

УДК 721.01

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.03011>**Ілля Святогорів,**

аспірант кафедри Технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці,  
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,  
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2793-1520>E-mail: [tall.arh@gmail.com](mailto:tall.arh@gmail.com)**ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ТЕРИТОРІЇ ВНУТРІШНЬОГО ДВОРУ СЕКЦІЙНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЙОГО ОРІЄНТАЦІЇ**

**АНОТАЦІЯ.** В умовах підвищення середньорічних температур мешканці міст стикаються з проблемою значного нагрівання міських поверхонь, які зазнають вплив прямої сонячної радіації. Цей процес безпосередньо впливає на мікроклімат, як всієї міської забудови, так і окремо взятих прибудинкових територій. Важливу роль у терморегуляції житлового середовища відіграє затінення поверхонь, що підтверджують численні дослідження з цієї тематики. Впровадження природних методів щодо зменшення температурного режиму стає актуальним у розрізі зниження теплового стресу та загальної економії енергії. У статті на прикладі секційного житлового дев'ятиповерхового будинку П-подібної конфігурації, проведено дослідження залежності відсотка затінення і кількості потрапляння прямої сонячної радіації на територію двору щодо його орієнтації за сторонами світу. Розрахунок проводили для ясного дня липня 2021 року, коли середня місячна температура складала 24,6 °C за даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського. Із розрахунку викреслили вплив оточуючої забудови і зелених насаджень. Кількість потрапляння прямої сонячної радіації на кв.м. поверхні пораховано за допомогою спеціалізованої програми Townscope. На базі отриманих результатів побудовані графіки попадання загальної кількості прямої сонячної радіації на поверхні в розрахунковий період часу з 6:00 до 18:00 для різних орієнтацій дворового простору. Також обчислено відсоток затінення від загальної площі розрахункових поверхонь. Для кожної розрахункової поверхні створено зведені таблиці даних. Підсумкові результати мають рекомендаційний характер для проєктних організацій при визначенні оптимального розпланувального рішення на стадії передпроєктних розробок. Такий екологоорієнтований підхід, закладений в основу проєктних робіт, здатний поліпшити умови життя в міських поселеннях, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та зробити міста більш стійкими до змін клімату.

**Ключові слова:** сонячна радіація, кліматичні зміни, орієнтація будинків, нагрівання поверхонь, затінення поверхонь.

**THERMAL REGIME OF THE TERRITORY OF THE COURTYARD OF A SECTIONAL RESIDENTIAL BUILDING DEPENDING ON ITS ORIENTATION**

**ABSTRACT.** As average annual temperatures rise, residents of urban areas face the problem of significant heating of urban surfaces exposed to direct solar radiation. This process has a direct impact on the microclimate of both the entire urban area and individual adjacent territories. Shading of surfaces plays an important role in the thermoregulation of the living environment, which is confirmed by numerous studies on this topic. The introduction of natural methods to reduce the temperature regime is becoming relevant in terms of reducing heat stress and overall energy savings. In this paper, using the example of a sectional residential building of a U-shaped configuration with nine floors, we study the dependence of the percentage of shading and the amount of direct solar radiation entering the courtyard on its orientation to the cardinal points. The calculation was performed for a clear day on July 21, when the average monthly temperature was 24.6 °C according to the Boris Sreznevsky Central Geophysical Observatory. The calculation excluded the influence of surrounding buildings and green spaces. The amount of direct solar radiation per square meter of surface was calculated using the specialized Townscope program. Based on the results obtained, graphs of the total amount of direct solar radiation on the surface during the calculated period from 6:00 to 18:00 for different orientations of the courtyard space were built. The percentage of shading of the total area of the design surfaces was also calculated. Summary data tables were created for each design surface. The final results are of a recommendatory nature for design organizations in determining the optimal planning solution at the pre-design stage. Such an environmentally friendly approach, which is the basis of design work, can improve living conditions in urban settlements, reduce the negative impact on the environment, and make cities more resilient to climate change.

**Keywords:** *Solar radiation, climate change, building orientation, surface heating, surface shading.*

**1. Вступ.** Наразі світова архітектурна практика базується на положенні, що стан довкілля має безпосередній вплив на якість життя людини. Пасивні системи контролю мікроклімату, які використовують природні процеси для регулювання теплового режиму та відмова від джерел енергії, що забруднюють довкілля, стають основою безпечного і здорового міського середовища [1,2].

Традиційний процес проектування багатоквартирних житлових будинків на стадії розміщення архітектурних об'єктів на генеральному плані спирається значною мірою на конфігурацію відведених ділянок під забудову та композиційно-просторові рішення. Така ситуація зумовлена жорсткими умовами щільної міської забудови, коли необхідно вписати новий архітектурний об'єкт в наявну містобудівну історію. Виходячи з цього, сучасні стратегії, які спрямовані на створення енергоефективної архітектури, зазвичай обмежуються використанням спеціалізованих матеріалів оздоблення фасадів із високою відбивною здатністю сонячної радіації або матеріалів з високою абсорбцією для максимального поглинання тепла, у залежності від поставлених завдань і кліматичних умов будівництва [3]. Періодично проводяться оцінки впливу вертикального озеленення фасадів на температуру повітря в міських районах у різні часи доби та сезони [4,]. Проте, під час планування нових міських поселень, на ділянках, які не мають жорстких обмежень, слід враховувати ще один фактор: оптимальне положення геометрії житлових будинків мікрорайону щодо сторін світу. Даний метод дозволяє оптимізувати управління сонячною енергією, зменшуючи негативний вплив перегріву поверхонь фасадів на мікроклімат мікрорайону в піковий літний період та сприяє створенню більш комфортного та енергоефективного середовища як усередині будівлі, так і на прилеглих територіях [5–7].

На сьогодні наукові дослідження теплового режиму міст зосереджені насамперед на вивченні різниці температур між міськими та сільськими поселеннями, впливу кількості озеленення на мікроклімат урбанізованих територій, а також – впливу значної кількості кам'яних поверхонь на формування міського острова тепла [8,9]. Окремим осередком є низка робіт, що фокусуються на вивченні сонячного довгохвильового обміну між будівлями і навколишнім середовищем на рівні невеликих житлових утворень [10,11]. За результатами таких досліджень було доведено, що зовнішні поверхні стін і дахів поглинають частину сонячної радіації, а потім повертають у навколишній простір довгохвильове випромінювання. Тобто кількість сумарної сонячної радіації, що сприймають фасади будівель під час експлуатації, безпосередньо впливає на температурний режим простору мікрорайону в цілому. Значні за площею поверхні фасадів будинків, які мають південну орієнтацію, в періоди тривалої сонячної активності накопичують більше тепла. Останнє призводить до підвищеного теплового випромінювання цих поверхонь, що в свою чергу збільшує температуру повітря прилеглих територій [12].

Сонячна радіація, яка поглинається вертикальною поверхню фасаду, і, відповідно, нагрівання фасаду безпосередньо залежить від кута падіння сонячних променів на дану поверхню. Чим більш крутий кут падіння прямих сонячних променів на площину, тим менше сонячної енергії поглинається одиницею площі. І навпаки, чим ближче кут падіння прямих сонячних променів до перпендикулярної осі поверхні, тим більше сонячної енергії вона отримує. Така залежність між кутом падіння сонячних променів і кількістю поглиненої сонячної енергії є ключовою для розуміння теплового режиму будівель та їхнього оточення [13].

Найбільш поширеним нині підходом у світовій архітектурній практиці для розуміння механізмів утворення комфортного енергоефективного житлового середовища є аналіз вже сформованого проектного рішення за допомогою сучасних спеціалізованих програм [14,15]. Комп'ютерні моделі дозволяють доволі точно спрогнозувати майбутній мікроклімат прибудинкової території, щоби зробити певні висновки і відповідні корективи проекту щодо можливостей його покращення ще на початку роботи. Деякою мірою, вони являють собою ідеа-

льний інструмент для проєктанта. Однак програми такого типу потребують поступового введення заздалегідь визначених даних: поверховості, площ будинків, площ озеленення та мощення прибудинкової території, інше. Багаторазовий підрахунок техніко-економічних показників за наявності декількох варіантів істотно сповільнює процес проєктування і прийняття остаточних рішень. Нерідко експертний рівень використання програм моделювання мікроклімату вимагає спеціалізованого навчання або курсів підвищення кваліфікації робітників, що не завжди є пріоритетом на етапі розробки передпроектних пропозицій.

**2. Постановка проблеми досліджень.** В Україні тематикою вивчення факторів, які впливають на мікроклімат житлової забудови, займалися ще за часи радянської доби. Основною ціллю проведених досліджень була стандартизація схеми розміщення житлових будинків заради скорочення загальних фінансових витрат за швидкого освоєння нових територій. Також акцент було поставлено на покращенні освітленості та інсоляції житлових кімнат без врахування кліматичних особливостей конкретної місцини. Результати наукових робіт мали характер чітких інструкцій для проєктних організацій, які займалися розробленням генеральних планів міст. Прикладом таких реалізованих містобудівних рішень стала спочатку рядкова (стрічкова) п'ятиповерхова забудова в 1960–1970-х, потім замкнена або напівзамкнена периметральна забудова наприкінці ХХ ст. [16]. Кожна структура мала низку недоліків, що впливало на коефіцієнт енергоефективності будівель під час експлуатації.

Після набуття Україною незалежності, на підставі передових світових тенденцій та появою новітніх матеріалів оздоблення і технологій, було реалізовано багато різнокомпозиційних житлових комплексів. Інсоляційні розрахунки зазвичай лягали в основу розпланувальних рішень і рішень, пов'язаних з висотою цих об'єктів. Попри те, питанню перегріву фасадів у задуманих і вже побудованих об'єктах, на наш погляд, приділено недостатньо уваги.

Існуючі дослідження на цю тему розглядають питання надходження сонячної радіації, нагріву поверхонь і впливу приземного шару на температуру повітря в рамках точкового узагальненого підходу до проблеми [17–21]. Вони також не опрацьовують вищезазначені питання в контексті різних природнокліматичних зон України [22], де кількість прямої сонячної радіації і кількість сонячних днів упродовж року відмінні між собою.

**3. Мета роботи.** Визначити і порівняти відсоток затінення поверхонь і кількість прямої сонячної радіації, що потрапляє на підстилаючу поверхню внутрішнього двору та фасади будинку в залежності від його орієнтації щодо сторін світу для І кліматичної зони України для уникнення теплового стресу та комфортного перебування мешканців на прибудинкових територіях.

**4. Матеріали і методи.** Як майданчик дослідження було обрано типову П-подібну схему забудови 5-секційного 9-поверхового житлового будинку. Загальна площа секцій в плані орієнтовно складає  $550 \text{ м}^2$ . Загальна площа підстилаючої поверхні двору  $2200 \text{ м}^2$ . Параметри поверховості і площі було обрано, спираючись на існуючу тенденцію в будівництві на межі міста Києва та Київської області. Заради уніфікації розрахунків, геометрію секцій вирішено спростити до паралелепіпедів. Окрім цього, дана П-подібна конфігурація блокування секцій створює ефект самозатінення фасадів і часткового затінення внутрішнього двору (рис. 1), що також позитивно впливає на загальну температуру поверхонь. Із розрахунку виключено вплив оточуючої забудови. Підстилаючу поверхню вирішено прийняти вільною від дерев і кущів, щоби виключити вплив непередбачуваної затіненості.

Розрахунки кількості потрапляння прямої сонячної радіації виконані в спеціалізованій програмі Townscope, яку було створено однойменною бельгійською компанією в Університеті Льежа під час здійснення європейського проєкту POLIS. На початку роботи авторами підготовлено відповідну 3Д модель будівлі і експортовано в формат 3ds.

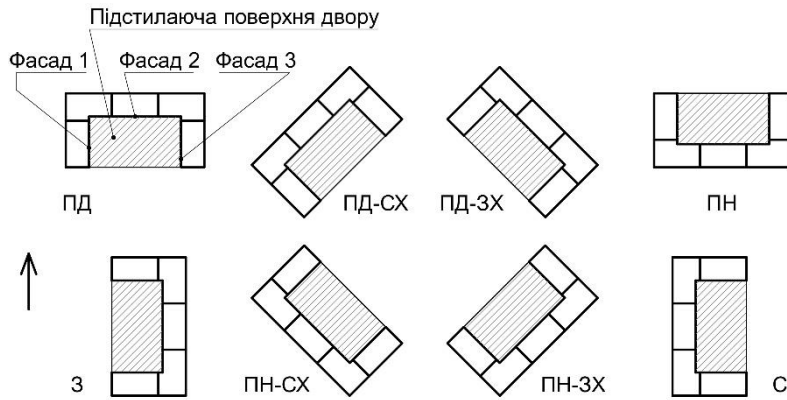


Рис. 1. Схеми розташування будинку і підстилаючої поверхні двору щодо сторін світу  
 Fig. 1. Diagrams of the location of the house and the underlying surface of the yard in relation to the cardinal points

Розрахунки проводилися для міста Києва та Київської області, що відповідає I кліматичній зоні України. Розрахунковий період – липень 2021 року. За даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, середня температура повітря в липні складала 24,6 С°.

На першому етапі за допомогою програми Townscope в проміжок часу з 6:00 по 18:00 було погодинно пораховано кількість потрапляння прямої сонячної радіації ( $Вт/м^2$ ) на фасади внутрішнього двору і підстилаючу поверхню внутрішнього двору (Рис. 2). Також пораховано загальний відсоток затінення ( $R_z$ ) поверхонь у рамках зазначеного часу.

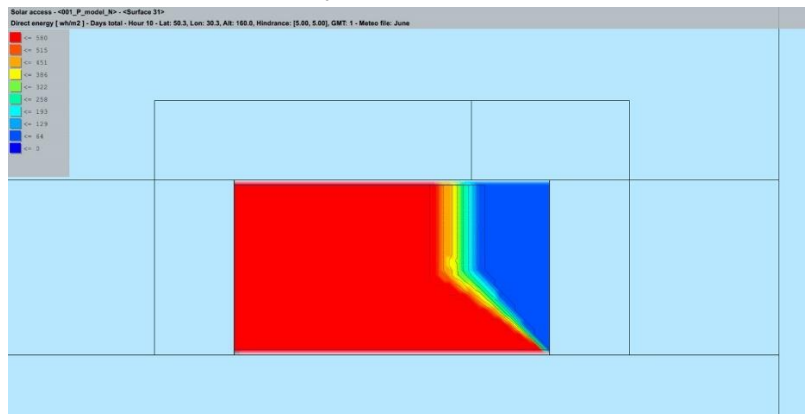


Рис. 2. Кількість потрапляння прямої сонячної радіації на підстилаючу поверхню двору південної орієнтації на 10:00

Fig. 2. The amount of direct solar radiation on the underlying surface of a south-facing yard at 10 am

На другому етапі – було обчислене сумарне значення потрапляння прямої сонячної радіації погодинно на кожну площину, яка досліджується для різних схем орієнтації ( $I_{пр}$ ). Для розрахунку використано формулу (1):

$$I_{пр} = S_{осв} \times I_q, \quad (1)$$

де  $S_{осв}$  ( $м^2$ ) - площа поверхні території, яка зазнає пряму сонячну радіацію в розрахункову годину;  $I_q$  ( $Вт/м^2$ ) - кількість прямої сонячної радіації в розрахункову годину.

На основі отриманих даних, було побудовано графіки, за якими можна наочно прослідкувати сумарний приплив прямої сонячної енергії погодинно на поверхні, що досліджується (Рис. 3).

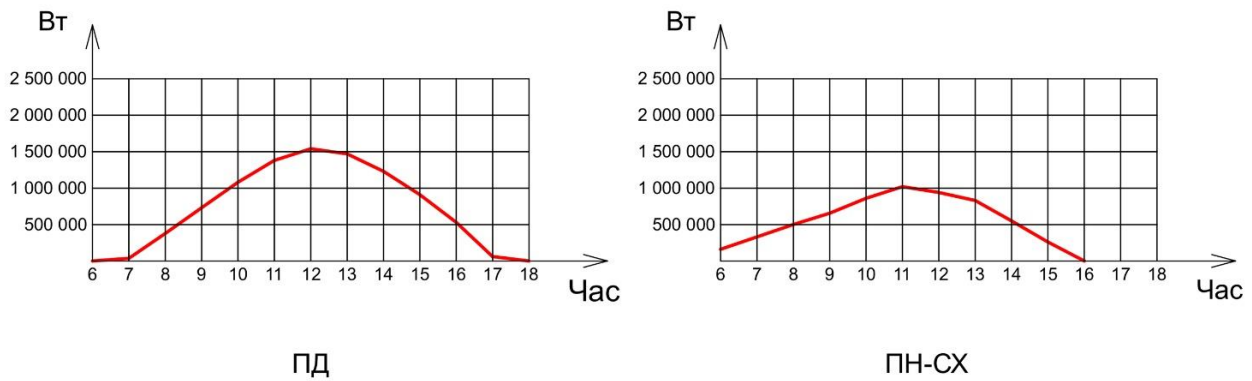


Рис. 3. Графіки погодинної зміни сумарної кількості прямої сонячної радіації  
 Fig. 3. Graphs of hourly changes in the total amount of direct solar radiation

Отримані результати для поверхні внутрішнього двору, фасаду 1, фасаду 2 і фасаду 3 обчислено і оформлено в таблиці. Приклад представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Кількість прямої сонячної радіації і відсоток затінення підстилаючої поверхні двору відносно сторін світу.

Table 1: The amount of direct solar radiation and the percentage of shading of the underlying surface of the yard in relation to the cardinal points.

Орієнтація	Показник	Розрахунковий час (год)												
		06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ПД	Тінь (м <sup>2</sup> )	2200	1750	1050	630	340	110	0	110	340	630	1050	1750	2200
	Тінь (%)	100	79,5	47,7	28,6	15,5	5,0	0	5,0	15,5	28,6	47,7	79,5	100
	Пряма СР Вт/м <sup>2</sup>	0	81	328	465	580	661	702	702	662	580	464	128	0
ПД-СХ	Тінь (кв.м)	760	510	300	110	0	60	260	470	760	1150	1650	2200	2200
	Тінь (%)	34,5	23,2	13,6	5,0	0	2,7	11,8	21,4	34,5	52,3	75,0	100	100
	Пряма СР Вт/м <sup>2</sup>	85	195	328	465	580	661	702	702	662	580	448	0	0
ПД-ЗХ	Тінь (м <sup>2</sup> )	2200	2200	1650	1150	760	470	260	60	0	110	300	510	760
	Тінь (%)	100	100	75	52,3	34,5	21,4	11,8	2,7	0	5,0	13,6	23,2	34,5
	Пряма СР Вт/м <sup>2</sup>	0	0	317	465	580	661	702	702	662	580	464	328	196
ПН-СХ	Тінь (м <sup>2</sup> )	310	470	690	790	720	650	860	1020	1360	1750	2150	2200	2200
	Тінь (%)	14,1	21,4	31,4	35,9	32,7	29,5	39,1	46,4	61,8	79,5	97,7	100	100
	Пряма СР Вт/м <sup>2</sup>	85	195	328	465	580	661	702	702	662	580	35	0	0
ПН-ЗХ	Тінь (м <sup>2</sup> )	2200	2200	2150	1750	1360	1020	860	650	720	790	690	470	310
	Тінь (%)	100	100	97,7	79,5	61,8	46,4	39,1	29,5	32,7	35,9	31,4	21,4	14,1
	Пряма СР Вт/м <sup>2</sup>	0	0	23	465	580	661	702	702	662	580	464	328	196
ПН	Тінь (м <sup>2</sup> )	1600	1750	1450	1280	1210	1150	1080	1150	1210	1280	1450	1750	1600
	Тінь (%)	72,7	79,5	65,9	58,2	55,0	52,3	49,1	52,3	55,0	58,2	65,9	79,5	72,7

	Пряма СР <i>Вт/м<sup>2</sup></i>	85	162	328	465	580	661	702	702	662	580	464	269	196
З	Тінь ( <i>м<sup>2</sup></i> )	2200	2200	2200	1610	1160	790	560	480	350	190	50	0	50
	Тінь (%)	100	100	100	73,2	52,7	35,9	25,5	21,8	15,9	8,6	2,3	0	2,3
	Пряма СР <i>Вт/м<sup>2</sup></i>	0	0	0	386	580	661	702	702	662	580	464	328	196
С	Тінь ( <i>м<sup>2</sup></i> )	50	0	50	190	350	480	560	790	1160	1610	2200	2200	2200
	Тінь (%)	2,3	0	2,3	8,6	15,9	21,8	25,5	35,9	52,7	73,2	100	100	100
	Пряма СР <i>Вт/м<sup>2</sup></i>	85	195	328	465	580	661	702	702	662	531	0	0	0

На третьому етапі були обчислені загальні значення прямої сонячної енергії кожної поверхні, що досліджується за формулою (2):

$$I_{\text{заг}} = \frac{\sum I_{\text{пр}}}{S_{\text{пов}} - (S_{\text{пов}} R_z / 100)}, \quad (2)$$

де  $\sum I_{\text{пр}}$  - сумарна кількість прямої сонячної радіації всіх розрахункових годин;  $S_{\text{пов}}$  - загальна площа розрахункової поверхні;  $R_z$  - відсоток затіненості.

Всі показники беруться із таблиць, які представлені в роботі. Для порівняння результатів дослідження сформовано зведену таблицю 2. Для зручності порівняння кінцевих результатів накреслено графік (Рис 4).

Таблиця 2. Сумарні значення прямої сонячної радіації і відсотка затінення впродовж 6:00 – 18:00 год.

Table 2. Total values of direct solar radiation and percentage of shading from 6:00 to 18:00.

Найменування поверхні	Площа пове- рхні ( <i>м<sup>2</sup></i> )	Затінення (%)							
		ПД	ПД- СХ	ПД- ЗХ	ПН- СХ	ПН- ЗХ	ПН	З	С
Фасад 1	1050	48,8	61,5	42,7	80,4	36	54,2	28,8	80,9
Фасад 2	1900	31,1	40,7	40,7	70,6	70,6	86,8	50,4	50,4
Фасад 3	1050	48,9	42,5	61,5	31,6	80,2	54,4	80,7	28,9
Підстилаюча пове- рхня двору	2200	42,5	36,5	36,5	53	53	62,8	41,4	41,4
Загальний % заті- нення		41,2	43	43,1	59,4	60,1	67,3	48,7	48,7
		Пряма СР ( <i>Вт/м<sup>2</sup></i> )							
		ПД	ПД- СХ	ПД- ЗХ	ПН- СХ	ПН- ЗХ	ПН	З	С
Фасад 1	1050	4230	2792	4033	4127	5411	6608	3446	640
Фасад 2	1900	3821	4145	5174	2737	4667	1150	6473	4309
Фасад 3	1050	6123	4899	4761	4125	2538	4381	367	3377
Підстилаюча пове- рхня двору	2200	7393	6527	7078	5924	6720	6555	6712	5566
Загальна кількість прямої СР		21567	18363	21046	16913	19336	18694	16998	13892

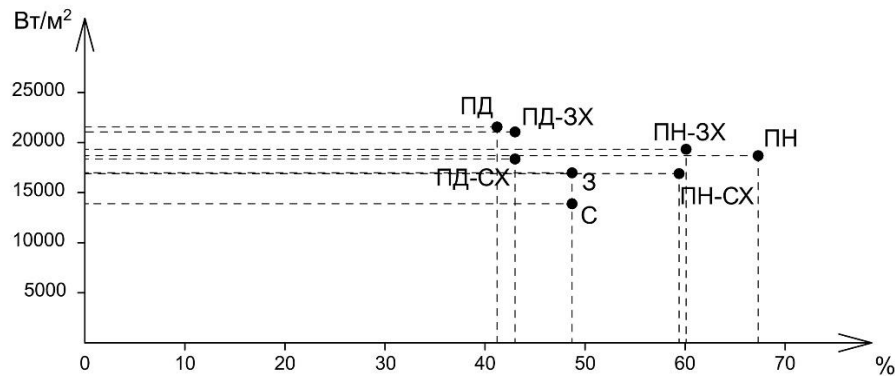


Рис. 4. Залежності величини відсотка затінення поверхонь від сумарної кількості радіації в розрахунковий проміжок часу щодо сторін світу.

Fig. 4. Dependences of the percentage of shading of surfaces on the total amount of radiation during the calculated time period relative to the cardinal points.

Отримані дані свідчать, що східна і західна сторона орієнтації двору є найбільш сприятливими для такої схеми блокування секцій, адже співвідношення відсотка затінення та сумарної кількості прямої сонячної радіації, що безпосередньо впливає на збільшення температурного режиму прибудинкової території, перебувають у певній збалансованості значень. Слід зазначити, що результати досліджень мають рекомендаційний характер і актуальні саме для пікового літнього періоду, коли нагрівання поверхонь і теплообмін є максимальним. Північна і південна орієнтації двору є найбільш несприятливими і, в разі неможливості уникнути такого містобудівного рішення, потребують додаткових заходів для регулювання температурного режиму.

Дане дослідження було проведене для I кліматичної зони України. В подальших роботах планується зробити розрахунки для інших кліматичних зон. Також доцільно провести подібні дослідження для різних комбінацій блокування типових секцій з метою виявлення доцільного містобудівного рішення з погляду природного регулювання мікроклімату житлових кварталів.

**5. Висновки.** Зміна клімату і феномен глобального потепління спонукають архітекторів до переосмислення концепції генерального плану під час проєктування нових житлових утворень. До сучасних технологічних рішень зменшення теплового навантаження на житлове середовище в певній пропорції слід включати стратегії природного охолодження прибудинкових територій і житлових помешкань. Оптимальна орієнтація основних фасадів житлової структури з погляду зменшення теплового навантаження на фасади і прибудинкову територію, що закладена на стадії проєктування, дає змогу створити баланс між енергоефективністю самих будівель і теплокомфортністю майбутнього житлового середовища.

Дане дослідження щодо розміщення секційних будинків П-подібної конфігурації на генеральному плані щодо сторін світу дає змогу попередньо оцінити переваги і доцільність обраних архітектором варіантів з метою зниження екологічного ризику на здоров'я населення та запобігання теплового стресу.

#### Список використаних джерел:

1. Mark Bomberg, Michael Gibson, Jian Zhang. A concept of integrated environmental approach for building upgrades and new construction: Part 1- setting the stage. *Journal of Building Physics*, Volume 38, Issue 4, Pages: 360 – 385. URL: <https://doi.org/10.1177/1744259114553728> (дата звернення: 13.02.2024).
2. Ahmed A.Y. Freewan. Advances in Passive Cooling Design: An Integrated Design Approach. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.87123> (дата звернення: 06.02.2024).

3. Doya M, Bozonnet E, Allard F. Experimental measurement of cool facades performance in a dense urban environment. *Energy Build* 2012; 55: 42–50. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.001> (дата звернення: 06.02.2024).
4. Yun Gao, Ensiyeh Farrokhirad, Adrian Pitts. The Impact of Orientation on Living Wall Facade Temperature: Manchester Case Study. *Sustainability* 2023, Volume 15, Issue 14, 11109, URL: <https://doi.org/10.3390/su151411109> (дата звернення: 13.02.2024).
5. Debanjali Banerjee. Computational Review and Assessment of The Urban Heat Island Effect and Its Impact on Building Space Conditioning. *ENQ*, Volume 20, Issue 2. URL: <https://arcc-journal.org/index.php/arccjournal/article/view/1152> (дата звернення: 13.02.2024).
6. Thomas Dougherty, Rishie K. Jain. Invisible Walls: Exploration of Microclimate Effects on Building Energy Consumption in New York City. *Sustainable Cities and Society (SCS)*, Volume 90, March 2023, 104364. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104364> (дата звернення: 13.02.2024).
7. Krishna Prasad A, Sanjith S Anchan, Shambavi Kamath M, Vijayalakshmi Akella. Impact of Building Orientation on Energy Consumption in the Design of Green Building. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, ISSN: 2278-9359 (Volume-6, Issue-2). URL: <https://www.researchgate.net/publication/326478143> (дата звернення: 15.02.2024).
8. Y. Toparlar, B. Blocken, B. Maiheu, G. J. F. van Heijst. The effect of an urban park on the microclimate in its vicinity: a case study for Antwerp, Belgium. *International Journal of Climatology*, Volume 38, Issue S1, April 2018, Pages e303–e322. URL: <https://doi.org/10.1002/joc.5371> (дата звернення: 15.02.2024).
9. U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. URL: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium> (дата звернення: 15.02.2024).
10. Peng Wu, Yisheng Liu. Impact of Urban Form at the Block Scale on Renewable Energy Application and Building Energy Efficiency. *Sustainability* 2023, 15(14), 11062; URL: <https://doi.org/10.3390/su151411062> (дата звернення: 15.02.2024).
11. Jason Charalambides, Joseph Wright. Effect of Early Solar Energy Gain according to Building Size, Building Openings, Aspect Ratio, Solar Azimuth, and Latitude. *Journal of Architectural Engineering*, Volume 19, Issue 3. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000129](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000129) (дата звернення: 11.02.2024).
12. Hongxuan Zhou, Guan Wang, Dan Hu and Jing Sun. Horizontal heat impacts of a bare facade on air temperature in an adjacent green plot within pedestrian heights in Beijing. *Indoor and Built Environment*, Volume 30, Issue 3, Mar 2021, Pages 293–434. URL: <https://journals.sagepub.com/share/B5DNJP3EZPN8HH2TXDTK?target=10.1177/1420326X19892673> (дата звернення: 13.02.2024).
13. Yola L., & Chin Siong H. (2016). Solar Radiation and Urban Wind Effect on Urban Canyon in Hot, Humid Regions. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, 1(4), Pages: 220–229. URL: <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v1i4.384> (дата звернення: 15.02.2024).
14. Adrien Gros, Emmanuel Bozonnet, Christian Inard, Marjorie Musy. Simulation tools to assess microclimate and building energy – A case study on the design of a new district. *Energy and Buildings*, Volume 114, 15 February 2016, Pages 112–122. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.032> (дата звернення: 13.02.2024).
15. ENVI-met: веб-сайт. URL: <https://www.envi-met.com/> (дата звернення: 06.02.2024).
16. Вітвицька Є.В. Мікроклімат і енергоефективність систем житлової міської забудови та їх регулювання. *Наукове фахове видання Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі»*. – К.: КНУБА, 2016. – Вип. 8 – С. 65–71.
17. Козятник І.П. Планувальна організація житлових територій із застосуванням методів регулювання теплового режиму мікроклімату: автореф. дис. канд. архіт.: 18.00.04 / І. П. Козятник ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – К., 2015. – 23 с
18. Вітвицька Є.В. Удосконалення містобудівних норм України щодо регулювання мікроклімату в забудові міст // *Сучасні проблеми технічного регулювання у будівництві: збірник наукових праць*, КНУБА. – К., 2015. – Вип. 1 – С. 13–19. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/1037> (дата звернення: 16.02.2024).
19. Кашенко Т. О. Підвищення енергоефективності житлових будинків на основі оптимізації їх форми: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. арх.: спец. 18.00.02 «Архітектура будівель і споруд» / Кашенко Т. О. - К.: КНУБіА, 2001. – 20 с.



20. Кривенко О.В. Геометричне моделювання інтеграції сонячної енергії у висотні біокліматичні будівлі. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2019. №96. С. 51-57. URL: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2019.96.51-57> (дата звернення: 20.02.2024).
21. Омеляненко М. В., Омеляненко М. В., Комфортне середовище для людини та оновлене нормативне регулювання. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Випуск 58. 2020. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.58.118-128> (дата звернення: 20.02.2024).
22. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Прийнятий Мінрегіонбудом України 16.12.2010. – [Чинний від 2011-11-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – II, 123 с.

## References:

1. Mark Bomberg, Michael Gibson, Jian Zhang. A concept of integrated environmental approach for building upgrades and new construction: Part 1- setting the stage. *Journal of Building Physics*, Volume 38, Issue 4, Pages: 360 – 385. URL: <https://doi.org/10.1177/1744259114553728>.
2. Ahmed A.Y. Freewan. Advances in Passive Cooling Design: An Integrated Design Approach. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.87123> (дата звернення: 06.02.2024).
3. Doya M, Bozonnet E, Allard F. Experimental measurement of cool facades performance in a dense urban environment. *Energy Build* 2012; 55: 42–50. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.001>.
4. Yun Gao, Ensiyeh Farrokhirad, Adrian Pitts. The Impact of Orientation on Living Wall Facade Temperature: Manchester Case Study. *Sustainability* 2023, Volume 15, Issue 14, 11109, URL: <https://doi.org/10.3390/su151411109>.
5. Debanjali Banerjee. Computational Review and Assessment of The Urban Heat Island Effect and Its Impact on Building Space Conditioning. *ENQ*, Volume 20, Issue 2. URL: <https://arcc-journal.org/index.php/arccjournal/article/view/1152>.
6. Thomas Dougherty, Rishee K. Jain. Invisible Walls: Exploration of Microclimate Effects on Building Energy Consumption in New York City. *Sustainable Cities and Society (SCS)*, Volume 90, March 2023, 104364. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104364>.
7. Krishna Prasad A, Sanjith S Anchan, Shambavi Kamath M, Vijayalakshmi Akella. Impact of Building Orientation on Energy Consumption in the Design of Green Building. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, ISSN: 2278-9359 (Volume-6, Issue-2). URL: <https://www.researchgate.net/publication/326478143>.
8. Y. Toparlar, B. Blocken, B. Maiheu, G. J. F. van Heijst. The effect of an urban park on the microclimate in its vicinity: a case study for Antwerp, Belgium. *International Journal of Climatology*, Volume 38, Issue S1, April 2018, Pages e303-e322. URL: <https://doi.org/10.1002/joc.5371>.
9. U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. URL: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
10. Peng Wu, Yisheng Liu. Impact of Urban Form at the Block Scale on Renewable Energy Application and Building Energy Efficiency. *Sustainability* 2023, 15(14), 11062; URL: <https://doi.org/10.3390/su151411062>.
11. Jason Charalambides, Joseph Wright. Effect of Early Solar Energy Gain according to Building Size, Building Openings, Aspect Ratio, Solar Azimuth, and Latitude. *Journal of Architectural Engineering*, Volume 19, Issue 3. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000129](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000129).
12. Hongxuan Zhou, Guan Wang, Dan Hu and Jing Sun. Horizontal heat impacts of a bare facade on air temperature in an adjacent green plot within pedestrian heights in Beijing. *Indoor and Built Environment*, Volume 30, Issue 3, Mar 2021, Pages 293-434. URL: <https://journals.sagepub.com/share/B5DNJP3EZPN8HH2TXDTK?target=10.1177/1420326X19892673>.
13. Yola L., & Chin Siong H. (2016). Solar Radiation and Urban Wind Effect on Urban Canyon in Hot, Humid Regions. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, 1(4), Pages: 220–229. URL: <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v1i4.384>.
14. Adrien Gros, Emmanuel Bozonnet, Christian Inard, Marjorie Musy. Simulation tools to assess microclimate and building energy – A case study on the design of a new district. *Energy and Buildings*, Volume 114, 15 February 2016, Pages 112-122. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.032>.
15. ENVI-met: веб-сайт. URL: <https://www.envi-met.com/>.
16. Vitvitskaya E.V. (2016). Mikroklimat i energoefektivnist sistem zhitlovoyi miskoyi zabudovi ta yih reguluyuvannya [Microclimate and energy efficiency of residential building and urban regulation].

- Energoefektivnist v budivnictvi ta arhitekturi – Energy-Efficiency in Civil Engineering and Architecture*, 8, Pages . 65–71.
17. Kozyatnik I.P. (2015) Planuvalna organizaciya zhitlovih teritorij iz zastosuvannyam metodiv regulyuvannya teplovogo rezhimu mikroklimatu [Planning organization of residential areas with the use of methods of regulating the thermal regime of the microclimate]: autoref. thesis Ph.D. architect.: 18.00.04. *Kyyivs'kyi Natsional'nyy Universytet Budivnytstva I Arkhitektury – Kyiv National University of Construction and Architecture*.
18. Vitvitskaya E.V. (2015). Udoskonalennya mistobudivnih norm Ukrayini shodo regulyuvannya mikroklimatu v zabudovi mist [Improvement of urban planning regulations on ukrainian regulation of the microclimate]. *Suchasni problemi tehnicnogo regulyuvannya u budivnictvi: zbirnik naukovih prac – Modern problems of technical regulation in construction*, 1. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/1037>
19. Kashenko T. O. (2001). Pidvishennya energoefektivnosti zhitlovih budinkiv na osnovi optimizaciyi yih formi [Improving the energy efficiency of residential buildings by optimizing their shape]: autoref. thesis Ph.D. architect.: 18.00.02. *Kyyivs'kyi Natsional'nyy Universytet Budivnytstva I Arkhitektury – Kyiv National University of Construction and Architecture*.
20. Krivenko O.V. (2019) Geometrichne modelyuvannya integraciyi sonyachnoyi energii u visotni bioklimatichni budivli [Geometric modeling of solar energy integration into high-rise bioclimatic buildings]. *Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika – Applied geometry and engineering graphics*, 96. URL: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2019.96.51-57>.
21. Omelyanenko M. V., Omelyanenko M. V. (2020). Komfortne seredovishe dlya lyudini ta onovlene normativne regulyuvannya [Comfortable environment for people and updated regulations]. *Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya – Modern problems of architecture and urban planning*, 58. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.58.118-128>.
- DSTU-N B V.1.1–27: 2010. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiynykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivnelna klimatolohiia [Protection from dangerous geological processes, harmful operational influences, fire. Construction Climatology.]. Kyiv: Minrehiou Ukrainy [in Ukrainian].