забудови кварталу (рис. 4.9) наочно демонструє високий потенціал такого рішення у регулюванні інсоляційного режиму внутрішньоквартального простору.

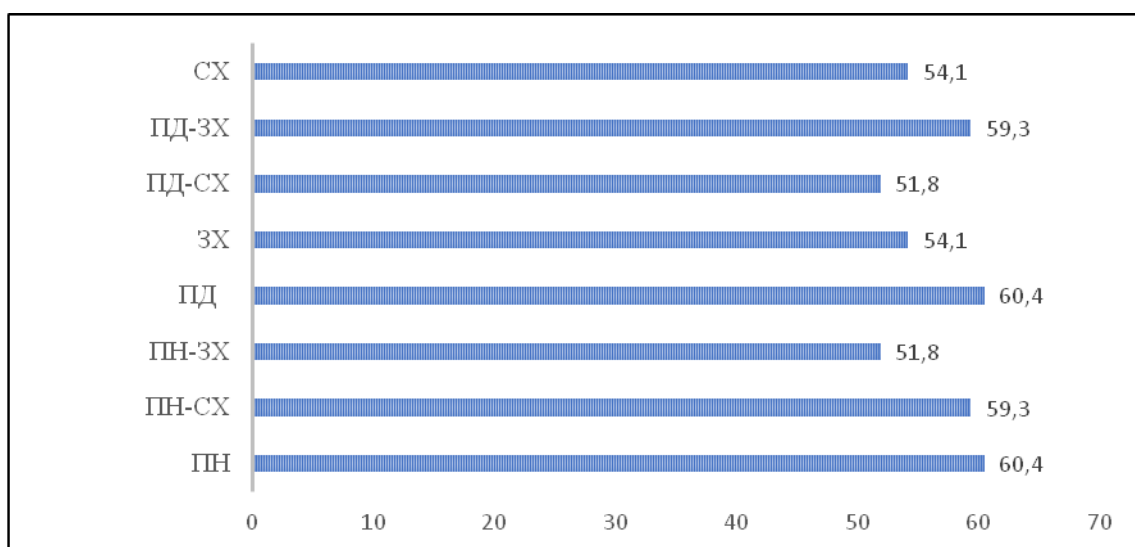


Рисунок 4.9. Відсоток затінення підстильної поверхні внутрішнього двору відносно сторін світу для схеми забудови житлового кварталу подібної до природного каньйону упродовж дня

Отримані значення свідчать про те, що при різних варіантах орієнтації відносно сторін світу рівень затінення змінюється у порівняно вузькому діапазоні – від 51,8% до 60,4%. Така амплітуда коливань вказує на низьку чутливість цієї просторової конфігурації до конкретного розташування забудови на ділянці, що є важливою перевагою в умовах реального містобудівного проектування, де орієнтація кварталу часто визначається зовнішніми чинниками.

Аналогічні закономірності було виявлено і під час аналізу діаграм середнього значення нагрівання підстильної поверхні для цього проектного рішення. Температурні показники, як і значення відсотка затінення, демонструють відносно незначні відхилення при різних орієнтаціях кварталу. Це підтверджує, що сформована просторова структура функціонує як саморегульована система, у якій морфологія забудови відіграє більш вагому роль, ніж її точне розташування відносно сторін світу. Таким чином, тепловий режим внутрішнього двору меншою мірою залежить від орієнтації і більшою – від самої геометрії об'ємно-просторового рішення.

Порівняння каньйоноподібної забудови з іншими типами містобудівних рішень, розглянутими в межах дослідження у третьому розділі, дозволяє зробити висновок про її вищу біокліматичну стійкість. На відміну від точкової, рядкової чи периметральної схем, де орієнтація може суттєво посилювати несприятливі мікрокліматичні ефекти, каньйоноподібна модель демонструє стабільність показників як за температурою, так і за рівнем затінення. Це робить її найбільш адаптивною до умов щільної міської забудови та пікових теплових навантажень літнього періоду.

Отже, цей тип забудови може розглядатися як перспективний інструмент формування стійкого житлового середовища, що забезпечує більш комфортні теплові умови для мешканців незалежно від орієнтації кварталу та конкретних містобудівних обмежень ділянки.

4.3 Оцінка впливу підземного паркінгу під територією подвір'я на температурний режим внутрішньоквартального простору

Одним з істотних чинників формування несприятливого теплового режиму є надлишкові паркувальні площі, розташовані в безпосередній близькості до житлових будинків. Асфальтові та бетонні покриття мають високу теплоємність і здатність акумулювати сонячну радіацію протягом дня. Вторинне теплове випромінювання надходить і від самих автомобілів, особливо за високої щільності паркування. Не менш серйозні наслідки для мікроклімату прибудинкової території мають підземні паркінги, розміщені під усією площею внутрішньоквартального простору.

Підземний паркінг під внутрішнім двором сучасних житлових комплексів, сформованих лінійною секційною забудовою, став практично стандартним рішенням в умовах високої щільності міста та жорстких вимог до розміщення автомобілів. З точки зору функціональної ефективності та економії території таке рішення часто розглядається як раціональне. Однак його широке застосування виявило низку суттєвих недоліків, які безпосередньо впливають на якість дворових просторів, їхній мікроклімат, екологічні характеристики та комфорт проживання. Одним із найбільш критичних наслідків є фактична неможливість формування повноцінного, якісного озеленення подвір'я.

Основна проблема полягає у конструктивних обмеженнях, які підземний паркінг накладає на використання дворової території. Перекриття паркінгу формує штучну горизонтальну площину, позбавлену природного ґрунтового шару. Товщина ґрунтового субстрату над залізобетонним перекриттям обмежена з конструктивних та економічних причин. У більшості випадків вона є достатньою лише для влаштування газонів, низькорослих кущів або декоративних насаджень із поверхневою кореневою системою. Високостовбурні дерева, що є основним елементом ефективного затінення та мікрокліматичного регулювання, за таких умов або неможливі, або потребують складних і дорогавартісних інженерних рішень.

Відсутність повноцінних дерев у дворі значно знижує кліматорегулюючий потенціал озеленення. Газони та декоративні рослини не здатні забезпечити співставний рівень затінення, випарного охолодження та зниження температури повітря. В умовах лінійної секційної забудови, де дворові простори часто зазнають значної інсоляції, це призводить до посилення перегріву поверхонь і формування теплового дискомфорту. У результаті простір, що формально озеленений, фактично не виконує своєї основної кліматичної функції.

Додатковою проблемою є погіршення водного режиму озеленення. Штучний ґрунтовий шар над паркінгом не має природної здатності до акумулювання та дренування вологи. Коренева система рослин опиняється в замкненому об'ємі, схильному до пересихання або, навпаки, застою води. Це потребує постійного штучного поливу, складних дренажних систем і регулярного догляду, що збільшує експлуатаційні витрати. Водночас стійкість рослин залишається низькою, а їхній життєвий цикл скорочується.

Підземний паркінг також обмежує варіативність розпланувальних рішень двору. Поверхня перекриття повинна зберігати певну рівність і несучу здатність, що унеможлиблює формування рельєфу, понижень, пагорбів та інших просторових прийомів, які сприяють мікрокліматичному комфорту. Подвір'я стає пласким, жорстко заданим простором, позбавленим можливості імітувати природний рельєф і використовувати пов'язані з ним механізми пасивного охолодження.

З екологічного погляду заміна природного ґрунту залізобетонною конструкцією призводить до розриву природних процесів. Відсутній повноцінний ґрунтовий шар як живе середовище для корневих систем рослин. Біологічне різноманіття дворових просторів різко знижується, озеленення набуває декоративного, а не екосистемного характеру, що суперечить сучасним принципам формування «зеленої» архітектури, орієнтованим на відновлення та підтримку міських екосистем.

Негативні наслідки позначаються і на соціальній функції двору. Перегрітий, слабо затінений простір із умовним озелененням сприймається як некомфортний і

малопривабливий для тривалого перебування. Дитячі майданчики та зони відпочинку, позбавлені захисту від сонця, стають сезонними та використовуються обмежено. У результаті подвір'я втрачає роль повноцінного громадського простору і не сприяє формуванню сталих соціальних зв'язків між мешканцями.

Слід також урахувати довговічність подібних рішень. Озеленення над підземним паркінгом потребує постійного оновлення та ремонту. Загибель рослин, деформація покриттів, проблеми з гідроізоляцією перекриття призводять до регулярних експлуатаційних втручань.

В умовах лінійної секційної забудови перелічені проблеми посилюються масштабом дворового простору. Протяжні двори з високим рівнем інсоляції особливо потребують високостовбурного озеленення та складної просторової структури. Однак саме ці елементи є найбільш складними для реалізації за наявності підземного паркінгу.

Попри уявну економічну раціональність і компактність розглянутих традиційних містобудівних рішень, неможливо заперечувати їхні системні недоліки, які потребують критичного переосмислення в контексті сталого розвитку та кліматичної адаптації міського середовища.

Розглянемо фрагмент існуючої висотної секційної забудови 17–24 поверхи у Києві (*рис. 4.10*). Подібна схема забудови є типовою для столиці, тому була проаналізована автором у межах цього дослідження. З погляду розподілу сонячної радіації, значна поверховість будівель і щільна конфігурація секцій формують замкнений внутрішній простір з обмеженими можливостями розсіювання тепла. Поверхня подвір'я упродовж тривалого часу перебуває під впливом прямих сонячних променів, що призводить до інтенсивного нагрівання підстильної поверхні. Червоні та помаранчеві зони на схемі вказують на ділянки, де відбувається максимальна акумуляція тепла, внаслідок чого температура покриття у денні години може досягати критичних значень, спричиняючи виражений тепловий дискомфорт. Відсутність явної багаторівневості, асиметрії та достатнього озеленення не дозволяє компенсувати надмірну інсоляцію, а

підстильна поверхня функціонує як акумулятор тепла, посилюючи ефект перегріву.

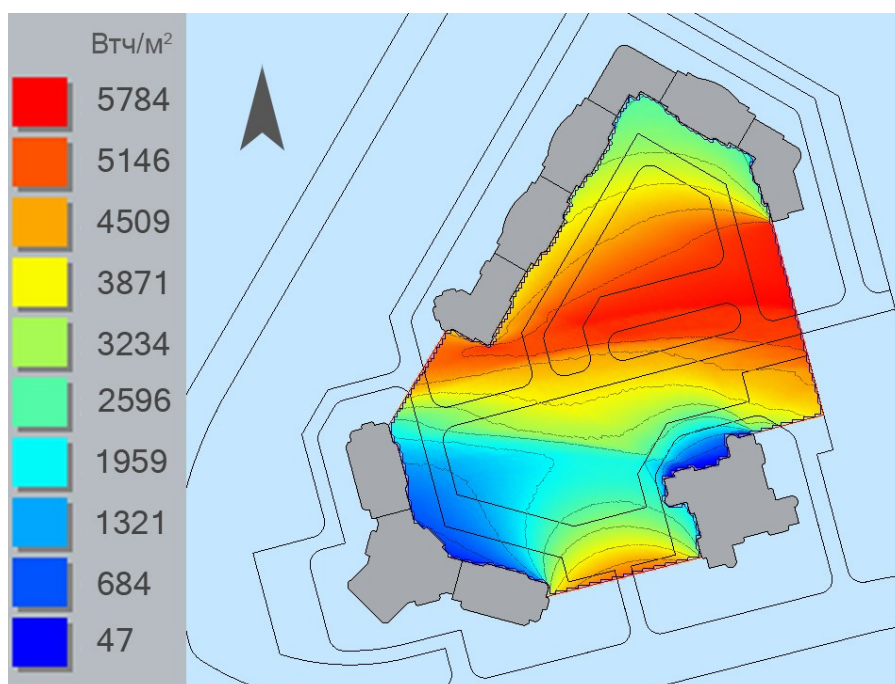


Рисунок 4.10. Розподіл прямої сонячної радіації у внутрішньому дворі висотної секційної забудови (17–24 поверхи) на прикладі житлового масиву Осокорки, м. Київ

У контексті цієї проблематики доцільно запропонувати альтернативну модель забудови житлового кварталу, базовану на розміщенні підземного паркінгу винятково під корпусами житлових будинків, а також на організації відкритих паркувальних місць за периметром квартальної забудови. Такий підхід орієнтований на якісний розвиток внутрішнього простору житлових кварталів, покращення мікрокліматичних характеристик і підвищення якості життя мешканців за умови збереження необхідної забезпеченості машино-місцями.

Перевагою альтернативної моделі є збереження повноцінної території подвір'я на природному ґрунті та відсутність підземних залізобетонних конструкцій. Це дасть змогу сформувати якісне озеленення з використанням високостовбурних дерев, кущів і багаторічних рослин. Внутрішній двір перестане бути декоративною поверхнею та набуде властивостей справжньої міської екосистеми, здатної регулювати мікроклімат, акумулювати вологу та знижувати температуру повітря у спекотний період року.

У поєднанні з асиметричною геометрією забудови «зелені острови» в структурі кварталу працюватимуть як основні елементи пасивного охолодження: вони знижуватимуть температуру повітря, зменшуватимуть теплове випромінювання від поверхонь і формуватимуть сприятливі мікрокліматичні зони. На відміну від декоративного озеленення над паркінгом, такі насадження мають довгострокову стійкість та екосистемну цінність.

В опублікованому у співавторстві дослідженні [197] проведено порівняльний аналіз кількості прямої сонячної радіації, що надходить на підстильну поверхню внутрішнього двору за різних сценаріїв благоустрою території (рис. 4.11).

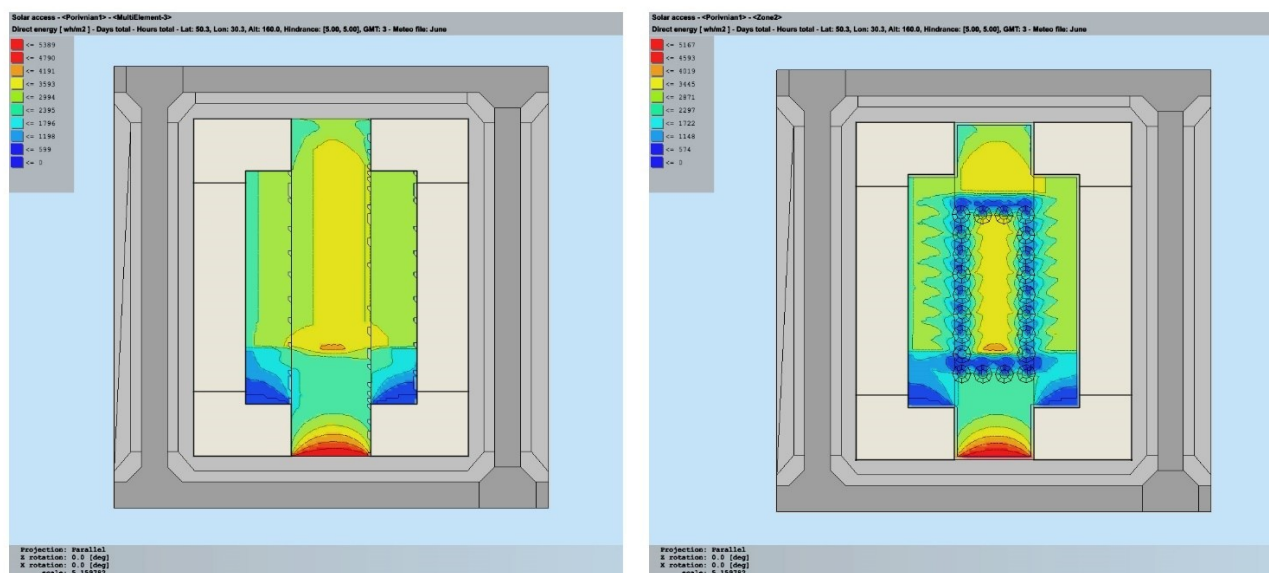


Рисунок 4.11. Розподілення прямої сонячної радіації на підстильну поверхню подвір'я житлового кварталу периметральної забудови за відсутності озеленення і з озелененням упродовж дня

У межах цієї праці розглядаються два принципово відмінні варіанти організації внутрішньоквартального простору. Перший проаналізований варіант забудови моделює ситуацію з повністю позбавленою рослинності підстильною поверхнею, що призводило до максимального впливу сонячного випромінювання та посилення процесів нагрівання. Другий варіант, навпаки, передбачає наявність

повноцінного озеленення території подвір'я з висадкою дерев із розвинутою та широкою кроною.

Аналіз отриманих результатів (табл. 12, табл. 13, зведена табл. 14) наочно демонструє залежність зміни усередненого показника нагрівання підстильної поверхні внутрішньоквартального простору від наявності дерев із розвинутою кроною в центральній зоні двору. Крупномірні зелені насадження сприяють формуванню стабільних зон затінення, зменшуючи інтенсивність прямої сонячної радіації на найбільш відкритих ділянках і тим самим знижуючи рівень теплового накопичення у межах кварталу.

Таблиця 12. Кількість потрапляння прямої сонячної радіації на підстильну поверхню подвір'я житлового кварталу периметральної забудови упродовж дня за відсутності озеленення

№ з/п	Колір зони	Середнє значення по зонам ($Bt \cdot \text{ч}/\text{м}^2$)	Площа поверхні двору (м^2)	$Bt \cdot \text{ч}/\text{добу}$	Середнє значення на підстильну поверхню двору ($Bt \cdot \text{ч}/\text{м}^2$)
1		5389	40	215560	
2		4790	38	182020	
3		4191	60	251460	
4		3593	1382	4965526	
5		2994	2190	6556860	
6		2395	925	2215375	
7		1796	230	413080	
8		1198	125	149750	
9		599	100	59900	
10		0	50	0	
Загалом			5140	15009531	2920,1

Таблиця 13. Кількість потрапляння прямої сонячної радіації на підстильну поверхню подвір'я житлового кварталу периметральної забудови упродовж дня з урахуванням зелених насаджень

№ з/п	Колір зони	Середнє значення по зонам ($Bt \cdot \text{ч}/\text{м}^2$)	Площа поверхні двору (м^2)	$Bt \cdot \text{ч}/\text{добу}$	Середнє значення на підстильну поверхню двору ($Bt \cdot \text{ч}/\text{м}^2$)
1		5167	40	206680	
2		4593	38	174534	
3		4019	60	241140	
4		3445	794	2735330	
5		2871	1490	4277790	
6		2297	1175	2698975	

7		1722	600	1033200	
8		1148	515	591220	
9		574	375	215250	
10		0	53	0	
Загалом			5140	12174119	2368,5

Таблиця 14. Порівняння значень середньої температури і сумарної кількості потрапляння прямої сонячної радіації на підстильну поверхню подвір'я житлового кварталу периметральної забудови за відсутності озеленення і з озелененням упродовж дня

	Периметральна забудова без озеленення двору (10–13 пов.)	Периметральна забудова з озелененням двору (10–13 пов.)
Пряма сонячна радіація, Bt/m^2	2 920,1	2 368,5
Температура поверхні, t °C	28,42	27,70

На наведеному нижче графіку (рис. 4.12) можна простежити погодинну динаміку зміни температурного режиму підстильної поверхні периметральної забудови упродовж дня для цих двох сценаріїв.

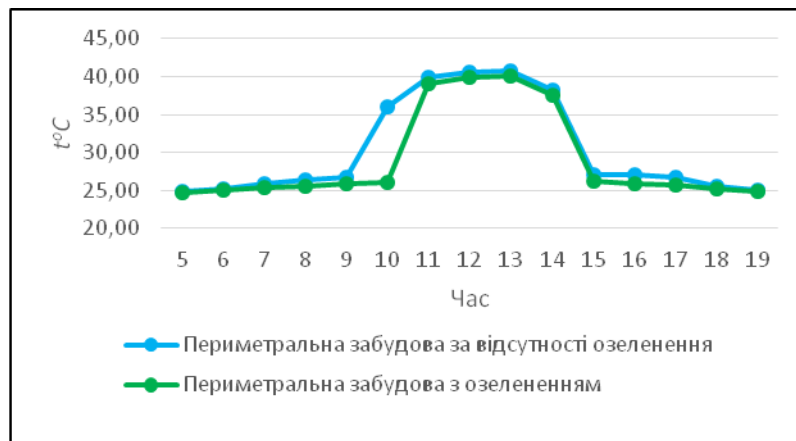


Рисунок 4.12. Погодинна динаміка зміни температури підстильної поверхні простору подвір'я периметральної забудови за наявності та відсутності озеленення деревами з високою кроною

Максимальні відмінності між двома кривими фіксуються в період з 11:00 до 14:00, що відповідає піку сонячної активності. У цей часовий інтервал температура поверхні у варіанті без озеленення перевищує 40 °C, тоді як за наявності зелених насаджень вона залишається на 1,5–2,0 °C нижчою. Графік

наочно підтверджує, що озеленення простору подвір'я знижує пікові значення температури та пом'якшує тепловий режим у найбільш критичні денні години.

У нашому контексті варто згадати концепцію мікролісу ботаніка Акіри Міявакі [198], яка є особливо актуальною для сучасної секційної забудови. Мікроліси трансформують дворівні простори з перегрітих і функціонально обмежених територій у живі, стійкі та комфортні елементи міської структури. Також сприяють зниженню теплового стресу та покращенню здоров'я мешканців. На відміну від традиційного декоративного озеленення, мікроліси формують повноцінну екосистему, яка здійснює комплексний позитивний вплив на мікроклімат і якість міського середовища загалом.

Однією з основних переваг мікролісів є їхня здатність ефективно знижувати температуру повітря в житлових кварталах. Завдяки щільній кроні, багаторушності та великій площі листової поверхні мікроліси створюють зони затінення й активно беруть участь у процесах випарного охолодження. У спекотний період температура повітря всередині таких зелених масивів на кілька градусів нижча, ніж на відкритих мощених ділянках.

Концепція мікролісу вже впроваджена в багатьох містах світу. Ці проєкти демонструють, як щільні багатошарові насадження можуть покращувати міське середовище, зменшувати теплове навантаження, підвищувати біорізноманіття та покращувати якість повітря, стаючи важливою складовою сталої урбаністичної практики.

Відмова закладати у проєктних рішеннях підземний паркінг під внутрішнім двором житлового кварталу надає можливість не тільки формувати повноцінне озеленення, але й дозволяє створити унікальний ландшафтний дизайн. Пониження, м'які пагорби, терасування та перепади висот у цьому випадку стають доступними інструментами проєктування. Ці елементи не лише підвищують просторову виразність двору, а й безпосередньо впливають на мікроклімат, сприяючи накопиченню прохолодного повітря, перерозподілу вітрових потоків і створенню захищених зон перебування мешканців.

Запропонована модель не виключає щільної міської забудови. За умови грамотного містобудівного підходу та продуманої системи проєктування вона забезпечить нормативну кількість паркомісць, не жертвуючи якістю прибудинкового простору. Більше того, розміщення паркування по зовнішньому периметру забудови сприятиме зниженню автомобільного трафіку всередині кварталу та формуванню спокійнішого й безпечнішого середовища.

Слід зазначити, що за потреби збільшення кількості паркомісць для мешканців сучасних житлових комплексів доцільно передбачати будівництво окремих багаторівневих паркінгів. Таке рішення дозволяє відмовитися від подальшого насичення прибудинкової території підземними та наземними паркувальними структурами, істотно розвантажуючи дворовий простір як у функціональному, так і в екологічному аспектах. Цьому сприяє скорочення площ, зайнятих твердими покриттями, а також зменшення кількості джерел акумульованого тепла поблизу житлових будинків. Ділянки, звільнені від автомобілів, можуть бути використані для озеленення, влаштування водопроникних покриттів і формування зон затінення, що посилить ефект пасивного охолодження.

Як реалізований приклад такого містобудівного рішення можна навести житловий комплекс «Комфорт Таун» [199], збудований у Києві, де внутрішньоквартальні території від початку закладалися як пішохідні простори, вільні від транзитного автомобільного руху та хаотичного паркування. Основна частина машиномісць була винесена на периферію кварталів, а також організована вздовж вуличного фронту та в спеціально відведених зонах. Це дозволило звільнити внутрішні двори від автомобілів і використовувати їх виключно для рекреаційних цілей. У результаті дворовий простір набув чітко вираженого пішохідного характеру та став безпечним середовищем для повсякденного користування мешканцями.

Висновки до розділу 4

1. Зниження теплового навантаження на прибудинкові території нерозривно пов'язане зі зменшенням ризику теплового стресу у мешканців. Як було зазначено раніше, більш прохолодне та збалансоване мікрокліматичне середовище підвищує комфорт щоденного перебування на відкритому повітрі та сприяє послабленню локальних проявів міського теплового острова. Строгі ортогональні орієнтації в поєднанні з регулярною забудовою призводять до передбачуваного потрапляння сонячних променів на фасади будівель і підстильну поверхню внутрішнього двору протягом тривалого проміжку часу.

2. Спираючись на отримані автором результати, вдалося підтвердити, що використання принципів асиметричного планування, динамічного затінення та додаткового озеленення на стадії проєктних робіт дозволить цілеспрямовано формувати сприятливий мікроклімат забудованих територій без збільшення частки активних інженерних систем. Ці принципи, запозичені з логіки природних ландшафтів, забезпечать більш гнучку й адаптивну просторову структуру, здатну ефективно реагувати на сезонні та добові зміни кліматичних умов, а також зменшувати внесок житлової забудови у формування міського теплового острова.

3. Порівняльний аналіз дозволив виявити відмінності у характері розподілу сонячної радіації, рівні затіненості та потенційних температурних режимах внутрішньоквартальних просторів, зумовлені геометрією та орієнтацією забудови. Також було визначено переваги й обмеження розпланувальних схем з позицій біокліматичної ефективності, стійкості житлової забудови на локальному рівні.

4. Отримані результати дослідження слід розглядати як інструмент біокліматичного проєктування, передусім застосовний до плоских територій із відсутністю вираженого природного рельєфу. В умовах таких ділянок саме архітектурно-розпланувальні рішення стають визначальним чинником формування мікроклімату, оскільки природні механізми терморегуляції,

пов'язані з перепадами висот, експозицією схилів і локальними повітряними потоками, спочатку відсутні або виражені мінімально. За таких умов оптимізація просторової структури кварталу набуває особливого значення для зменшення перегріву підстильної поверхні та послаблення ефекту міського теплового острова.

5. На противагу регулярній схемі типових рішень забудови кварталу, що ґрунтується на паралельному та однотипному розташуванні архітектурних об'єктів, асиметричне планування запроваджує просторове різноманіття, яке безпосередньо впливає на характер інсоляції та затінення. У сукупності ці чинники визначають тепловий режим внутрішнього простору кварталів, рівень комфорту для мешканців і потенціал забудови щодо зменшення локального перегріву та проявів міського теплового острова.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертації розв'язано актуальне науково-прикладне завдання обґрунтування та розроблення підходів до підвищення ефективності екологічного захисту міст України шляхом зниження теплового навантаження на міське середовище, послаблення проявів міського теплового острова та зменшення рівня теплового стресу населення в умовах зростання пікових літніх температур, зумовлених глобальними кліматичними змінами.

2. На підставі аналізу багаторічних кліматичних спостережень із використанням інструментарію Copernicus Climate Change Service та даних Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України для м. Києва визначено прогностичні зміни теплового індексу залежно від температури та вологості повітря. Встановлено, що до 2050 року тепловий індекс може підвищитися майже на 30%, а за відносної вологості повітря 80 % ризик для здоров'я населення на прибудинкових територіях за стандартної квартальної забудови трактуватиметься як «високий» за шкалою WBGT.

3. За результатами аналізу сучасних технологій захисту міського середовища від перегрівання поверхонь встановлено, що в Україні недостатньо уваги приділяється методам пасивного охолодження житлової забудови, зокрема доцільній орієнтації квартальної комірки відносно сторін світу на ранній стадії проектування.

4. Розроблений та теоретично обґрунтований підхід до визначення температурного режиму підстильної поверхні внутрішнього двору квартальної забудови дозволяє виявити доцільну орієнтацію квартальної забудови задля зменшення ризику перергівання. Підхід базується на моделюванні інсоляційних показників у спеціалізованому програмному забезпеченні із використанням 3D-моделей забудови та подальшим аналізом середніх показників затінення і температури за різних варіантів орієнтації будівель відносно сторін світу.

5. На підставі моделювання чотирьох типових проєктних рішень квартальної житлової забудови у піковий літній період для умов І кліматичної

зони України на прикладі м. Києва встановлено, що серед типових рішень найбільший потенціал формування сприятливого теплокомфортного внутрішнього простору має периметральна забудова: за несприятливої орієнтації СХ, ЗХ середня денна температура підстильної поверхні становить близько 35 °С, а за оптимальної орієнтації ПН, ПД — 33,3 °С, що є найнижчим показником серед розглянутих типових схем забудови.

6. Запропоновані альтернативні асиметричні варіанти розпланування квартальної забудови дозволяють створити динамічні зони затінення внутрішнього двору. Отримані результати засвідчили, що за різних орієнтацій альтернативних розпланувальних рішень тепловий режим внутрішнього двору змінюється у відносно вузькому інтервалі — 51,8–60,4 % і знижує ймовірність формування локальних зон перегріву.

7. Кількісне оцінювання впливу озеленення внутрішнього дворового простору на температурний режим прибудинкової території в літній період, зокрема в інтервалі максимальної сонячної активності 11:00–14:00, показало, що розміщення підземного паркінгу під усією територією внутрішнього двору обмежує можливість повноцінного озеленення та негативно впливає на формування сприятливих мікрокліматичних умов кварталу. За відсутності дерев з великою кроною, температура підстильної поверхні у липні є на 1,5–2,0 °С вищою, тоді як озеленення сприяє її зниженню та підвищенню теплового комфорту внутрішнього двору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Summary for policymakers. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–33). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>
2. Vanos, J. K., Baldwin, J. W., Jay, O., & Ebi, K. L. (2020). Simplicity lacks robustness when projecting heat-health outcomes in a changing climate. *Nature Communications*, 11, Article 6079. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19994-1>
3. Anderko, L., Chalupka, S., Du, M., & Hauptman, M. (2020). Climate changes reproductive and children's health: A review of risks, exposures, and impacts. *Pediatric Research*, 87, 414–419. <https://doi.org/10.1038/s41390-019-0654-7>
4. Zisis, E., Hakimi, S., & Lee, E.-Y. (2021). Climate change, 24-hour movement behaviors, and health: A mini umbrella review. *Global Health Research and Policy*, 6, Article 15. <https://doi.org/10.1186/s41256-021-00198-z>
5. McMichael, A. J., Haines, A., Slooff, R., & Kovats, S. (Eds.). (1996). *Climate change and human health*. World Health Organization. <https://portals.iucn.org/library/node/23718>
6. McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: Present and future risks. *The Lancet*, 367(9513), 859–869. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3)
7. Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068–2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>
8. Burtcher, J., Burtcher, M., & Millet, G. P. (2020). (Indoor) isolation, stress, and physical inactivity: Vicious circles accelerated by COVID-19? *Scandinavian*

Journal of Medicine & Science in Sports, 30(8), 1544–1545.
<https://doi.org/10.1111/sms.13706>

9. Daanen, H. A. M., Bose-O'Reilly, S., Brearley, M., Flouris, A. D., Gerrett, N., Huynen, M. M. T. E., Jones, H. M., Lee, J. K. W., Levi, M., & Morris, N. B. (2021). COVID-19 and thermoregulation-related problems: Practical recommendations. *Temperature*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1790971>

10. Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., & Ali Ibrahim, S. (Eds.). (2018). *Climate change and cities: Second assessment report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

11. Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C.-F., Kan, H., Yi, S.-M., Coelho, M. de S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Honda, Y., Kim, H., & Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)

12. Li, J., Chen, Y. D., Gan, T. Y., & Lau, N.-C. (2018). Elevated increases in human-perceived temperature under climate warming. *Nature Climate Change*, 8(1), 43–47. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0036-2>

13. Matthews, T. K. R., Wilby, R. L., & Murphy, C. (2017). Communicating the deadly consequences of global warming for human heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(15), 3861–3866. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617526114>

14. Zhao, L., Oppenheimer, M., Zhu, Q., Baldwin, J. W., Ebi, K. L., Bou-Zeid, E., Guan, K., & Liu, X. (2018). Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environmental Research Letters*, 13(3), Article 034003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9f73>

15. Fujibe, F. (2003). Long-term surface wind changes in the Tokyo metropolitan area in the afternoon of sunny days in the warm season. *Journal of the*

Meteorological Society of Japan. Ser. II, 81(1), 141–149.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.81.141>

16. Wang, Y., Li, Y., Di Sabatino, S., Martilli, A., & Chan, P. W. (2018). Effects of anthropogenic heat due to air-conditioning systems on an extreme high temperature event in Hong Kong. *Environmental Research Letters, 13(3)*, Article 034015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa848>

17. American College of Sports Medicine. (1987). American College of Sports Medicine position stand on: The prevention of thermal injuries during distance running. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 19(5)*, 529–533.

18. Ahn, Y., Uejio, C. K., Rennie, J., & Schmit, L. (2022). Verifying experimental wet bulb globe temperature hindcasts across the United States. *GeoHealth, 6(4)*, Article e2021GH000527. <https://doi.org/10.1029/2021GH000527>

19. Fischer, E. M., Oleson, K. W., & Lawrence, D. M. (2012). Contrasting urban and rural heat stress responses to climate change. *Geophysical Research Letters, 39(3)*, Article L03705. <https://doi.org/10.1029/2011GL050576>

20. Willett, K. M., & Sherwood, S. C. (2012). Exceedance of heat index thresholds for 15 regions under a warming climate using the wet-bulb globe temperature. *International Journal of Climatology, 32(2)*, 161–177. <https://doi.org/10.1002/joc.2257>

21. Angol, B., Sousan, S., & Balanay, J. A. G. (2025). Comparison between WBGT app prototype and WBGT monitor to assess heat stress risk in an eastern North Carolina outdoor setting. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 22(4)*, 274–287. <https://doi.org/10.1080/15459624.2024.2444415>

22. Convit, L., Kelly, M. K., Jardine, W. T., Périard, J. D., Carr, A. J., Warmington, S., Bowe, S. J., & Snipe, R. M. J. (2024). Influence of acute heat mitigation strategies on core temperature, heart rate and aerobic performance in females: A systematic literature review. *Journal of Sports Sciences, 42(16)*, 1491–1511. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2396225>

23. Святогоров, І. (2024). Посилення теплового стресу для населення урбанізованих територій на фоні глобальних кліматичних змін. *Екологічна*

безпека та природокористування, 49(1), 49–59. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.49-59>

24. Святогоров, І., & Волошкіна, О. (2024). До питання врахування ефекту кліматичних змін для здоров'я міського населення в будівельній документації. У *Сталий розвиток — стан та перспективи: Матеріали IV Міжнародного наукового симпозіуму в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES»)*, 13–16 лютого 2024 р., Львів — Славське, Україна (с. 146–148). Національний університет «Львівська політехніка». <https://doi.org/10.51500/7826-39-12>

25. Святогоров, І. О. (2023). Оцінка факторів утворення теплового куполу над забудованими територіями. У *Green Construction («Зелене будівництво»): Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 545–549). Київський національний університет будівництва і архітектури. https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf

26. Ткаченко, Т. М., Святогоров, І. О., & Волошкіна, О. С. (2024). Взаємозв'язок між показниками щільності забудови, зеленими зонами та тепловим індексом впливу на здоров'я населення в умовах кліматичних змін (на прикладі районів м. Києва). У *Green Construction («Зелене будівництво»): Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 348–350). Київський національний університет будівництва і архітектури. https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf

27. Dunne, J. P., Stouffer, R. J., & John, J. G. (2013). Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. *Nature Climate Change*, 3(6), 563–566. <https://doi.org/10.1038/nclimate1827>

28. Zander, K. K., Botzen, W. J. W., Oppermann, E., Kjellstrom, T., & Garnett, S. T. (2015). Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nature Climate Change*, 5(7), 647–651. <https://doi.org/10.1038/nclimate2623>

29. Asmussen, E., & Boje, O. (1945). Body temperature and capacity for work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 10(1), 1–22. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1945.tb00287.x>

30. Kjellstrom, T., Holmer, I., & Lemke, B. (2009). Workplace heat stress, health and productivity: An increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. *Global Health Action*, 2(1), Article 2047. <https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>
31. Morrison, S. A. (2023). Moving in a hotter world: Maintaining adequate childhood fitness as a climate change countermeasure. *Temperature*, 10(2), 179–197. <https://doi.org/10.1080/23328940.2022.2102375>
32. Liljegren, J. C., Carhart, R. A., Lawday, P., Tschopp, S., & Sharp, R. (2008). Modeling the wet bulb globe temperature using standard meteorological measurements. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(10), 645–655. <https://doi.org/10.1080/15459620802310770>
33. Brimicombe, C., Quintino, T., Smart, S., Di Napoli, C., Hogan, R., Cloke, H. L., & Pappenberger, F. (2022). *Calculating the cosine of the solar zenith angle for thermal comfort indices* (ECMWF Technical Memorandum No. 895). European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. <https://doi.org/10.21957/o7pcu1x2b>
34. Hatvani-Kovacs, G., Belusko, M., Skinner, N., Pockett, J., & Boland, J. (2016). Heat stress risk and resilience in the urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 26, 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.019>
35. Karl, T. R., & Trenberth, K. E. (2003). Modern global climate change. *Science*, 302(5651), 1719–1723. <https://doi.org/10.1126/science.1090228>
36. Міністерство охорони здоров'я України. (2014). *Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»* (Наказ № 248 від 08.04.2014). Верховна Рада України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>
37. Voloshkina, O., Efimenko, O., Sipakov, R., Sviatohorov, I., Nehoda, N., & Shcherbakova, O. (2023). Geodetic monitoring of the pit enclosure soil violations during the office center construction in Kyiv. In *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (Vol.

2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520057>

38. Voloshkina, O., Sviatohorov, I., Shcherbakova, O., & Zhukova, O. (2023). Assessment of the metro dynamic effects on geotechnical structures during the Poshtova Square reconstruction. In *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023”* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510058>

39. Sipakov, R., & Sviatohorov, I. (2023). Monitoring of the probable damage to the Kyivpastrans building due to soil deformations during the Poshtova Square reconstruction in the city of Kyiv. In *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520056>

40. Sviatohorov, I. (2023). The cracks opening monitoring in the museum building during the Poshtova Square reconstruction in Kyiv. In *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023”* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510059>

41. Святогорів, І. О. (2024). Застосування геотехнічних конструкцій в «зеленому будівництві». *Екологічна безпека та природокористування*, 50(2), 36–47. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.36-47>

42. Steeneveld, G. J., Koopmans, S., Heusinkveld, B. G., van Hove, L. W. A., & Holtslag, A. A. M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D20), Article D20129. <https://doi.org/10.1029/2011JD015988>

43. Heusinkveld, B. G., Steeneveld, G. J., van Hove, L. W. A., Jacobs, C. M. J., & Holtslag, A. A. M. (2014). Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(2), 677–692. <https://doi.org/10.1002/2012JD019399>

44. Li, C., & Zhang, N. (2021). Analysis of the daytime urban heat island mechanism in East China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(12), Article e2020JD034066. <https://doi.org/10.1029/2020JD034066>
45. Luo, M., & Lau, N.-C. (2018). Increasing heat stress in urban areas of eastern China: Acceleration by urbanization. *Geophysical Research Letters*, 45(23), 13,060–13,069. <https://doi.org/10.1029/2018GL080306>
46. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Summary for policymakers. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, & J. C. Minx (Eds.), *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf
47. Balcerak, E. (2014). Statistical analysis describes urban heat island effect in Europe. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 95(6), 60. <https://doi.org/10.1002/2014EO060010>
48. Hatvani-Kovacs, G., Belusko, M., Skinner, N., Pockett, J., & Boland, J. (2016). Heat stress risk and resilience in the urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 26, 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.019>
49. Dunne, J. P., Stouffer, R. J., & John, J. G. (2013). Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. *Nature Climate Change*, 3(6), 563–566. <https://doi.org/10.1038/nclimate1827>
50. Economist Intelligence Unit. (2023). *The Global Liveability Index 2023*. Retrieved December 20, 2025, from <https://www.eiu.com/n/campaigns/global-liveability-index-2023/>
51. Ujma, A. (2023). Prospects for creating surfaces with vegetation on buildings in Poland. *Екологічна безпека та природокористування*, 46(2), 23–34. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.23-34>

52. World Green Building Council. (n.d.). *The Commitment*. Retrieved November 10, 2025, from <https://worldgbc.org/thecommitment/>
53. World Green Building Council. (n.d.). *Profile of an Asia Pacific Network partner: AGC*. Retrieved April 10, 2024, from <https://worldgbc.org/article/profile-of-an-asia-pacific-network-partner-agc/>
54. International Energy Agency. (2021). *World Energy Outlook 2021*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
55. World Green Building Council. (n.d.). *Climate Change Resilience in the Built Environment guide*. Retrieved December 10, 2025, from <https://worldgbc.org/article/climate-change-resilience-in-the-built-environment-guide/>
56. United Nations Environment Programme. (2022). *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
57. World Economic Forum. (2021). *Green Building Principles: The Action Plan for Net-Zero Carbon Buildings*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/green-building-principles-the-action-plan-for-net-zero-carbon-buildings/>
58. United Nations. (2017). *New Urban Agenda*. United Nations. <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-English.pdf>
59. Global Alliance for Buildings and Construction. (2020). *GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction 2020–2050: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Buildings and Construction. https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/GlobalABC_Roadmap_for_Buildings_and_Construction_2020-2050_3.pdf
60. Drozd, W. (2019). Problems and benefits of using green roofs in Poland. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 214, Article 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012076>

61. Pawłowska, K., & Jawecki, B. (2021). The determination of priority areas for the construction of green roofs with use of the urban area valorisation method. *Sustainability*, 13(23), Article 13227. <https://doi.org/10.3390/su132313227>
62. European Commission: Directorate-General for Climate Action. (2023). *EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change: Best practice guidance*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2834/585141>
63. Київська міська державна адміністрація. (2019, вересень 30). *Про початок розробки проекту Стратегії розвитку міста Києва до 2035 року на засадах смарт-спеціалізації*. Портал Києва. Retrieved December 22, 2025, from https://kyivcity.gov.ua/oholoshennia/pro_pochatok_rozrobki_proektu_strategi_rozvitku_mista_kiyeva_do_2035_roku_na_zasadakh_smart-spetsializatsi/
64. Волошкіна, О., Жукова, О., Ткаченко, Т., & Святогород, І. (2023). Відновлювані джерела енергії для резервного енергопостачання малих очисних споруд та окремих домогосподарств. *Екологічна безпека та природокористування*, 45(1), 5–16. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.5-16>
65. Redakcja www.wroclaw.pl. (2015, July 30). *Tax exemptions for roof gardens*. Wroclaw.pl. Retrieved December 25, 2025, from <https://www.wroclaw.pl/en/tax-exemptions-for-green-roofs-or-walls>
66. Tkachenko, T., Lis, A., Tsiuriupa, Y., Mileikovskiy, V., Ujma, A., Tkachenko, O., & Sakhnovska, V. (2025). Planning of green roofs for the best thermotechnical effect. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 34(1), 42–54. <https://doi.org/10.22630/srees.9954>
67. Alsayah, A. M., Faraj, J. J., & Eidan, A. A. (2024). A review of recent studies of both heat pipe and evaporative cooling in passive heat recovery. *Open Engineering*, 14(1), 1–18. <https://doi.org/10.1515/eng-2024-0012>
68. Bari, M. A., Münsch, M., Schöneberger, B., Schlagbauer, B., Tiu, A. A., & Wierschem, A. (2024). Heat recovery optimization of a shell and tube bundle heat exchanger with continuous helical baffles for air ventilation systems. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 32, Article 2. <https://doi.org/10.1007/s44189-023-00046-4>

69. Brunoro, S. (2024). Passive envelope measures for improving energy efficiency in the energy retrofit of buildings in Italy. *Buildings*, 14(7), Article 2128. <https://doi.org/10.3390/buildings1407212>
70. Chen, H., Ma, J., Wang, X., Xu, P., Zheng, S., & Zhao, Y. (2018). Effects of biochar and sludge on carbon storage of urban green roofs. *Forests*, 9(7), Article 413. <https://doi.org/10.3390/f9070413>
71. Chen, Y., Zheng, B., & Hu, Y. (2020). Numerical simulation of local climate zone cooling achieved through modification of trees, albedo and green roofs: A case study of Changsha, China. *Sustainability*, 12(7), Article 2752. <https://doi.org/10.3390/su12072752>
72. Cholewa, T., Balen, I., & Siuta-Olcha, A. (2018). On the influence of local and zonal hydraulic balancing of heating system on energy savings in existing buildings: Long term experimental research. *Energy and Buildings*, 179, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.009>
73. Безручко, К. В., & Губін, С. В. (2007). Автономні наземні енергетичні установки на поновлюваних джерелах енергії. Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».
74. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2018a). Energy efficiency of “green structures” in cooling period. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 453–457. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14570>
75. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2019). Geometric basis of the use of “green constructions” for sun protection of glazing. In L. Cocchiarella (Ed.), *ICGG 2018: Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics (Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 809, pp. 1096–1107)*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_94
76. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2020). Methodology of thermal resistance and cooling effect testing of green roofs. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 42(1), 50–56. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2020.8>
77. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2021). Assessment of light transmission for comfort and energy efficient insolation by “green structures.” In L.-Y.

Cheng (Ed.), *ICGG 2020: Proceedings of the 19th International Conference on Geometry and Graphics (Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1296, pp. 139–151)*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63403-2_13

78. Tkachenko, T., & Mileikovskyi, V. (2022). Capturing carbon dioxide from human-driven vehicles by green structures for carbon neutrality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1111(1), Article 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1111/1/012056>

79. Tkachenko, T., Mileikovskyi, V., Kravchenko, M., & Konovaliuk, V. (2023). Simulation of illumination and wind conditions for green and fed cities using CFD software. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1275(1), Article 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1275/1/012014>

80. Tkachenko, T., Mileikovskyi, V., & Ujma, A. (2019). Field study of air quality improvement by a “green roof” in Kyiv. *System Safety: Human–Technical Facility–Environment*, 1(1), 419–424. <https://doi.org/10.2478/czoto-2019-0054>

81. Tkachenko, T., Mileikovskyi, V., Ujma, A., & Hajiyeu, M. (2024). Treatment of out-of-context buildings during the restoration of historical territories using green structures. *International Journal of Conservation Science*, 15(Special Issue 1), 129–140. <https://doi.org/10.36868/ijcs.2024.si.11>

82. Corcoran, L., & Duffy, A. (2019). Experimental field-trial design to investigate the effects of a defective internal vapour layer on timber frame wall constructions including initial findings. *MATEC Web of Conferences*, 282, Article 02047. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201928202047>

83. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. (2014). *ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель*. Мінрегіон України. <https://eurobud.ua/wp-content/uploads/2022/08/dstu-b-v.2.6-189-2013-metody-vyboru-teploizolyaczijnogo-materialu-dlya-uteplennya-budivel.pdf>

84. Gill, A. S., Purnell, K., Palmer, M. I., Stein, J., & McGuire, K. L. (2020). Microbial composition and functional diversity differ across urban green infrastructure

types. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 912. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00912>

85. Hlushchenko, R., Tkachenko, T., Mileikovskiy, V., Kravets, V., & Tkachenko, O. (2022). “Green structures” for effective rainwater management on roads. *Production Engineering Archives*, 28(4), 295–299. <https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.37>

86. Kravchenko, M., Trach, Y., Trach, R., Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2024). Improving the efficiency and environmental friendliness of urban stormwater management by enhancing the water filtration model in rain gardens. *Water*, 16(10), Article 1316. <https://doi.org/10.3390/w16101316>

87. Kuhnhenne, M., Reger, V., Pyschny, D., & Döring, B. (2020). Influence of airtightness of steel sandwich panel joints on heat losses. *E3S Web of Conferences*, 172, Article 05008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017205008>

88. Nwankwo, M., Meng, Q., Yang, D., & Liu, F. (2022). Effects of forest on birdsong and human acoustic perception in urban parks: A case study in Nigeria. *Forests*, 13(7), Article 994. <https://doi.org/10.3390/f13070994>

89. Rey, C. V., Franco, N., Peyre, G., & Rodríguez, J. P. (2020). Green roof design with engineered extensive substrates and native species to evaluate stormwater runoff and plant establishment in a neotropical mountain climate. *Sustainability*, 12(16), Article 6534. <https://doi.org/10.3390/su12166534>

90. Shapoval, S., Spodyniuk, N., Zhelykh, V., Shepichak, V., & Shapoval, P. (2021). Application of rooftop solar panels with coolant natural circulation. *Pollack Periodica*, 16(1), 132–137. <https://doi.org/10.1556/606.2020.00218>

91. Shapoval, S., Zhelykh, V., Venhryn, I., & Kozak, K. (2020). Simulation of thermal processes in the solar collector which is combined with external fence of an energy efficient house. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 47, pp. 510–517). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_65

92. Tkachenko, T., Kravchenko, M., Voloshkina, O., Mileikovskiy, V., Tkachenko, O., & Sipakov, R. (2024). Evaluating rain-garden bands: Filtration properties and implications for urban water management. In *World Environmental and*

Water Resources Congress 2024: Climate change impacts on the world we live in (pp. 960–968). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784485477.085>

93. Wikimedia Foundation. (n.d.). *Humidex*. Wikipedia. Retrieved January 18, 2026, from <https://uk.wikipedia.org/wiki/Humidex>

94. National Weather Service, Weather Prediction Center. (n.d.). *The heat index equation*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved January 8, 2026, from https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml

95. ДП «УкрНДНЦ». (2022). *ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання*. ДП «УкрНДНЦ».

96. Copernicus Climate Change Service. (n.d.). *Climate Data Store*. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Retrieved August 8, 2025, from <https://cds.climate.copernicus.eu/>

97. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. (n.d.). *Метеорологічні дані метеостанції Київ на 9 годину ранку*. Retrieved January 8, 2026, from <http://www.cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/meteorolohichna/meteorolohichni-danimeteostantsii-kyiv-na-9-hodynu-ranku>

98. Osadchyi, V., Skrynyk, O., Palamarchuk, L., Skrynyk, O., Osypov, V., Oshurok, D., & Sidenko, V. (2022). Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946–2020. *Data in Brief*, 44, Article 108553. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>

99. Кутя, М. М., & Гірс, О. А. (2012). Характеристика рекреаційних навантажень та рекреаційної місткості лісопаркових ландшафтів Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(12), 86–90. http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnltu_2012_22.12_18.pdf

100. Kravchenko, M., Tkachenko, T., Voloshkina, O., Vasylenko, L., & Sviatohorov, I. (2025). Assessing the economic and environmental benefits of blue-green infrastructure to increase urban resilience to climate change. *Environmental Safety and Natural Resources*, 54(2), 7–22. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.2.7-22>
101. Сніжко, С. І. (2024). *Інноваційні технології адаптації до зміни клімату: Навчально-методичний комплекс*. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/05/inovacziijni-tehnologiyi_snizhko-s.pdf
102. Адаменко, Т. (2008). Аналіз актуальних чинників погіршення якості питного водопостачання в контексті національної безпеки України. *Агроном*, 1, 10–12. <http://www.niss.gov.ua/articles/1037/>
103. Степаненко, С. М., & Польовий, А. М. (Ред.). (2011). *Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України*. Екологія.
104. Шевченко, О. Г., Сніжко, С. І., & Кульбіда, М. І. (2013). Клімат великого міста: Формування та особливості прояву. У *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції з питань запобігання зміни клімату «Клімат і місто (на прикладі м. Києва)»*, 5–6 червня 2013 р., Київ (с. 47–55).
105. Воронцова, О. (2020, грудень 30). *Природний рельєф Києва потрібно інтегрувати у міський простір — архітектори*. Главком. Retrieved January 30, 2026, from <https://glavcom.ua/kyiv/news/prirodniy-reljef-kijeva-potribno-integruvati-u-miskiy-prostir-arhitektori--727907.html>
106. Trofymchuk, O. M., Kaliukh, Y. I., Dunin, V. A., & Berchun, Y. O. (2018). On the possibility of multi-wavelength identification of defects in piles. *Cybernetics and Systems Analysis*, 54(4), 600–609. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9>
107. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Berchun, V. (2017). Landslide stabilization in building practice: Methodology and case study from Autonomic Republic of Crimea. In M. Mikoš, Ž. Arbanas, Y. Yin, & K. Sassa (Eds.), *Advancing culture of living with*

landslides: Volume 2. Advances in landslide science (pp. 587–595). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-53498-5_67

108. Ishchenko, Y., Slyusarenko, Y., Melashenko, Y., Yakovenko, M., & Ben, I. (2020). Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови. *Наука та будівництво*, 25(3), 13–25.
<https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>

109. Kaliukh, I., Vasylenko, V., Berchun, Y., Vapnichna, V., Sedin, V., & Tytarenko, O. (2023). The computational intelligence application for assessing the technical state of a multi-storey building damaged by an explosion. In *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)* (pp. 1–5). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312914>

110. Kaliukh, I., Dunin, V., Marienkov, M., Trofymchuk, O., & Kurash, S. (2023). Peculiarities of applying the risk theory and numerical modeling to determine the resource of buildings in a zone of influence of military actions. *Cybernetics and Systems Analysis*, 59(4), 612–623. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00596-w>

111. Slyusarenko, Y., Melashenko, Y., Yakovenko, M., Ishchenko, Y., Ben, I., & Ivashchenko, D. (2023). Experimental solving the problem of the shelter object reinforced concrete structures thermal expansion. In A. Ilki, D. Çavunt, & Y. S. Çavunt (Eds.), *Building for the future: Durable, sustainable, resilient: Proceedings of the fib Symposium 2023—Volume 2 (Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 350)*, pp. 1879–1889). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32511-3_173

112. U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Urban heat island basics*. In *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies* [Draft]. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

113. Green Building Council of Australia. (n.d.). *Green Building Council of Australia*. Retrieved June 8, 2025, from <https://new.gbca.org.au/>

114. Houghton, A., & Castillo-Salgado, C. (2020). Analysis of correlations between neighborhood-level vulnerability to climate change and protective green building design strategies: A spatial and ecological analysis. *Building and Environment*, 168, Article 106523. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106523>

115. Lee, T., & Koski, C. (2012). Building green: Local political leadership addressing climate change. *Review of Policy Research*, 29(5), 605–624. <https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.2012.00579.x>
116. Kryvomaz, T. I., & Savchenko, A. M. (2021). The reducing of construction industry influence on climate change by implementation of green building principles. *Environmental Safety and Natural Resources*, 37(1), 55–68. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.1.55-68>
117. Zuo, J., & Zhao, Z.-Y. (2014). Green building research—Current status and future agenda: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.021>
118. Peng, C., & Yi, C.-Y. (2014). Climate change simulation for intelligent green building adaptation design. In *Proceedings of the 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGBSG.2014.6835172>
119. United Nations Development Programme. (n.d.). *What are the Sustainable Development Goals?* Retrieved September 8, 2025, from <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
120. U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Climate change*. Retrieved January 8, 2026, from <https://www.epa.gov/climate-change>
121. Christen, A., & Vogt, R. (2004). Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology*, 24(11), 1395–1421. <https://doi.org/10.1002/joc.1074>
122. Sailor, D. J., & Fan, H. (2002). Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities. *Atmospheric Environment*, 36(4), 713–725. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00452-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00452-6)
123. Rosenfeld, A. H. (2002). *Urban heat islands: Opportunities and challenges for mitigation and adaptation*. Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20309780>
124. Voogt, J. A. (2002). Urban heat island. In T. Munn (Ed.), *Encyclopedia of Global Environmental Change* (Vol. 3, pp. 660–666). Wiley.

125. Berdahl, P., & Bretz, S. E. (1997). Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*, 25(2), 149–158. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01004-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01004-3)
126. Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
127. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
128. Sailor, D. J., & Fan, H. (2002). Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities. *Atmospheric Environment*, 36(4), 713–725. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00452-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00452-6)
129. Nauka.ua. (2021, February 3). *Холодні дороги і тротуари знизили температуру повітря у містах*. Retrieved December 21, 2025, from <https://nauka.ua/news/holodni-dorogi-i-trotuari-znizili-temperaturu-povitrya-u-mistah>
130. PL2T. (2023, November 3). *Асфальт, бетон або тротуарна плитка для різних типів об'єктів*. Retrieved December 21, 2025, from <https://pl2t.com/uk/blog/post/asfal-t-beton-abo-trotuarna-plitka-dla-riznih-tipiv-ob-ektu/>
131. U.S. Environmental Protection Agency. (2012). *Cool pavements*. In *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies* [Draft]. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
132. Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M. (1998). Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 28(1), 51–62. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00063-7)
133. Karasawa, A., Toriiminami, K., Ezumi, N., & Kamaya, K. (2006). Evaluation of performance of water-retentive concrete block pavements. In *Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving*, San Francisco, CA, USA, November 6–8, 2006. <https://www.sept.org/techpapers/1311.pdf>
134. Ishizuka, R., Fujiwara, E., & Akagawa, H. (2006). Study on applicability of water-feed-type wet block pavement to roadways. In *Proceedings of the 8th*

International Conference on Concrete Block Paving, San Francisco, CA, USA, November 6–8, 2006. <https://www.sept.org/techpapers/1314.pdf>

135. Yamamoto, Y. (2006). Measures to mitigate urban heat islands. *Quarterly Review*, 18, 6–18. <https://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2012/04/Measures-to-Mitigate-UHI-Yamamoto.pdf>

136. Yoshioka, M., Tosaka, H., & Nakagawa, K. (2007). Experimental and numerical studies of the effects of water sprinkling on urban pavement on heat island mitigation. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Abstract H43D-1607).

137. Yamagata, H., Nasu, M., Yoshizawa, M., Miyamoto, A., & Minamiyama, M. (2008). Heat island mitigation using water retentive pavement sprinkled with reclaimed wastewater. *Water Science and Technology*, 57(5), 763–771. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.187>

138. Kappou, S., Souliotis, M., Papaefthimiou, S., Panaras, G., Paravantis, J. A., Michalena, E., Hills, J. M., & Vouros, A. P. (2022). Cool pavements: State of the art and new technologies. *Sustainability*, 14(9), Article 5159. <https://doi.org/10.3390/su14095159>

139. Santamouris, M., Xirafi, F., Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., & Vassilakopoulou, K. (2012). Improving the microclimate in a dense urban area using experimental and theoretical techniques: The case of Marousi, Athens. *International Journal of Ventilation*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/14733315.2012.11683966>

140. Pomerantz, M., Pon, B., Akbari, H., & Chang, S.-C. (2000). *The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities* (LBNL-43442). Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://eta.lbl.gov/publications/effect-pavements-temperatures-air>

141. Taha, H. (1997). Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment*, 31(11), 1667–1676. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00336-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00336-6)

142. Верховна Рада України. (2020). *Проект Закону України «Про зелені насадження міст та інших населених пунктів»*. LIGA:ZAKON. Retrieved November 12, 2025, from https://ips.ligazakon.net/document/ji03473a?ed=2020_10_22

143. Верховна Рада України. (2011). *Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI*. Retrieved November 12, 2025, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>
144. Майборода, О. (2020, жовтень 8). *Зелені коридори: чому вони потрібні кожному місту*. Екоклуб. Retrieved January 20, 2026, from https://ecoclubrivne.org/green_links/
145. Очеретний, В. П., Потапова, Т. Е., Кузьміна, Д. М., & Сологор, В. М. (2017). Сучасна тенденція скорочення площі зелених насаджень в світі. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 2, 69–76. <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/25370>
146. Wikimedia Foundation. (n.d.). *Зелені насадження*. Wikipedia. Retrieved January 21, 2026, from https://uk.wikipedia.org/wiki/Зелені_насадження
147. Шевченко, О., Власюк, О., Ставчук, І., Ваколюк, М., Ільяш, О., & Рожкова, А. (2014). *Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна*. Кліматичний форум східного партнерства; Робоча група громадських організацій зі зміни клімату. http://climategroup.org.ua/wp-content/uploads/2014/07/ukraine_cc_vulnerability.pdf
148. Український екологічний клуб «Зелена хвиля». (2016). *Адаптація до змін клімату: Зелені зони міст на варті прохолоди*. https://necu.org.ua/wp-content/uploads/2016/08/buklet_kyiv_ua.pdf
149. Сімонов, Д. (2023, листопад 5). *Легенда про Міявакі. Як в Україні посадити «мільярд дерев» по-японськи*. Українська правда. Retrieved January 20, 2026, from <https://www.pravda.com.ua/articles/2023/11/05/7427128/>
150. Puomio, S. (2021, December 2). *Engaging citizens in planning of green spaces with virtual reality*. Forum Virium Helsinki. Retrieved January 12, 2026, from <https://forumvirium.fi/en/engaging-citizens-in-planning-of-green-spaces-with-virtual-reality/>
151. Råberg, M. (2023, November 8). *Open call: Offer solutions to increase greenery in Helsinki and Lahti*. Forum Virium Helsinki. Retrieved January 12, 2026,

from <https://forumvirium.fi/en/open-call-offer-solutions-to-increase-greenery-in-helsinki-and-lahti/>

152. Helsinki Innovation Districts. (n.d.). *Helsinki Innovation Districts*. Retrieved January 22, 2026, from <https://fiksukaupunki.fi/en/frontpage/>

153. Akbari, H., Kurn, D. M., Bretz, S. E., & Hanford, J. W. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings*, 25(2), 139–148. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01003-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01003-1)

154. U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Trees and vegetation*. In *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies* [Draft]. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

155. Simpson, J. R., & McPherson, E. G. (1998). Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environment*, 32(1), 69–74. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00181-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00181-7)

156. Huang, J., Akbari, H., & Taha, H. (1990). The wind-shielding and shading effects of trees on residential heating and cooling requirements. In *ASHRAE Winter Meeting*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_4708.pdf

157. U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Green roofs*. In *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies* [Draft]. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

158. Shafique, M., Xue, X., & Luo, X. (2020). An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 47, Article 126515. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126515>

159. Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environmental Challenges*, 4, Article 100119. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100119>

160. Kravchenko, M., Tkachenko, T., Voloshkina, O., & Vasylenko, L. (2025). Awareness of green building as a component of climate change adaptation. In *The Second International Conference on Climate Services: Abstract book, April 16–18*,

2025, Odesa, Ukraine (pp. 99–100). Odesa I. I. Mechnikov National University.
<https://cs2025.onu.edu.ua/>

161. Ткаченко, Т. М., Волошкіна, О. С., Кордуба, І. Б., Жукова, О. Г., & Ковальова, А. В. (2024). *Технології захисту навколишнього середовища для будівельників: Навчальний підручник*. КНУБА.
<https://repository.knuba.edu.ua/items/91f48899-612b-4b2c-b54b-a2b175143bfl>

162. Sandifer, S., & Givoni, B. (2002). Thermal effects of vines on wall temperatures: Comparing laboratory and field collected data. In *SOLAR 2002: Proceedings of the Annual Conference of the American Solar Energy Society*, Reno, NV, USA. <https://www.legacy.sbse.org/awards/docs/Sandifer.pdf>

163. Greenroofs.com. (n.d.). *Projects database*. Retrieved December 22, 2025, from <https://www.greenroofs.com/projects/>

164. Cummings, J. B., Withers, C. R., Sonne, J., Parker, D., Vieira, R., Jackson, D., & Norvell, D. (2007). *UCF recommissioning, green roofing technology, and building science training: Final report* (FSEC-CR-1718-07). Florida Solar Energy Center. <https://stars.library.ucf.edu/fsec/460/>

165. ReportLinker. (n.d.). *Green building industry 2026*. Retrieved December 12, 2025, from <https://www.reportlinker.com/market-report/Construction/513230/Green-Building>

166. Liu, K. K. Y., & Bass, B. (2005). Performance of green roof systems. In *Cool Roofing Symposium*, Atlanta, GA, USA, May 12–13, 2005 (pp. 1–18). National Research Council Canada. <https://publications-cnrc.canada.ca/eng/view/object/?id=a3f06fba-bf23-4b72-a2e9-881eafda6613>

167. Bass, B., Liu, K. K. Y., & Baskaran, B. A. (2003). *Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas* (NRCC-46737). National Research Council Canada. <https://doi.org/10.4224/20386110>

168. U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Cool roofs*. In *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies* [Draft]. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

169. Rosenzweig, C., Solecki, W. D., & Slosberg, R. B. (2006). *Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces* (NYSERDA Contract No. 6681). New York State Energy Research and Development Authority. <https://urbanforestrysouth.org/resources/library/citations/mitigating-new-york-city2019s-heat-island-with-urban-forestry-living-roofs-and-light-surfaces>
170. Haberl, J., & Cho, S. (2004). *Literature review of uncertainty of analysis methods: Cool roofs*. Energy Systems Laboratory, Texas A&M University. <https://hdl.handle.net/1969.1/2071>
171. Konopacki, S. J., Akbari, H., Pomerantz, M., Gabersek, S., & Gartland, L. (1997). *Cooling energy savings potential of light-colored roofs for residential and commercial buildings in 11 U.S. metropolitan areas* (LBNL-39433). Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://doi.org/10.2172/508151>
172. Konopacki, S. J., & Akbari, H. (2002). *Energy savings for heat-island reduction strategies in Chicago and Houston, including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City* (LBNL-49638). Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://eta.lbl.gov/publications/energy-savings-heat-island-reduction>
173. Blasnik, M. (2004). *Impact evaluation of the Energy Coordinating Agency of Philadelphia's Cool Homes Pilot Project*. M. Blasnik & Associates. <https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/E093.pdf>
174. Святогоров, І. (2024). Тепловий режим території внутрішнього двору секційного житлового будинку в залежності від його орієнтації. *Техніка будівництва*, 40, 109–118. <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0311>
175. Wu, P., & Liu, Y. (2023). Impact of urban form at the block scale on renewable energy application and building energy efficiency. *Sustainability*, 15(14), Article 11062. <https://doi.org/10.3390/su151411062>
176. Charalambides, J., & Wright, J. (2013). Effect of early solar energy gain according to building size, building openings, aspect ratio, solar azimuth, and latitude. *Journal of Architectural Engineering*, 19(3), 227–236. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000129](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000129)

177. Козятник, І. П. (2015). *Планувальна організація житлових територій із застосуванням методів регулювання теплового режиму мікроклімату* [Автореферат дисертації кандидата архітектури, Київський національний університет будівництва і архітектури].

178. Вітвіцька, Є. В. (2015). Удосконалення містобудівних норм України щодо регулювання мікроклімату в забудові міст. *Сучасні проблеми технічного регулювання у будівництві, 1*. <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/1037>

179. Святогоров, І. О., Волошкіна, О. С., & Ткаченко, Т. М. (2025). Існуючі технології захисту міського середовища від перегріву поверхонь і зменшення теплового навантаження на прибудинкову територію. У С. О. Довгий (Ред.), *Інформаційно-комунікаційні технології для стійкості та відновлення: Колективна монографія за матеріалами XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток», Київ, 11–12 листопада 2025 р.* (с. 180–181). Юстон. https://itgip.org/collections_of_scientific_papers/

180. Doya, M., Bozonnet, E., & Allard, F. (2012). Experimental measurement of cool facades' performance in a dense urban environment. *Energy and Buildings, 55*, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.001>

181. Gao, Y., Farrokhirad, E., & Pitts, A. (2023). The impact of orientation on living wall façade temperature: Manchester case study. *Sustainability, 15*(14), Article 11109. <https://doi.org/10.3390/su151411109>

182. Banerjee, D. (2023). Computational review and assessment of the urban heat island effect and its impact on building space conditioning. *Enquiry: The ARCC Journal for Architectural Research, 20*(2). <https://doi.org/10.17831/enqarcc.v20i2.1152>

183. Dougherty, T., & Jain, R. K. (2023). Invisible walls: Exploration of microclimate effects on building energy consumption in New York City. *Sustainable Cities and Society, 90*, Article 104364. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104364>

184. Prasad, A. K., Anchan, S. S., Kamath, S. M., & Akella, V. (2017). Impact of building orientation on energy consumption in the design of green building.

International Journal of Emerging Research in Management & Technology, 6(2).
<https://www.researchgate.net/publication/326478143>

185. Zhou, X., Antonini, E., & Gaspari, J. (2025). Impact of courtyard microclimate on building thermal performance under hot weather conditions: A review. *Energies*, 18(20), Article 5433. <https://doi.org/10.3390/en18205433>

186. Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., & van Heijst, G. J. F. (2018). The effect of an urban park on the microclimate in its vicinity: A case study for Antwerp, Belgium. *International Journal of Climatology*, 38(S1), e303–e322. <https://doi.org/10.1002/joc.5371>

187. U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies* [Draft]. Retrieved February 15, 2024, from <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

188. Petrović, N., Petrović, N., & Petrović, M. (2025). The role of urban block typology in mitigating heat island effect: Simulation approach with ENVI-met. *Working and Living Environmental Protection*, 22(2), 101–110. <https://doi.org/10.22190/FUWLEP250901010P>

189. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». (2011). *ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія*. Мінрегіонбуд України.

190. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. (n.d.). *Кліматичні дані по Києву*. Retrieved August 16, 2024, from <http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-dani-po-kyievu>

191. Teller, J., & Azar, S. (2001). Townscope II: A computer system to support solar access decision-making. *Solar Energy*, 70(3), 187–200. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00097-9)

192. Korkina, E. V., Gorbarenko, E. V., Voitovich, E. V., Tyulenev, M. D., & Kozhukhova, N. I. (2023). Temperature evaluation of a building facade with a thin plaster layer under various degrees of cloudiness. *Energies*, 16(15), Article 5783. <https://doi.org/10.3390/en16155783>

193. Ратушняк, Г. С., & Попова, Г. С. (2004). *Будівельна теплофізика: Навчальний посібник*. Вінницький національний технічний університет. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/7295>
194. MVRDV. (2021, September 16). *MVRDV completes Ilot Queyries, a courtyard apartment building that combines intimate streetscapes and expansive green space*. <https://www.mvrdv.com/news/3952/ilot-queyries-completed-intimate-streetscapes-green-space>
195. Makower Architects. (n.d.). *Courtyard C, Hendon*. Retrieved May 30, 2026, from <https://www.makowerarchitects.com/project/block-c-hendon>
196. Studio Libeskind. (n.d.). *CityLife Residences*. Retrieved May 30, 2026, from <https://libeskind.com/work/citylife-residences/>
197. Ткаченко, Т., & Святогорів, І. (2025). Розпланування територій під житлову забудову за умови створення теплокомфортного житлового середовища. *Техніка будівництва*, 42, 169–177. <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0519>
198. Qi, H., Dempsey, N., & Cameron, R. (2024). Seeing the forest for the trees? An exploration of the Miyawaki forest method in the UK. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*. <https://doi.org/10.1080/03071375.2024.2394355>
199. ArchDaily. (2019, July 20). *Comfort Town Housing / archimatika*. <https://www.archdaily.com/921056/comfort-town-housing-archimatika>
200. Masterton, J. M., & Richardson, F. A. (1979). *Humidex: A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity* (CLI 1-79). Environment Canada, Atmospheric Environment Service. <https://publications.gc.ca/site/eng/9.865813/publication.html>
201. Ishizuka, R., Fujiwara, E., & Akagawa, H. (2006). Study on applicability of water-feed-type wet block pavement to roadways. In *Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving*, San Francisco, CA, USA, November 6–8, 2006 (pp. 263–270). <https://www.sept.org/techpapers/1314.pdf>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО
АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Святогоров, І. (2024). Посилення теплового стресу для населення урбанізованих територій на фоні глобальних кліматичних змін. *Екологічна безпека та природокористування*, 49(1), 49–59. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.49-59>

2. Волошкіна, О., Жукова, О., Ткаченко, Т., & Святогоров, І. (2023). Відновлювані джерела енергії для резервного енергопостачання малих очисних споруд та окремих домогосподарств. *Екологічна безпека та природокористування*, 45(1), 5–16. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.5-16>

Особистий внесок здобувача полягає в розробці технологічного рішення «зеленого» будівництва на основі аналізу існуючого світового досвіду, зокрема варіанту розташування ВДЕ для очистки та подальшого використання дощових вод, в тому числі зібраної з «зелених покрівель»

3. Святогоров, І. (2024). Застосування геотехнічних конструкцій в «зеленому будівництві». *Екологічна безпека та природокористування*, 50(2), 36–47. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.36-47>

4. Святогоров, І. (2024). Тепловий режим території внутрішнього двору секційного житлового будинку в залежності від його орієнтації. *Техніка будівництва*, 40, 109–118. <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0311>

5. Kravchenko, M., Tkachenko, T., Voloshkina, O., Vasylenko, L., & Sviatohorov, I. (2025). Assessing the economic and environmental benefits of blue-green infrastructure to increase urban resilience to climate change. *Environmental Safety and Natural Resources*, 54(2), 7–22. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.2.7-22>

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі технологічних рішень «зеленого» будівництва на основі існуючого світового досвіду в умовах глобальних кліматичних змін.

6. Ткаченко, Т., & Святогорів, І. (2025). Розпланування територій під житлову забудову за умови створення теплокомфортного житлового середовища. *Техніка будівництва*, 42, 169–177. <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0519>

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методології розрахунку значень нагрівання підстильної поверхні прибудинкової території зі значеннями альтернативної периметральної моделі забудови

Статті в періодичних журналах, які індексуються в базі SCOPUS

7. Voloshkina, O., Tkachenko, T., Sviatohorov, I., & Berezhnyska, Y. (2024). The influence of urban building orientation on the risk of heat stress from being in the courtyard area during the peak summer period. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 33(4), 388–400. <https://doi.org/10.22630/srees.9953>

Особистий внесок здобувача полягає в розробці основ розрахунку орієнтації міської забудови на ризик теплового стресу від перебування у внутрішньому дворі в піковий літній період.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Міжнародні та вітчизняні конференції

8. Святогорів, І., & Волошкіна, О. (2024). До питання врахування ефекту кліматичних змін для здоров'я міського населення в будівельній документації. У *Сталий розвиток — стан та перспективи: Матеріали IV Міжнародного наукового симпозіуму в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES»)*, 13–16 лютого 2024 р., Львів — Славське, Україна (с. 146–148). Національний університет «Львівська політехніка». <https://doi.org/10.51500/7826-39-12>

Особистий внесок здобувача полягає в розробці оцінки впливу температурних показників на здоров'я міського населення

9. Святогоров, І. О. (2023). Оцінка факторів утворення теплового куполу над забудованими територіями. У *Green Construction («Зелене будівництво»): Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 545–549). Київський національний університет будівництва і архітектури. https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf

10. Ткаченко, Т. М., Святогоров, І. О., & Волошкіна, О. С. (2024). Взаємозв'язок між показниками щільності забудови, зеленими зонами та тепловим індексом впливу на здоров'я населення в умовах кліматичних змін (на прикладі районів м. Києва). У *Green Construction («Зелене будівництво»): Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 348–350). Київський національний університет будівництва і архітектури. https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf

Особистий внесок здобувача полягає в розробці оцінки впливу температурних показників на здоров'я міського населення

11. Voloshkina, O., Efimenko, O., Sipakov, R., Sviatohorov, I., Nehoda, N., & Shcherbakova, O. (2023). Geodetic monitoring of the pit enclosure soil violations during the office center construction in Kyiv. In *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520057>

Участь в оцінці умов виконання будівельних робіт працівниками просто неба при реконструкції об'єктів м. Києва

12. Voloshkina, O., Sviatohorov, I., Shcherbakova, O., & Zhukova, O. (2023). Assessment of the metro dynamic effects on geotechnical structures during the Poshtova Square reconstruction. In *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023”* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510058>

Особистий внесок здобувача полягає в участі в моніторингу умов виконання будівельних робіт працівниками просто неба при реконструкції об'єктів м. Києва.

13. Sipakov, R., & Sviatohorov, I. (2023). Monitoring of the probable damage to the Kyivpastrans building due to soil deformations during the Poshtova Square reconstruction in the city of Kyiv. In *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520056>

Особистий внесок здобувача полягає в участі в моніторингу умов виконання будівельних робіт працівниками просто неба при реконструкції об'єктів м. Києва.

14. Sviatohorov, I. (2023). The cracks opening monitoring in the museum building during the Poshtova Square reconstruction in Kyiv. In *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023”* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510059>

15. Святогоров, І. О., Волошкіна, О. С., & Ткаченко, Т. М. (2025). Існуючі технології захисту міського середовища від перегріву поверхонь і зменшення теплового навантаження на прибудинкову територію. У С. О. Довгий (Ред.), *Інформаційно-комунікаційні технології для стійкості та відновлення: Колективна монографія за матеріалами XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток», Київ, 11–12 листопада 2025 р.* (с. 180–181). Юстон. https://itgip.org/collections_of_scientific_papers/

Особистий внесок здобувача полягає в розробці прогнозного відсотку затінення поверхні внутрішнього двору в залежності від орієнтації квартальної забудови відносно сторін світу на проєктній стадії.

ДОДАТОК Б

СЕРЕДНЯ КІЛЬКІСТЬ ПОТРАПЛЯННЯ ПРЯМОЇ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ
НА ПІДСТИЛЬНУ ПОВЕРХНЮ ДВОРУ ТИПОВИХ РІШЕНЬ
КВАРТАЛЬНОЇ ЗАБУДОВИ ВІДНОСНО СТОРІН СВІТУ УПРОДОВЖ
СВІТЛОВОГО ДНЯ В ЛИПНІ 2021 р.

ТОЧКОВА 16-ПОВЕРХОВА ЗАБУДОВА

Орієнтація подвір'я СХ , ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope (Вт*ч/м ²)	Площа поверхні подвір'я (м ²)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я (Вт*ч/добу)	Середнє значення прямої сонячної радіації (Вт*ч/м ²)
1		6236	3266	20366776	
2		5603	283	1585649	
3		4969	685	3403765	
4		4335	668	2895780	
5		3701	1136	4204336	
6		3068	1016	3117088	
7		2434	275	669350	
8		1800	192	345600	
9		1167	244	284748	
10		533	11	5863	
Загалом			7776	36878955	4743
Орієнтація подвір'я ПН-СХ , ПД-ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope (Вт*ч/м ²)	Площа поверхні подвір'я (м ²)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я (Вт*ч/добу)	Середнє значення прямої сонячної радіації (Вт*ч/м ²)
1		5957	325	1936025	
2		5457	1213	6619341	
3		4956	1895	9391620	
4		4456	2334	10400304	
5		3955	806	3187730	
6		3455	433	1496015	
7		2954	312	921648	

8		2454	268	657672	
9		1954	187	365398	
10		1453	3	4359	
Загалом			7776	34980112	4498
Орієнтація подвір'я ПН-ЗХ , ПД-СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Вт * ч / м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Вт * ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Вт * ч / м^2$)
1		5957	325	1936025	
2		5457	1213	6619341	
3		4956	1895	9391620	
4		4456	2334	10400304	
5		3955	806	3187730	
6		3455	433	1496015	
7		2954	312	921648	
8		2454	268	657672	
9		1954	187	365398	
10		1453	3	4359	
Загалом			7776	34980112	4498
Орієнтація подвір'я ПД , ПН					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Вт * ч / м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Вт * ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Вт * ч / м^2$)
1		5983	735	4397505	
2		5376	1595	8574720	
3		4768	1294	6169792	
4		4161	1350	5617350	
5		3554	1885	6699290	
6		2947	790	2328130	
7		2339	41	95899	
8		1732	36	62352	
9		1125	47	52875	
10		517	3	1551	
Загалом			7776	33999464	4372

РЯДКОВА 9-ПОВЕРХОВА ЗАБУДОВА

Орієнтація подвір'я СХ , ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я а розрахунком Townscope (Вт*ч/м²)	Площа поверхні подвір'я (м²)	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я (Вт*ч/добу)	Середнє значення прямої сонячної радіації (Вт*ч/м²)
1		6236	4826	30094936	
2		5603	41	229723	
3		4969	70	347830	
4		4335	115	498525	
5		3701	176	651376	
6		3068	224	687232	
7		2434	272	662048	
8		1800	363	653400	
9		1167	575	671025	
10		533	5	2665	
Загалом			6667	34498760	5175
Орієнтація подвір'я ПН-СХ , ПД-ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я за розрахунком Townscope (Вт*ч/м²)	Площа поверхні подвір'я (м²)	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я (Вт*ч/добу)	Середнє значення прямої сонячної радіації (Вт*ч/м²)
1		6236	603	3760308	
2		5725	1855	10619875	
3		5214	1328	6924192	
4		4703	757	3560171	
5		4192	444	1861248	
6		3681	397	1461357	
7		3170	393	1245810	
8		2659	430	1143370	
9		2148	456	979488	
10		1637	4	6548	
Загалом			6667	31562367	4734
Орієнтація подвір'я ПН-ЗХ , ПД-СХ					

№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u/m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot u/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u/m^2$)
1		6236	603	3760308	
2		5725	1855	10619875	
3		5214	1328	6924192	
4		4703	757	3560171	
5		4192	444	1861248	
6		3681	397	1461357	
7		3170	393	1245810	
8		2659	430	1143370	
9		2148	456	979488	
10		1637	4	6548	
Загалом			6667	31562367	4734
Орієнтація подвір'я ПД , ПН					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u/m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot u/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u/m^2$)
1		5717	142	811814	
2		5400	130	702000	
3		5083	173	879359	
4		4766	345	1644270	
5		4449	2317	10308333	
6		4132	1166	4817912	
7		3815	895	3414425	
8		3499	804	2813196	
9		3182	689	2192398	
10		2865	6	17190	
Загалом			6667	27600897	4140

ПЕРИМЕТРАЛЬНА 9-ПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВА

Орієнтація подвір'я СХ , ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Вт * ч / м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Вт * ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Вт * ч / м^2$)
1		6226	1930	12016180	
2		5535	767	4245345	
3		4843	898	4349014	
4		4151	416	1726816	
5		3459	224	774816	
6		2768	124	343232	
7		2076	107	222132	
8		1384	214	296176	
9		692	871	602732	
10		1	5	5	
Загалом			5556	24576448	4423
Орієнтація подвір'я ПН-СХ , ПД-ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Вт * ч / м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Вт * ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Вт * ч / м^2$)
1		5911	103	608833	
2		5254	1705	8958070	
3		4597	1289	5925533	
4		3941	717	2825697	
5		3284	552	1812768	
6		2627	511	1342397	
7		1970	339	667830	
8		1314	101	132714	
9		657	171	112347	
10		0	68	0	
Загалом			5556	22386189	4029
Орієнтація подвір'я ПН-ЗХ , ПД-СХ					

№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		5911	103	608833	
2		5254	1705	8958070	
3		4597	1289	5925533	
4		3941	717	2825697	
5		3284	552	1812768	
6		2627	511	1342397	
7		1970	339	667830	
8		1314	101	132714	
9		657	171	112347	
10		0	68	0	
Загалом			5556	22386189	4029
Орієнтація подвір'я ПД , ПН					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		5703	71	404913	
2		5070	65	329550	
3		4436	2290	10158440	
4		3802	1225	4657450	
5		3169	1069	3387661	
6		2535	403	1021605	
7		1901	185	351685	
8		1267	108	136836	
9		634	110	69740	
10		0	30	0	
Загалом			5556	20517880	3693

П-ПОДІБНА 9-ПОВЕРХОВА ЗАБУДОВА

Орієнтація подвір'я ПН					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u / m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я ($Bm \cdot u / \text{добу}$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u / m^2$)
1		4852	1147	5565244	
2		4313	1578	6805914	
3		3774	1002	3781548	
4		3235	603	1950705	
5		2696	40	107840	
6		2157	46	99222	
7		1617	82	132594	
8		1078	168	181104	
9		539	514	277046	
10		0	376	0	
Загалом			5556	18901217	3402
Орієнтація подвір'я ПН-СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u / m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я ($Bm \cdot u / \text{добу}$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u / m^2$)
1		5925	1152	6825600	
2		5267	1060	5583020	
3		4609	574	2645566	
4		3950	455	1797250	
5		3292	493	1622956	
6		2633	597	1571901	
7		1975	517	1021075	
8		1317	227	298959	
9		658	188	123704	
10		0	293	0	
Загалом			5556	21490031	3868
Орієнтація подвір'я ПН-ЗХ					

№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		5925	1152	6825600	
2		5267	1060	5583020	
3		4609	574	2645566	
4		3950	455	1797250	
5		3292	493	1622956	
6		2633	597	1571901	
7		1975	517	1021075	
8		1317	227	298959	
9		658	188	123704	
10		0	293	0	
Загалом			5556	21490031	3868
Орієнтація подвір'я ПД					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		5117	146	747082	
2		5400	139	750600	
3		5083	136	691288	
4		4766	170	810220	
5		4449	1969	8760081	
6		4132	971	4012172	
7		3815	751	2865065	
8		3499	643	2249857	
9		3182	627	1995114	
10		2865	4	11460	
Загалом			5556	22892939	4120
Орієнтація подвір'я ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		6088	2164	13174432	
2		5441	745	4053545	

3		4795	506	2426270	
4		4148	453	1879044	
5		3501	344	1204344	
6		2854	126	359604	
7		2207	162	357534	
8		1560	283	441480	
9		913	770	703010	
10		267	3	801	
Загалом			5556	24600064	4428
Орієнтація подвір'я ПД-СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u/m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot u/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u/m^2$)
1		6144	439	2697216	
2		5642	740	4175080	
3		5141	1110	5706510	
4		4640	1039	4820960	
5		4139	673	2785547	
6		3638	423	1538874	
7		3137	378	1185786	
8		2636	378	996408	
9		2135	374	798490	
10		1634	2	3268	
Загалом			5556	24708139	4447
Орієнтація подвір'я ПД-ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u/m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot u/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u/m^2$)
1		6144	439	2697216	
2		5642	740	4175080	
3		5141	1110	5706510	
4		4640	1039	4820960	
5		4139	673	2785547	
6		3638	423	1538874	
7		3137	378	1185786	
8		2636	378	996408	
9		2135	374	798490	
10		1634	2	3268	

Загалом			5556	24708139	4447
Орієнтація подвір'я СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч / m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч / m^2$)
1		6085	2164	13167940	
2		5438	745	4051310	
3		4792	506	2424752	
4		4145	453	1877685	
5		3498	344	1203312	
6		2851	126	359226	
7		2204	162	357048	
8		1557	283	440631	
9		910	770	700700	
10		263	3	789	
Загалом			5556	24583393	4425

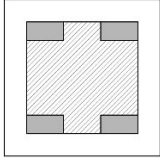
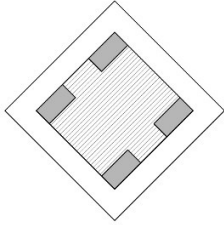
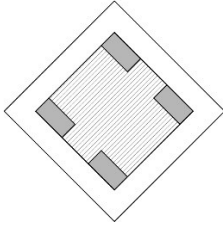
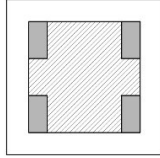
ДОДАТОК В

ПОРІВНЯННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ПОДВІР'Я ТИПОВИХ РІШЕНЬ ЗАБУДОВИ КВАРТАЛУ

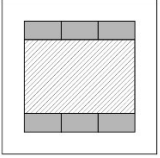
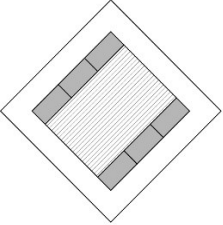
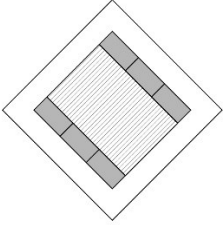
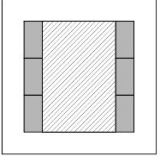
Орієнтація кварталу відносно сторін світу	Середня температура (t °C)												
СХ,ЗХ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Середня температура (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ЗХ</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу СХ</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>36,7</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>35,7</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Середня температура (°C)	П-подібна забудова кварталу ЗХ	35	П-подібна забудова кварталу СХ	35	Периметральна забудова кварталу	35	Рядкова забудова кварталу	36,7	Точкова забудова кварталу	35,7
Тип забудови	Середня температура (°C)												
П-подібна забудова кварталу ЗХ	35												
П-подібна забудова кварталу СХ	35												
Периметральна забудова кварталу	35												
Рядкова забудова кварталу	36,7												
Точкова забудова кварталу	35,7												
ПН-СХ, ПД-ЗХ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Середня температура (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПД-ЗХ</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПН-СХ</td> <td>33,7</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>34</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>35,7</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>35,1</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Середня температура (°C)	П-подібна забудова кварталу ПД-ЗХ	35	П-подібна забудова кварталу ПН-СХ	33,7	Периметральна забудова кварталу	34	Рядкова забудова кварталу	35,7	Точкова забудова кварталу	35,1
Тип забудови	Середня температура (°C)												
П-подібна забудова кварталу ПД-ЗХ	35												
П-подібна забудова кварталу ПН-СХ	33,7												
Периметральна забудова кварталу	34												
Рядкова забудова кварталу	35,7												
Точкова забудова кварталу	35,1												
ПН-ЗХ, ПД-СХ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Середня температура (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПД-СХ</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПН-ЗХ</td> <td>33,7</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>34</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>35,7</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>35,1</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Середня температура (°C)	П-подібна забудова кварталу ПД-СХ	35	П-подібна забудова кварталу ПН-ЗХ	33,7	Периметральна забудова кварталу	34	Рядкова забудова кварталу	35,7	Точкова забудова кварталу	35,1
Тип забудови	Середня температура (°C)												
П-подібна забудова кварталу ПД-СХ	35												
П-подібна забудова кварталу ПН-ЗХ	33,7												
Периметральна забудова кварталу	34												
Рядкова забудова кварталу	35,7												
Точкова забудова кварталу	35,1												
ПД, ПН	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Середня температура (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПД</td> <td>34,2</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПН</td> <td>32,6</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>33,3</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>34,3</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>34,8</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Середня температура (°C)	П-подібна забудова кварталу ПД	34,2	П-подібна забудова кварталу ПН	32,6	Периметральна забудова кварталу	33,3	Рядкова забудова кварталу	34,3	Точкова забудова кварталу	34,8
Тип забудови	Середня температура (°C)												
П-подібна забудова кварталу ПД	34,2												
П-подібна забудова кварталу ПН	32,6												
Периметральна забудова кварталу	33,3												
Рядкова забудова кварталу	34,3												
Точкова забудова кварталу	34,8												

ДОДАТОК Г
СЕРЕДНІЙ ВІДСОТОК ЗАТІНЕННЯ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ
ТИПОВИХ РІШЕНЬ РОЗПЛАНУВАННЯ ЖИТЛОВОГО КВАРТАЛУ
ВПРОДОВЖ ДНЯ У ЛИПНІ 2021 р.

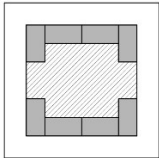
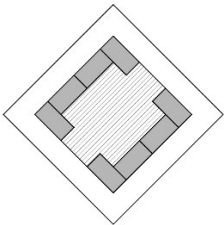
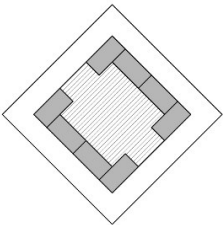
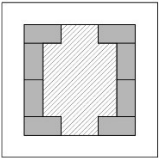
ТОЧКОВА 16-ПОВЕРХОВА ЗАБУДОВА

Площа поверхні (м ²)		7770							
Орієнтація забудови		СХ, ЗХ		ПН-СХ, ПД-ЗХ		ПН-ЗХ, ПД-СХ		ПН, ПД	
									
Показник		(м ²)	(%)	(м ²)	(%)	(м ²)	(%)	(м ²)	(%)
Розрахунковий період (h)	06:00	1290	16,6	2602	33,5	3320	42,7	3910	50,3
	07:00	846	10,9	2856	36,8	2789	35,9	4090	52,6
	08:00	1064	13,7	2516	32,4	1793	23,1	3468	44,6
	09:00	4228	54,4	2405	31,0	1612	20,7	2461	31,7
	10:00	1426	18,4	1986	25,6	880	11,3	1740	22,4
	11:00	1512	19,5	1469	18,9	880	11,3	1112	14,3
	12:00	1568	20,2	1040	13,4	1256	16,2	703	9,0
	13:00	1490	19,2	663	8,5	1710	22,0	1092	14,1
	14:00	1405	18,1	788	10,1	2127	27,4	1692	21,8
	15:00	1385	17,8	1350	17,4	2601	33,5	2500	32,2
	16:00	1129	14,5	2025	26,1	2853	36,7	3529	45,4
	17:00	879	11,3	3295	42,4	3100	39,9	4020	51,7
	18:00	1319	17,0	3490	44,9	2897	37,3	4165	53,6
	19:00	2189	28,2	4240	54,6	2577	33,2	4464	57,5
	20:00	3151	40,6	4671	60,1	2210	28,4	4419	56,9
	μ (%)	21,3		30,4		28,0		37,2	

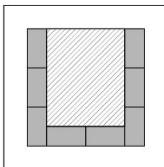
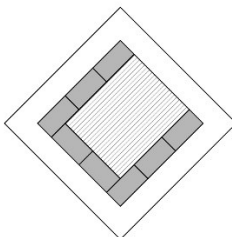
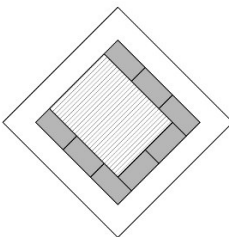
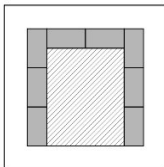
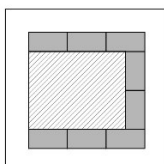
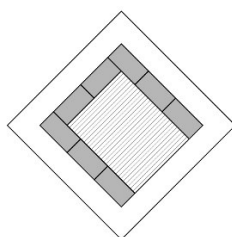
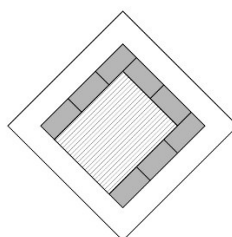
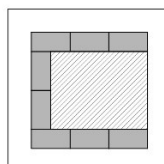
РЯДКОВА 9- ПОВЕРХОВА ЗАБУДОВА

Площа поверхні (m^2)		6656							
Орієнтація забудови		СХ, ЗХ		ПН-СХ, ПД-ЗХ		ПН-ЗХ, ПД-СХ		ПН, ПД	
									
Показник		(m^2)	(%)	(m^2)	(%)	(m^2)	(%)	(m^2)	(%)
Розрахунковий період (h)	06:00	700	10,5	2760	41,5	5010	75,3	5942	89,3
	07:00	160	2,4	3189	47,9	2967	44,6	5618	84,4
	08:00	428	6,4	2960	44,5	1580	23,7	3709	55,7
	09:00	1025	15,4	2622	39,4	690	10,4	2460	37,0
	10:00	1402	21,1	2122	31,9	100	1,5	1340	20,1
	11:00	1586	23,8	1700	25,5	360	5,4	540	8,1
	12:00	1750	26,3	983	14,8	1050	15,8	100	1,5
	13:00	1626	24,4	408	6,1	1632	24,5	540	8,1
	14:00	1382	20,8	100	1,5	2349	35,3	1340	20,1
	15:00	1050	15,8	587	8,8	2689	40,4	2460	37,0
	16:00	480	7,2	1620	24,3	3004	45,1	3709	55,7
	17:00	100	1,5	2948	44,3	3176	47,7	5618	84,4
	18:00	502	7,5	4910	73,8	2796	42,0	5941	89,3
	19:00	1578	23,7	5550	83,4	1983	29,8	5900	88,6
	20:00	2773	41,7	6010	90,3	1453	21,8	5900	88,6
	μ (%)	16,6		38,5		30,9		51,2	

ПЕРИМЕТРАЛЬНА 9-ПОВЕРХОВА ЗАБУДОВА

Площа поверхні (m^2)		5550							
Орієнтація забудови		СХ, ЗХ	ПН-СХ, ПД-ЗХ		ПН-ЗХ, ПД-СХ		ПН, ПД		
									
Показник		(m^2)	(%)	(m^2)	(%)	(m^2)	(%)	(m^2)	(%)
Розрахунковий період (h)	06:00	2060	37,1	3619	65,2	4877	87,9	5370	96,8
	07:00	1530	27,6	3427	61,7	3256	58,7	4689	84,5
	08:00	1294	23,3	2945	53,1	1910	34,4	3351	60,4
	09:00	1415	25,5	2437	43,9	1139	20,5	2269	40,9
	10:00	1508	27,2	1964	35,4	628	11,3	1420	25,6
	11:00	1585	28,6	1469	26,5	640	11,5	766	13,8
	12:00	1625	29,3	1013	18,3	1057	19,0	518	9,3
	13:00	1575	28,4	555	10,0	1486	26,8	791	14,3
	14:00	1503	27,1	622	11,2	1913	34,5	1415	25,5
	15:00	1422	25,6	1143	20,6	2514	45,3	2242	40,4
	16:00	1316	23,7	1901	34,3	3000	54,1	3346	60,3
	17:00	1501	27,0	3243	58,4	3458	62,3	4625	83,3
	18:00	2099	37,8	4929	88,8	3634	65,5	5385	97,0
	19:00	3027	54,5	5277	95,1	2802	50,5	5385	97,0
	20:00	3848	69,3	5401	97,3	2974	53,6	5385	97,0
	μ (%)	32,8		48,0		42,4		56,4	

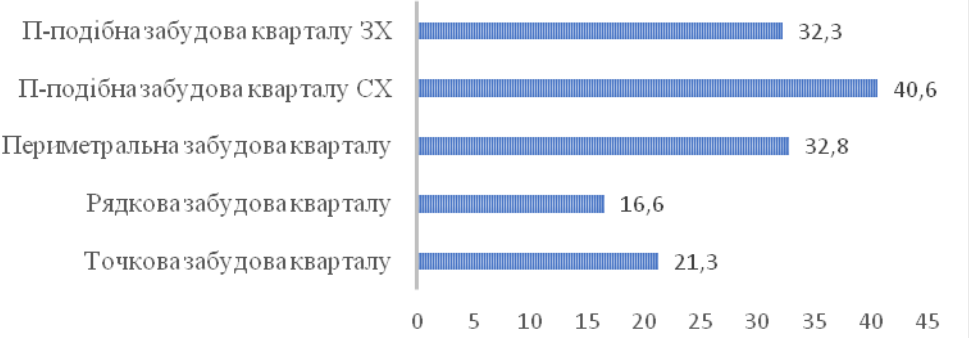
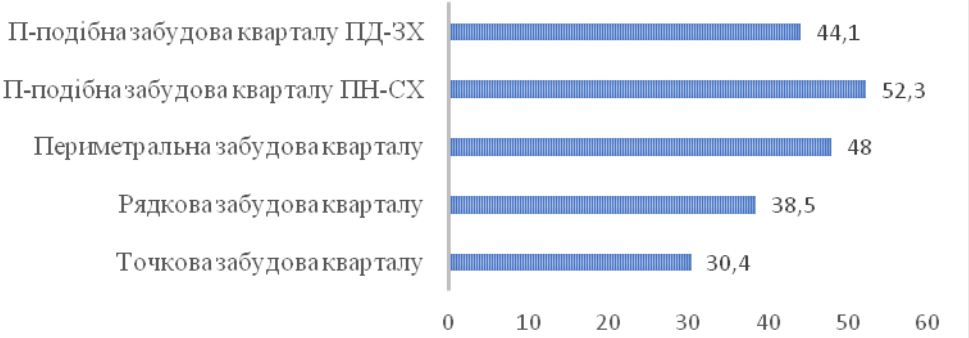
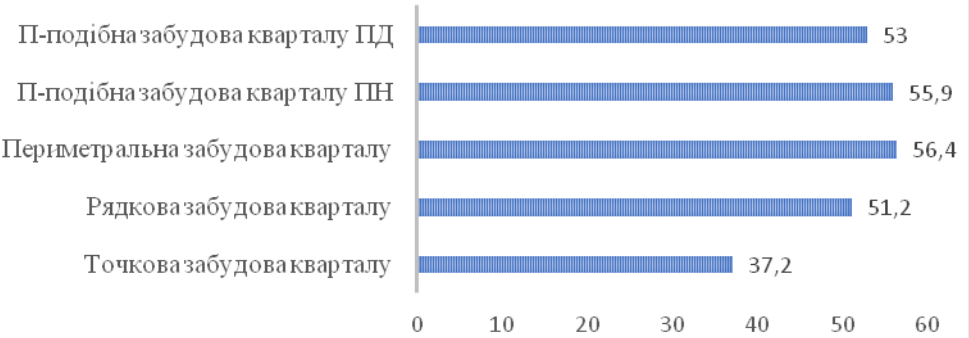
П-ПОДІБНА 9-ПОВЕРХОВА ЗАБУДОВА

Площа поверхні (м ²)		5550							
Орієнтація забудови		ПН		ПН-СХ		ПН-ЗХ		ПД	
									
Показник		(м ²)	(%)	(м ²)	(%)	(м ²)	(%)	(м ²)	(%)
Розрахунковий період (h)	06:00	4907	88,4	2000	36,0	5550	100,0	5550	100,0
	07:00	4599	82,9	2462	44,4	4336	78,1	4560	82,2
	08:00	3418	61,6	2373	42,8	3152	56,8	2950	53,2
	09:00	2587	46,6	2168	39,1	2234	40,3	1900	34,2
	10:00	1974	35,6	1814	32,7	1879	33,9	1130	20,4
	11:00	1504	27,1	1608	29,0	1403	25,3	390	7,0
	12:00	1250	22,5	1464	26,4	1526	27,5	100	1,8
	13:00	1616	29,1	1351	24,3	1620	29,2	390	7,0
	14:00	1950	35,1	1497	27,0	1840	33,2	1130	20,4
	15:00	2597	46,8	2485	44,8	2130	38,4	1900	34,2
	16:00	3418	61,6	3226	58,1	2375	42,8	2950	53,2
	17:00	4514	81,3	4422	79,7	2448	44,1	4560	82,2
	18:00	4910	88,5	5550	100,0	1920	34,6	5550	100,0
	19:00	4500	81,1	5550	100,0	1260	22,7	5550	100,0
	20:00	2773	50,0	5550	100,0	1000	18,0	5550	100,0
μ (%)		55,9		52,3		41,6		53,0	
Площа поверхні (м ²)		5550							
Орієнтація забудови		ЗХ		ПД-СХ		ПД-ЗХ		СХ	
									
Показник		(м ²)	(%)	(м ²)	(%)	(м ²)	(%)	(м ²)	(%)
КОВИ й	06:00	5550	100,0	3800	68,5	5380	96,9	400	7,2
	07:00	4000	72,1	2240	40,4	4350	78,4	50	0,9

08:00	2782	50,1	1230	22,2	3480	62,7	250	4,5
09:00	2327	41,9	440	7,9	2480	44,7	750	13,5
10:00	1998	36,0	100	1,8	1780	32,1	1100	19,8
11:00	1646	29,7	200	3,6	1270	22,9	1300	23,4
12:00	1478	26,6	750	13,5	770	13,9	1500	27,0
13:00	1345	24,2	1250	22,5	170	3,1	1650	29,7
14:00	1118	20,1	1800	32,4	30	0,5	2000	36,0
15:00	770	13,9	2500	45,0	400	7,2	2270	40,9
16:00	300	5,4	3470	62,5	1130	20,4	2770	49,9
17:00	100	1,8	4330	78,0	2250	40,5	3700	66,7
18:00	440	7,9	5360	96,6	3880	69,9	5000	90,1
19:00	1100	19,8	5550	100,0	4410	79,5	5550	100,0
20:00	1900	34,2	5550	100,0	4920	88,6	5550	100,0
μ (%)	32,3		46,3		44,1		40,6	

ДОДАТОК Д

ПОРІВНЯННЯ СЕРЕДНЬОГО ВІДСОТКА ЗАТІНЕННЯ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ПОДВІР'Я ТИПОВИХ РІШЕНЬ ЗАБУДОВИ КВАРТАЛУ

Орієнтація кварталу відносно сторін світу	Відсоток затінення												
СХ, ЗХ	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Відсоток затінення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ЗХ</td> <td>32,3</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу СХ</td> <td>40,6</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>32,8</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>16,6</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>21,3</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Відсоток затінення	П-подібна забудова кварталу ЗХ	32,3	П-подібна забудова кварталу СХ	40,6	Периметральна забудова кварталу	32,8	Рядкова забудова кварталу	16,6	Точкова забудова кварталу	21,3
Тип забудови	Відсоток затінення												
П-подібна забудова кварталу ЗХ	32,3												
П-подібна забудова кварталу СХ	40,6												
Периметральна забудова кварталу	32,8												
Рядкова забудова кварталу	16,6												
Точкова забудова кварталу	21,3												
ПН-СХ, ПД-ЗХ	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Відсоток затінення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПД-ЗХ</td> <td>44,1</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПН-СХ</td> <td>52,3</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>38,5</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>30,4</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Відсоток затінення	П-подібна забудова кварталу ПД-ЗХ	44,1	П-подібна забудова кварталу ПН-СХ	52,3	Периметральна забудова кварталу	48	Рядкова забудова кварталу	38,5	Точкова забудова кварталу	30,4
Тип забудови	Відсоток затінення												
П-подібна забудова кварталу ПД-ЗХ	44,1												
П-подібна забудова кварталу ПН-СХ	52,3												
Периметральна забудова кварталу	48												
Рядкова забудова кварталу	38,5												
Точкова забудова кварталу	30,4												
ПН-ЗХ, ПД-СХ	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Відсоток затінення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПД-СХ</td> <td>46,3</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПН-ЗХ</td> <td>41,6</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>42,4</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>30,9</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>28</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Відсоток затінення	П-подібна забудова кварталу ПД-СХ	46,3	П-подібна забудова кварталу ПН-ЗХ	41,6	Периметральна забудова кварталу	42,4	Рядкова забудова кварталу	30,9	Точкова забудова кварталу	28
Тип забудови	Відсоток затінення												
П-подібна забудова кварталу ПД-СХ	46,3												
П-подібна забудова кварталу ПН-ЗХ	41,6												
Периметральна забудова кварталу	42,4												
Рядкова забудова кварталу	30,9												
Точкова забудова кварталу	28												
ПД, ПН	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип забудови</th> <th>Відсоток затінення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПД</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>П-подібна забудова кварталу ПН</td> <td>55,9</td> </tr> <tr> <td>Периметральна забудова кварталу</td> <td>56,4</td> </tr> <tr> <td>Рядкова забудова кварталу</td> <td>51,2</td> </tr> <tr> <td>Точкова забудова кварталу</td> <td>37,2</td> </tr> </tbody> </table>	Тип забудови	Відсоток затінення	П-подібна забудова кварталу ПД	53	П-подібна забудова кварталу ПН	55,9	Периметральна забудова кварталу	56,4	Рядкова забудова кварталу	51,2	Точкова забудова кварталу	37,2
Тип забудови	Відсоток затінення												
П-подібна забудова кварталу ПД	53												
П-подібна забудова кварталу ПН	55,9												
Периметральна забудова кварталу	56,4												
Рядкова забудова кварталу	51,2												
Точкова забудова кварталу	37,2												

ДОДАТОК Е

**СЕРЕДНЯ КІЛЬКІСТЬ ПОТРАПЛЯННЯ ПРЯМОЇ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ
НА ПІДСТИЛЬНУ ПОВЕРХНЮ ДВОРУ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ
РІШЕНЬ ЗАБУДОВИ КВАРТАЛУ ВІДНОСНО СТОРІН СВІТУ ВПРОДОВЖ
СВІТЛОВОГО ДНЯ У ЛИПНІ 2021 р.**

АСИМЕТРИЧНЕ 9-ТИ ПОВЕРХОВЕ РОЗПЛАНУВАННЯ КВАРТАЛУ

ПН-3Х					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч / m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч / m^2$)
1		6090	369	2247210	
2		5413	523	2830999	
3		4736	1136	5380096	
4		4060	1023	4153380	
5		3383	1054	3565682	
6		2706	481	1301586	
7		2030	298	604940	
8		1353	361	488433	
9		677	337	228149	
10		0	0	0	
Загалом			5582	20800475	3726
ПД-СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч / m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч / m^2$)
1		6162	742	4572204	
2		5477	960	5257920	
3		4793	842	4035706	
4		4108	565	2321020	
5		3423	491	1680693	
6		2739	596	1632444	
7		2054	714	1466556	

8		1369	245	335405	
9		685	430	294550	
10		0	0	0	
Загалом			5585	21596498	3867
ПН-СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Вт \cdot ч / м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Вт \cdot ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Вт \cdot ч / м^2$)
1		6134	420	2576280	
2		5452	538	2933176	
3		4771	802	3826342	
4		4089	1304	5332056	
5		3408	1041	3547728	
6		2726	696	1897296	
7		2045	325	664625	
8		1363	262	357106	
9		682	197	134354	
10		0	0	0	
Загалом			5585	21268963	3808
ПД-ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Вт \cdot ч / м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Вт \cdot ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Вт \cdot ч / м^2$)
1		6192	514	3182688	
2		5533	816	4514928	
3		4875	917	4470375	
4		4216	808	3406528	
5		3558	746	2654268	
6		2900	626	1815400	
7		2241	697	1561977	
8		1583	213	337179	
9		924	248	229152	
10		266	0	0	
Загалом			5585	22172495	3970
ЗХ					

№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		6172	429	2647788	
2		5486	964	5288504	
3		4800	1085	5208000	
4		4115	822	3382530	
5		3429	612	2098548	
6		2743	479	1313897	
7		2057	382	785774	
8		1372	250	343000	
9		686	562	385532	
10		0	0	0	
Загалом			5585	21453573	3841
ПД					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		6236	771	4807956	
2		5543	689	3819127	
3		4850	740	3589000	
4		4158	864	3592512	
5		3465	784	2716560	
6		2772	826	2289672	
7		2079	586	1218294	
8		1386	125	173250	
9		693	200	138600	
10		0	0	0	
Загалом			5585	22344971	4001
ПН					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		5688	30	170640	
2		5177	342	1770534	

3		4666	1045	4875970	
4		4155	1040	4321200	
5		3644	884	3221296	
6		3134	903	2830002	
7		2623	671	1760033	
8		2112	547	1155264	
9		1601	123	196923	
10		1090	0	0	
Загалом			5585	20301862	3635
СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Вт \cdot ч / м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Вт \cdot ч / добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Вт \cdot ч / м^2$)
1		5342	193	1031006	
2		4859	494	2400346	
3		4375	1046	4576250	
4		3891	1017	3957147	
5		3407	969	3301383	
6		2923	746	2180558	
7		2439	608	1482912	
8		1955	493	963815	
9		1472	19	27968	
10		988	0	0	
Загалом			5585	19921385	3567

**9-ПОВЕРХОВЕ РОЗПЛАНУВАННЯ КВАРТАЛУ,
ПОДІБНЕ ДО ГЕОМЕТРІЇ ПРИРОДНОГО КАНЬЙОНУ**

Орієнтація подвір'я ПН-СХ, ПД-ЗХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u/m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я ($Bm \cdot u/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u/m^2$)
1		6162	520	3204240	
2		5477	728	3987256	
3		4792	800	3833600	
4		4108	740	3039920	
5		3423	696	2382408	
6		2739	598	1637922	
7		2054	732	1503528	
8		1369	440	602360	
9		685	331	226735	
10		0	0	0	
Загалом			5585	20417969	3656
Орієнтація подвір'я ПН-ЗХ, ПД-СХ					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot u/m^2$)	Площа поверхні подвір'я (m^2)	Пряма сонячна радіація на зоні подвір'я ($Bm \cdot u/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot u/m^2$)
1		5970	219	1307430	
2		5306	300	1591800	
3		4643	780	3621540	
4		3980	1371	5456580	
5		3317	968	3210856	
6		2653	1010	2679530	
7		1990	420	835800	
8		1327	297	394119	
9		663	220	145860	
10		0	0	0	
Загалом			5585	19243515	3446
Орієнтація подвір'я СХ, ЗХ					

№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		6236	634	3953624	
2		5543	687	3808041	
3		4850	714	3462900	
4		4158	770	3201660	
5		3465	776	2688840	
6		2772	586	1624392	
7		2079	470	977130	
8		1386	223	309078	
9		693	725	502425	
10		0	0	0	
Загалом			5585	20528090	3676
Орієнтація подвір'я ПН, ПД					
№	Колір зони	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я за розрахунком Townscope ($Bm \cdot ч/м^2$)	Площа поверхні подвір'я ($м^2$)	Пряма сонячна радіація на зони подвір'я ($Bm \cdot ч/добу$)	Середнє значення прямої сонячної радіації ($Bm \cdot ч/м^2$)
1		5393	198	1067814	
2		4815	350	1685250	
3		4238	1025	4343950	
4		3661	1230	4503030	
5		3083	1190	3668770	
6		2506	870	2180220	
7		1928	580	1118240	
8		1351	132	178332	
9		774	10	7740	
10		196	0	0	
Загалом			5585	18753346	3358

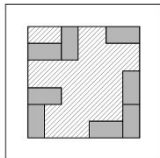
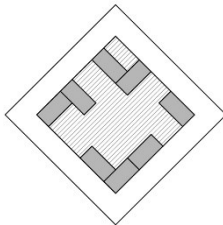
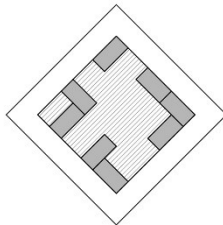
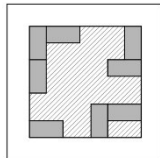
ДОДАТОК Ж

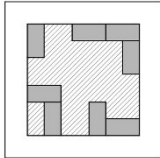
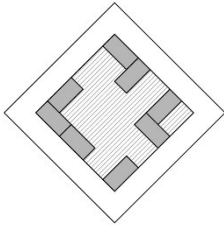
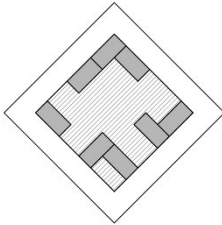
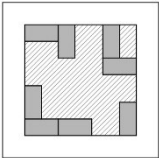
СЕРЕДНІЙ ВІДСОТОК ЗАТІНЕННЯ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ДЛЯ

АЛЬТЕРНАТИВНИХ РІШЕНЬ РОЗПЛАНУВАННЯ ЖИТЛОВОГО

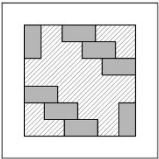
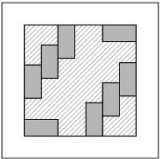
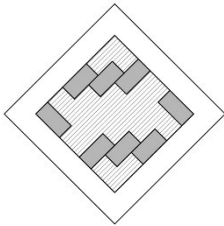
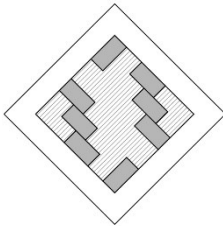
КВАРТАЛУ УПРОДОВЖ ДНЯ У ЛИПНІ 2021 р

АСИМЕТРИЧНЕ 9-ПОВЕРХОВЕ РОЗПЛАНУВАННЯ КВАРТАЛУ

Площа поверхні (кв.м)		5550							
Орієнтація забудови		ПН		ПН-СХ		ПН-3Х		ПД	
									
Показник		(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)
Розрахунковий період (h)	06:00	3946	71,1	4770	85,9	4864	87,6	3770	67,9
	07:00	3830	69,0	3800	68,5	4614	83,1	3375	60,8
	08:00	3560	64,1	3230	58,2	3789	68,3	3226	58,1
	09:00	2994	53,9	2673	48,2	2788	50,2	2830	51,0
	10:00	2556	46,1	1961	35,3	2052	37,0	2370	42,7
	11:00	2100	37,8	1995	35,9	1966	35,4	1950	35,1
	12:00	1690	30,5	2091	37,7	1839	33,1	1455	26,2
	13:00	1966	35,4	2089	37,6	1721	31,0	1886	34,0
	14:00	2221	40,0	2025	36,5	1795	32,3	2266	40,8
	15:00	2480	44,7	2450	44,1	2701	48,7	2676	48,2
	16:00	2910	52,4	2844	51,2	3755	67,7	3237	58,3
	17:00	3255	58,6	3523	63,5	4415	79,5	3872	69,8
	18:00	3880	69,9	4450	80,2	4455	80,3	4637	83,5
	19:00	4166	75,1	4607	83,0	4131	74,4	4722	85,1
	20:00	4489	80,9	4050	73,0	3755	67,7	4775	86,0
μ (%)		55,3		55,9		58,4		56,5	

Площа поверхні (кв.м)		5550							
Орієнтація забудови		ЗХ		ПД-СХ		ПД-ЗХ		СХ	
									
Показник		(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)
Розрахунковий період (h)	06:00	4186	75,4	4707	84,8	3283	59,2	3656	65,9
	07:00	3213	57,9	4413	79,5	3427	61,7	3103	55,9
	08:00	2670	48,1	3589	64,7	3060	55,1	2809	50,6
	09:00	2521	45,4	2715	48,9	2420	43,6	2555	46,0
	10:00	2242	40,4	2051	37,0	1627	29,3	2250	40,5
	11:00	1746	31,5	1862	33,5	1726	31,1	1901	34,3
	12:00	1231	22,2	1782	32,1	1820	32,8	1465	26,4
	13:00	1845	33,2	1853	33,4	1886	34,0	2065	37,2
	14:00	2412	43,5	2124	38,3	1957	35,3	2650	47,7
	15:00	2820	50,8	3018	54,4	2529	45,6	2880	51,9
	16:00	2985	53,8	3844	69,3	3167	57,1	3020	54,4
	17:00	3176	57,2	4516	81,4	3862	69,6	3220	58,0
	18:00	3740	67,4	4690	84,5	4342	78,2	3250	58,6
	19:00	4062	73,2	4597	82,8	4310	77,7	3030	54,6
	20:00	4572	82,4	4275	77,0	3938	71,0	3109	56,0
μ (%)		52,2		60,1		52,1		49,2	

9-ТИ ПОВЕРХОВЕ РОЗПЛАНУВАННЯ КВАРТАЛУ ПОДІБНЕ ДО ГЕОМЕТРІЇ ПРИРОДНОГО КАНЬОНУ

Площа поверхні (кв.м)		5585							
Орієнтація забудови		ПН-ЗХ, ПД-СХ	ПН-СХ, ПД- ЗХ		СХ, ЗХ		ПН, ПД		
									
Показник		(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)	(кв.м)	(%)
Розрахунковий період (h)	06:00	3700	66,2	3970	71,1	4210	75,4	4480	80,2
	07:00	3100	55,5	4000	71,6	3540	63,4	4400	78,8
	08:00	2750	49,2	3730	66,8	3040	54,4	3850	68,9
	09:00	2370	42,4	3470	62,1	2720	48,7	2970	53,2
	10:00	2070	37,1	2930	52,5	2440	43,7	2200	39,4
	11:00	1820	32,6	2300	41,2	2340	41,9	2000	35,8
	12:00	1917	34,3	1710	30,6	2310	41,4	1900	34,0
	13:00	2420	43,3	2010	36,0	2230	39,9	2000	35,8
	14:00	2938	52,6	2290	41,0	2140	38,3	2600	46,6
	15:00	3150	56,4	2720	48,7	2520	45,1	3450	61,8
	16:00	3290	58,9	3430	61,4	2840	50,9	4300	77,0
	17:00	3100	55,5	4040	72,3	3390	60,7	4400	78,8
	18:00	3200	57,3	4230	75,7	3760	67,3	4150	74,3
	19:00	3560	63,7	4360	78,1	3930	70,4	4020	72,0
	20:00	3970	71,1	4480	80,2	3950	70,7	3850	68,9
μ (%)		51,8		59,3		54,1		60,4	

ДОДАТОК І

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Довідка

**щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження
Святогорова Іллі Олеговича «Геометрична оптимізація квартальної
житлової забудови для зменшення ефекту міського теплового острова»**

Отримані в дисертаційній роботі Святогорова І.О. наукові результати в частині зменшення нагрівання поверхонь дворового простору, а саме – запропонованої автором альтернативної схеми розпланування житлових кварталів за різною орієнтацією відносно сторін світу та розрахунку кількості прямої сонячної радіації, що потрапляє на підстильну поверхню внутрішнього двору, передані для впровадження та можуть бути застосовані при проектування адміністративного корпусу та виробничих споруд на засадах зеленого будівництва.

На відміну від типової та однорідної планувальної структури, характерної для регулярної забудови, рельєфно-орієнтована композиція формує різноманітність просторових умов. Це дозволяє цілеспрямовано розміщувати майданчики для техніки, житлових фургонів для тимчасового проживання співробітників, транспортні проїзди та місця для відпочинку у найбільш сприятливих мікрокліматичних зонах, що наочно підтверджується виконаним автором дослідженням.

Голова ФГ “Енергія-1”



Петро ЛІВИЙ

Довідка

щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження
Святогорова Іллі Олеговича

«Геометрична оптимізація квартальної житлової забудови для зменшення ефекту
міського теплового острова»

Отримані результати дисертаційної роботи Святогорова І.О. в частині рішення квартальної забудови з метою зменшення перегріву поверхонь внутрішнього дворового простору внаслідок глобальних кліматичних змін та теплових ризиків для здоров'я населення передано для апробації з метою обмеження надходження сонячної радіації крізь світлопрозорі огорожувальні конструкції.

Даний підхід адаптовано для умов першої кліматичної зони України на прикладі м. Києва на підставі багаторічних середньомісячних моніторингових даних за липень місяць.

Результати роботи, що базуються на взаємопов'язаних наявних математичних і статистичних моделях, програмних продуктах і даних наявних систем спостережень дозволять прогнозувати зміни теплового режиму прибудинкової території та опроміненість приміщень крізь світлопрозорі огороження в спекотні місяці року ще на передпроектній стадії та призначати сучасні інноваційні технологічні схеми захисту населення та адаптації будівельної галузі в рамках глобальних кліматичних змін.

ФОП

Кожевніков С.В.

