

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Хімія та інженерна екологія

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедру

д-р. техн. наук. професор

_____ Юлія ЗЕЛЕНЬКО

_____ 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **10 " Природничі науки "**

Спеціальність **101 " Екологія "**

Освітньо-професійна програма **Промислове та цивільне будівництво**

Тема **Оцінка і прогнозування теплового балансу урбанізованих територій**

Theme **Evaluation and prediction of the warmth balance of the urbanized territories**

Керівник дипломної роботи д.т.н., професор _____ Юлія ЗЕЛЕНЬКО
(підпис)

Студентка групи ЕО2022 _____ Ілона БІЛОШИЦЬКА
(підпис)

Student

Biloshitska Ilona

Дніпро – 2021

Міністерство освіти і науки України
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет:
Кафедра:
Спеціальність:
ОП

«Промислове та цивільне будівництво»
«Хімія та інженерна екологія»
101 «Екологія»
«Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри
«Хімія та інженерна екологія»
д-р. техн. наук. Професор

_____Юлія ЗЕЛЕНЬКО
_____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи студента
Білошицька Ілона Едуардівна

1. Тема роботи: «ОЦІНКА І ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ» затверджена наказом по університету № 165-ст від «09» квітня 2021 р.
2. Термін подання студентом закінченої роботи – 30 листопада 2021 року.
3. Вихідні дані до роботи: Як вихідні дані в роботі використані дані опублікованих спостережень вітчизняних та зарубіжних авторів; дані дистанційного зондування, оброблені із сервісу геологічної служби. Як підоснова застосована модель міського каньйону, яка створена автором на онові типової забудови міста, яка характеризує основні параметри міського середовища.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань до розробки): Вивчення літературних джерел за проблематикою досліджень, Аналіз факторів які впливають на формування теплового балансу, Сучасні принципи розрахунків та моделювання теплового балансу територій, Розробка методів оцінки теплового балансу та покращення мікрокліматичних умов урбанізованих територій.
5. Перелік демонстраційного матеріалу: мультимедійна презентація за результатами виконання дипломної роботи у обсязі до 15 слайдів, які повною мірою відображають актуальність поставленої мети та задач дослідження, методологію та постановку експериментів, практичну та наукову новизну отриманих результатів.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Не передбачено			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділів магістерської роботи	Термін виконання розділів роботи	Примітка
1.	АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕПЛООВОГО ЗАБРУДНЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	01.11.2021	
2.	ІНТЕНСИВНІСТЬ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ЗАБУДОВУ ТА ДІЯЛЬНИЙ ШАР УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	01.11.2021	
3.	ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	15.11.2021	
4.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА РІЗНІ ПОВЕРХНІ	15.11.2021	
5.	ВИСНОВКИ, ВСТУП	30.11.2021	
6.	Рецензування магістерської роботи	07.12.2021	

7. Дата видачі завдання: «09» квітня 2021р.

Керівник магістерської роботи _____ Юлія ЗЕЛЕНЬКО

Завдання прийняв до виконання _____ Ілона БІЛОШИЦЬКА

РЕФЕРАТ

Білошицька І. Е. Оцінка і прогнозування теплового балансу урбанізованих територій: дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 101 – екологія / наук. керівник Ю. В. Зеленько; Український державний університет науки і технологій. Дніпро, 2021. 63 с.

УРБАНІЗОВАНІ ТЕРИТОРІЇ, ТЕПЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ, АНТРОПОГЕННІ ДЖЕРЕЛА, ЛАТЕНТНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПОТІК, ПОВІТРЯНІ ПОТОКИ КОНВЕКТИВНОГО ХАРАКТЕРУ

Об'єкт дослідження – процес формування параметрів мікроклімату міського середовища (урбанізованих територій).

Предмет дослідження – рішення щодо зниження впливу сонячної радіації з урахуванням взаємозв'язків компонентів радіаційного балансу, елементів забудови та діяльним шаром з метою поліпшення мікроклімату урбанізованих територій.

Мета та завдання дослідження – окреслення головних проблем теплового забруднення українських міст в сучасних умовах реформування економіки та розробка нових можливих способів зниження впливу сонячної радіації на елементи забудови та діяльний шар за рахунок прогнозування теплового балансу урбанізованих територій на стадії проектування забудови міст.

У магістерській роботі узагальнено досвід вивчення теплового балансу урбанізованих територій. Проведено аналіз факторів які впливають на формування теплового балансу урбанізованих територій.

Розроблено методику оцінки теплового балансу урбанізованих територій з розділенням території на міські каньйони з урахування взаємозв'язків компонентів радіаційного балансу, елементів забудови та діяльного шару. У

техногенному енергобалансі міста виділені основні прибуткові частини, пов'язані з прямим виділенням тепла в навколишній простір, серед яких пряме енергоспоживання має домінуючу роль.

Виконані теоретичні та експериментальні дослідження факторів, що до впливу утеплення фасадів будівель на тепловий баланс урбанізованих територій. Отримані результати свідчать, що утеплені стіни будівель, влітку під дією сонячної радіації нагріваються швидше і мають значно більшу температуру в порівнянні з стінами без утеплення, за рахунок чого значно більше нагрівають навколишнє повітря, але із зниженням інтенсивності сонячної радіації їх температура швидко знижуються, що збільшує перепади температури вдень і вночі.

Складена на стадії проектування математична модель теплового балансу міської забудови з урахуванням взаємозв'язків: компонентів радіаційного балансу, забудови, специфіки поверхонь та викидів тепла техногенними джерелами дозволяє попередньо прогнозувати тепловий режим міського простору, а також дозволяє визначити та запланувати ефективні способи його регулювання архітектурно-будівельними засобами та методами.

ABSTRACT

Biloshitska I.E. EVALUATION AND PREDICTION OF THE WARMTH BALANCE OF THE URBANIZED TERRITORIES: thesis for obtaining a master's degree: special 101 - ecology / science leader Yu. V. Zelenko; Ukrainian State University of Science and Technology. Dnipro, 2021. P 63.

URBANIZED TERRITORIES, THERMAL POLLUTION, HEAT BALANCE, SOLAR RADIATION, ANTHROPOGENIC SOURCES, LATENT HEAT FLOW, CONVECTIVE AIR FLOWS

Object of study – the process of formation of microclimate parameters of the urban territories.

Subject of study – decisions to reduce the effects of solar radiation, taking into account the relationships of the components of the radiation balance, building elements and active layer in order to improve the microclimate of urban territories.

Purpose and tasks of the study – outlining the main problems of thermal pollution of ukrainian cities in modern conditions of economic reform and developing new possible ways to reduce the effects of solar radiation on building elements and active layer by forecasting the heat balance of urban areas at the design stage of urban territories.

Experience is summarized in the master's thesis study of the heat balance of urban territories. The analysis of the factors influencing formation of thermal balance of the urbanized territories is carried out.

A method for estimating the heat balance of urban areas has been developed with the division of the territory into urban canyons, taking into account the relationships of the components of the radiation balance, building elements and active layer. In the technogenic energy balance of the city allocated the main revenue parts associated with

the direct release of heat into the surrounding space, among which direct energy consumption plays a dominant role.

Theoretical and experimental studies of factors related to the influence of building facades insulation on the heat balance of urban areas have been performed. The results show that the insulated walls of buildings, in the summer under the influence of solar radiation heat up faster and have much higher temperature in comparison with walls without warming, due to which the ambient air is heated much more, but with a decrease in the intensity of solar radiation, their temperature decreases rapidly, which increases the temperature differences day and night.

The mathematical model of heat balance of urban development made at a design stage taking into account interrelations: components of radiation balance, construction, surface specifics and heat emissions by man-made sources allows you to pre-predict the thermal regime of urban space, and also allows to define and plan effective ways of its regulation by architectural and construction means and methods.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕПЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	13
2. ІНТЕНСИВНІСТЬ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ЗАБУДОВУ ТА ДІЯЛЬНИЙ ШАР УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	26
2.1 Сонячна радіація та розрахунок її інтенсивності.....	26
2.3 Теплообмін на поверхнях будинків доріг, тощо	31
3. ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	35
3.1 Вплив сонячної радіації на поверхні урбанізованих територій.....	35
3.2 Тепло-вітрові процеси на урбанізованих територіях	36
3.3 Теплове забруднення антропогенними джерелами	43
3.4 Розподіл температури забудови і діяльного шару урбанізованих територій в часі.....	44
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА РІЗНІ ПОВЕРХНІ	47
4.1 Розрахунки та моделювання температури поверхонь з однаковою площею і різною теплоємністю в наслідок дії сонячної радіації.....	47
4.2 Дослідження параметрів впливу утеплення будівель на тепловий баланс урбанізованих територій.	49
4.3 Карта островів тепла міста Дніпро	51
4.4 Аналіз експериментальних та розрахунково-аналітичних даних.	52
ВИСНОВКИ.....	55
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	57

ВСТУП

Глобальне потепління, на теперішній час, розглядається як одна із найважливіших проблем людства, наукові групи по всьому світу досліджують дану проблему. Водночас причини, наслідки глобального потепління й прогнози зазвичай залишаються дискусійними.

Однак, проблеми, викликані глобальним потеплінням, з кожним роком усе більш помітні в більшості регіонів планети. У містах на наслідки глобального потепління накладається локальне теплове забруднення, характерне для урбанізованих територій.

Відомо, що міський клімат відрізняється від клімату сільських районів, і що величини відмінностей можуть бути часом досить великими, залежно від міських теплофізичних та геометричних характеристик, а також антропогенних джерел вологи і тепла, присутніх на цій території. Як правило, чим більше місто тим швидше відчуються проблеми що, негативно відображається на здоров'ї населення, функціонуванні інфраструктури, енергоспоживанні на урбанізованих територій, тощо.

Міські населені пункти займають всього лише 0,2% площі земної поверхні але в них проживає 47% населення земної кулі і 73% населення Європи.

Швидко зростає чисельність людей, що проживають в містах в країнах, які розвиваються. Передбачається, що до 2025 року населення, яке проживає в містах, збільшиться до 60%. Ця тенденція веде до розширення міст і створює розбіжність між міськими районами і відкритими просторами всередині міст і навколо них.

У самому місті можуть бути виділені окремі райони, які тепліше за інші і навпаки, зелені зони всередині міста є причиною утворення міських островів холоду, які прохолодніше, ніж решта території міста. Причини та наслідки міського клімату та островів тепла різноманітні, а їх взаємодія складна.

У вирішенні проблеми оптимізації міського середовища відповідно до біологічними і фізіологічними особливостями людини важливу роль грають радіаційно-теплові процеси.

Міська забудова характеризується значною складністю, через різноманітного об'ємно-планувального і композиційного рішення, чим не можна знехтувати при дослідженні та вивченні факторів мікро- та еко-клімату всередині забудови і в приміщеннях будівель. Вивчення радіаційного балансу діяльної поверхні являє собою великий практичний інтерес, так як цей баланс є одним з основних клімат-утворюючих чинників міської забудови. від його значення залежить тепловий режим діяльних шарів або водойми, зелених масивів і прилеглих до них верств повітря прибудинкових територій. Радіаційний баланс має велике значення при вивченні питання формування і трансформації повітряних мас, при розрахунках випаровування, при розгляді впливу сонячної радіації на тепловий стан людини і в цілому при формуванні мікрокліматичного і еко-кліматичного режиму міського каньйону.

Дослідження проблем міських островів тепла, джерел теплового забруднення і наслідків їхнього впливу та методів зниження їх впливу на кліматичні системи в містах, з урахуванням стрімкої урбанізації територій, яка набуває все більших масштабів, є актуальними.

Таким чином, одним з найбільш важливих завдань на шляху забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій є оцінка та аналіз місцевих кліматичних змін та регулювання мікроклімату у міському середовищі шляхом розробки та застосування заходів, до створення затишних, тобто оптимальних умов життєдіяльності людини.

Мета та завдання дослідження – окреслення головних проблем теплового забруднення українських міст в сучасних умовах реформування економіки та розробка нових можливих способів зниження впливу сонячної радіації на

елементи забудови та діяльний шар за рахунок прогнозування теплового балансу урбанізованих територій на стадії проектування забудови міст.

Для досягнення мети роботи потрібно вирішити такі завдання:

1. Виконати огляд наукових публікацій, спрямованих на вивчення теплового балансу урбанізованих територій у роботах вітчизняних та зарубіжних авторів.
2. Виконати аналіз факторів які впливають на формування теплового балансу урбанізованих територій.
3. Розробити методику оцінки теплового балансу урбанізованих територій.
4. Оцінити вплив утеплення фасадів будівель на тепловий баланс урбанізованих територій.

Об'єкт дослідження – процес формування параметрів мікроклімату міського середовища (урбанізованих територій).

Предмет дослідження – рішення щодо зниження впливу сонячної радіації з урахуванням взаємозв'язків компонентів радіаційного балансу, елементів забудови та діяльним шаром з метою поліпшення мікроклімату урбанізованих територій.

Методи дослідження. Під час вирішення сформульованих завдань в роботі використані фізично обґрунтовані методи узагальнення та ідеалізації об'єктів дослідження, застосування математичних моделей і наданий розрахунок аналітичними і чисельними методами в поєднанні з експериментальним дослідженням окремого структурного елемента з узагальненням отриманих результатів відповідно до об'єкта в цілому. При обробці результатів експериментальних досліджень застосовані статистичні методи.

Наукове значення роботи полягає в розробці методики оцінки теплового балансу урбанізованих територій з урахуванням взаємозв'язків компонентів радіаційного балансу, елементів забудови та діяльного шару з розділенням міської території на каньйони.

Практична значимість роботи визначається можливістю застосування результатів дослідження з метою оцінки теплового балансу міського каньйону та мікрмасштабних кліматичних змін у великих містах.

Складена на стадії проектування містобудівних концепцій або процесі реконструкції міської забудови математична модель теплового балансу міського каньйону дозволяє попередньо прогнозувати тепло-вітровий режим міського простору та його взаємозв'язок із мікрокліматом приміщення будівель, а також дозволяє визначити та запланувати ефективні способи його регулювання архітектурно-будівельними засобами та методами.

Основні результати виконання магістерської роботи обговорювалися на міжнародній науково-практичній конференції:

– Білошицька І. Е., Зеленько Ю.В. Щодо проблеми теплового забруднення довкілля. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції.* (Дніпро, 22–23 Квітня 2021 р.). Дніпро, 2021. С. 206–207.

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи складає 63 сторінки і містить 16 рисунків, 3 таблиць, 66 посилань на джерела інформації.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕПЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

За однакових кліматичних умов у більшості міст температура повітря, як правило, вища чим у сільській місцевості. Це явище, «Міський острів тепла», було задокументовано в XIX ст., як температурна аномалія над містом, у першому виданню «CLIMATE», яке вийшло у двох томах, перше з яких побачив світ у 1818 році [1].

Ряд узагальнюючих праць вийшов в 1970-1980 роках, які на теперішній час є класичними. Це, праці таких науковців, як Н. Landsberg [31], T.R. Oke [2], Н. Таһа [3] та ін. В цих працях висвітлено комплекс природних і антропогенних особливостей, які впливають на клімат у містах, як наслідок утворюються острови тепла. Особлива увага приділялася альбедо міських поверхонь, дії конвекції, впливу зелених насаджень на тепловий режим, використанню різних матеріалів, які можна використовувати при будівництві.

Острів тепла може виникати в різних масштабах, він може проявлятися навколо однієї будівлі, невеликого рослинного навісу або великої частини міста [5]. Причини та наслідки міського клімату та островів тепла різноманітні, а їх взаємодія є складною [6, 7, 8]. Можна виділити три параметри, що мають пряме відношення до теплових островів, це:

- евапотранспірація з рослинності;
- антропогенне виділення тепла від стаціонарних та мобільних джерел;
- поверхневе альбедо;

Вони обговорюються як фактори, що призводять до відмінностей між міським та сільським кліматом.

Рівняння теплового балансу урбанізованих територій

Рівняння теплового балансу урбанізованих територій досить просто пояснює роль поверхневих властивостей та антропогенного нагріву в приземному кліматі

[3]. Загальна форма. цього рівняння для одиничної площі поверхні, яка є плоскою, горизонтальною та однорідною, виглядає:

$$\alpha_s Q + \alpha_s q + \alpha_L L + Q_f = \varepsilon \sigma T_0^4 + h_c (T_0 - T_a) + k \left. \frac{dT_s}{dz} \right|_{z=0} + \lambda E \quad (1.1)$$

де α_s і α_L – поглинаючі властивості для короткохвильового та довгохвильового випромінювання відповідно;

Q і q – прямі та дифузні короткохвильові випромінювальні потоки відповідно;

L – вхідний довгохвильовий радіаційний потік;

Q_f – антропогенний (техногенний) тепловий потік;

σ – випромінювальна здатність поверхні, константа Стефана-Больцмана;

T_0 і T_a – відповідно температура поверхні та повітря;

h_c – коефіцієнт конвективної тепловіддачі;

k – теплопровідність ґрунту;

T_s – температура поверхні;

λ – прихована теплота випаровування;

E – швидкість випаровування.

Перші два доданки ліворуч представляють поглинуту сонячну радіацію, третій додається поглиненою довгохвильовою (розсіяною) радіацією, а четвертий – антропогенним потоком тепла на території. Перший і другий доданки праворуч позначають радіаційні та чутливі теплові потоки, третій додає теплопровідність у поверхню через поверхню, а четвертий доданок – це потік прихованої теплоти.

Рівняння (1.1) після змін набуває вигляду:

$$(1 - a) R + L^* + Q_f = H + \lambda E + G \quad (1.2)$$

де a – сонячне альбедо;

R – сонячна радіація, що надходить;

L^* – чисте довгохвильове випромінювання на поверхні;

Q_f – антропогенне тепло;

H , λE та G – чутливі, приховані та ґрунтові теплові потоки відповідно.

Далі розглянемо три терміни рівняння 1.2, а саме:

– потік прихованої теплоти (випаровування – латентний тепловий потік (λE);

– та антропогенне нагрівання (Q_f);

– поверхнєве альбедо (a).

Латентний тепловий потік (λE)

Евапотранспірація (випаровування та транспірація) із ґрунтово-рослинних систем є одним з ефективних охолоджувачем приземного клімату. За належних умов евапотранспірація може створити "оазиси", які на 2–8 °С прохолодніші за їх оточення [2, 3].

В екстремальних умовах оазису потік прихованого тепла (λE) може бути настільки великим, що відчутний тепловий потік (H) стає від'ємним, а це означає, що повітря над рослинним покривом та над сухим середовищем має подавати відчутне тепло до рослинної зони та співвідношення Боуена, β (відношення кількості тепла, одержуваного поверхнею від повітря, до кількості тепла, що витрачається на випаровування (приховане тепло) стає негативним. Наприклад, у роботі [4] досліджено, що в туніських пустелях оазиси можуть розвиватися при співвідношеннях Боуена $\beta -0,26$.

У більш середніх умовах оазису, коефіцієнти Боуена β у вегетативних навісах коливаються у межах 0,5-2. Наприклад, виміряні вдень чутливі та приховані теплові потоки тепла в сосновому лісі Англії в липні становили 400 та 200 Вт м² відповідно, ($\beta = 2$) [9]. У ялиці Дугласа у Британській Колумбії відповідні значення становили 200 та 300 Вт м² ($\beta = 0,66$) [10]. Для порівняння, β

у міських районах зазвичай становить близько 5, у пустелі - близько 10, а над океаном - близько 0,1.

Міські території з великими непроникними поверхнями, як правило, мають більший стік, ніж їхні сільські райони. Стік стікає швидко, і, в довгостроковій перспективі, менше поверхневих вод залишається доступним для випаровування, таким чином впливаючи на поверхневий енергетичний баланс міста [11]. Низька швидкість випаровування в міських районах є основним чинником підвищення денної температури. Наприклад, у Токіо вегетаційні зони влітку в середньому на 1,6 °C прохолодніші, ніж місця без вегетаційних зон [12, 13], а в Монреалі міські парки на 2,5 °C прохолодніші, ніж навколишні забудовані території. У праці [8] у саду вимірювалися типові літні денні оазиси, що виявилися на 2 °C прохолодніше, ніж навколишні відкриті поля голого ґрунту. Результати праці [17] свідчать, що на висоті 50 см над травою температура влітку вдень на 8 °C нижче ніж над голою землею.

У чисельному моделюванні автор роботи [18] включив об'ємну параметризацію рослинних насаджень до одновимірної моделі URBMET [19]. Було змодельовано чутливість температури повітря до зміни рослинного покриву з використанням початкових даних отриманих при проведенні польових вимірювань мікрометеорологічних умов [8, 18]. Покрив рослинності викликав денні зниження температури (оазиси) та нічні надмірності температури (острови тепла) у порівнянні з голим оточенням. Факторами першого є охолодження випаровуванням і затінення ґрунту, тоді як друге є результатом зменшення коефіцієнта прозорості атмосфери за рахунок навісу. Проведене моделювання свідчить про те, що 30% рослинний покрив може створити вдень оазис до 6 °C за сприятливих умов та нічний острів тепла 2 °C. Результати моделюючих досліджень [16] свідчать, що зелені зони знижують максимальну та середню температуру повітря на вулицях на 2 °C. Результати регіонального тривимірного моделювання свідчать, що масштабне озеленення міст у басейні Лос-Анджелеса

може бути настільки ж ефективним у зниженні температури повітря, як і використання при будівництві матеріалів з високим альбедо [14, 15].

Антропогенне нагрівання (Q_f)

Антропогенне нагрівання в міських районах може впливати на температуру приземного повітря і потенційно відігравати роль у створенні міських островів тепла. Хоча величина Q_f залежить від різних факторів, таких як інтенсивність використання енергії, вироблення електроенергії та транспортних систем, найбільші значення Q_f зазвичай зустрічаються в міських центрах з холодним кліматом взимку через інтенсивне нагрівання протягом цього сезону. У більшості великих міст США Q_f коливається від 20 до 40 Вт м² влітку і від 70 до 210 Вт м² взимку [20]. Ці значення стосуються центрів міст, а останнє - надзвичайна крайність. Для порівняння, сонячна радіація на поверхні в типовий ясний або частково похмурий день опівдні коливається приблизно від 700 до 1000 Вт м². У житлових та приміських районах Q_f є незначним.

Авторами [21] досліджено закономірності використання енергії в будівлях та автотранспортних засобів і розроблено щоденний антропогенний профіль опалення на основі оцінки відведення тепла від цих джерел. Потім профіль був використаний для параметризації залежного від часу антропогенного нагрівання в прогностичних метеорологічних моделях для оцінки впливу Q_f на температуру повітря. Ці метеорологічні моделювання показують, що Q_f у великому ядрі міста може створити острів тепла до 2-3 °С як вдень, так і вночі. Однак такого підвищення температури не очікується у приміських житлових районах. Також моделювання показують, що низький Q_f у житлових районах має незначний вплив на температуру повітря. Однак, поєднання ефектів антропогенного нагріву в центрах міст з ефектами інших факторів, таких як темні поверхні (використання матеріалів з низьким альбедо), може посилити ефект острова тепла.

Альbedo (*a*).

Альbedo поверхні визначається як її відбивна здатність до потоку випромінювання, що надходить. Це визначення застосовується як до простих однорідних поверхонь, так і до неоднорідних і складних. Як правило, міські альbedo знаходяться в діапазоні від 0,10 до 0,20, але в деяких містах ці значення можуть бути перевищені. Міста Північної Африки є хорошими прикладами урбанізованих районів з високим альbedo (альbedo від 0,30 до 0,45), тоді як більшість міст США та Європи мають нижчі альbedo (від 0,15 до 0,20) [22].

Використання матеріалів з високим альbedo зменшує кількість сонячного випромінювання, що поглинається будівлями і міськими спорудами, і зберігає їх поверхні прохолоднішими. Автори праці [23] вранці ясного дня влітку виміряли альbedo та температури різних поверхонь на відкритій місцевості, отримані результати показали, що білі еластомерні покриття (з альbedo 0,72) були на 45 °C холоднішими за чорні покриття (з альbedo 0,08). Біла поверхня з альbedo 0,61 була лише на 5 °C тепліше навколишнього повітря, тоді як звичайний гравій з альbedo 0,09 був на 30 °C теплішим за повітря.

Зниження температури поверхні також зменшує інтенсивність довгохвильового випромінювання. Локальна температура та температура повітря будуть нижчими через менші потоки конвективного тепла від більш прохолодних поверхонь. Таке зниження температури може мати значний вплив на споживання енергії на кондиціонування повітря на 10% [24] та смогу (концентрації озону) до 20% протягом спекотного літнього дня [25] в міських районах, що є особливо важливим у містах з жарким кліматом.

Результати досліджень європейських і американських міст, які були проведені в 70-х роках минулого століття свідчать, що потік антропогенного тепла влітку становить 20-40 Вт/м² і 70-210 Вт/м² взимку [20]. На теперішній час у містах - мільйонниках ці показники зросли. Приміром є дослідження міста Токіо результати якого свідчать, що потік антропогенного тепла становив у літку

400 Вт/м² і 1590 Вт/м² взимку. Слід звернути увагу, що величина 1590 Вт/м² більша на 229 Вт/м² від показника сонячної постійної, який характеризує потік сонячної енергії на межі земної атмосфери [26].

Українські міста досліджувалися науковцями Л. Сакалі, Л. Смекалова, В. Бабиченко та ін., за результатами досліджень під їх редакцією надруковані монографії-довідники «Клімат Києва» (1980), «Клімат Харькова» (1983), «Клімат Одессы» (1986).

У країнах з розвиненою економікою таких як США, Канада і країни Європи створені спеціальні лабораторії або дослідницькі групи, які займаються тільки питаннями теплового забруднення та ефекту острова тепла [44]. Це, наприклад, Heat Island Group Lawrence Berkeley Laboratory (Берклі, Каліфорнія), проект країн Центральної Європи та низка інших.

У США, Канаді та деяких країнах Європи були створені спеціальні лабораторії чи дослідницькі групи, що займаються виключно питаннями теплового забруднення та ефекту Міського острова тепла. Наприклад, Heat Island Group Lawrence Berkeley Laboratory (Берклі, Каліфорнія), пілотний проект УНІ країн Центральної Європи та ряд інших.

Було проведено велику кількість досліджень, щоб зрозуміти Міський острів тепла та його вплив на місцеву кліматичну систему. В дослідженнях науковців інтенсивність Міського острова тепла визначається як різниця температур між містом та його навколишніми сільськими районами [32, 33]. Аналіз Міського острова тепла – зазвичай проводиться одним із двох способів:

–вимірювання температури повітря острова тепла за допомогою автомобільної трансекти та мережі метеостанцій [34-36];

–вимірювання у поверхневої температури острова тепла за допомогою повітряного або супутникового дистанційного зондування [37-40].

На теперішній час було проведено переважну більшість кліматологічних досліджень міського острова тепла з використанням даних отриманих місцево,

які мають перевагу високої тимчасової роздільної здатності та довгого запису даних, але мають погане просторове охоплення.

Супутникові теплові дані, мають більший просторове охоплення і надають інформацію про Міський острів тепла на основі температури поверхні.

Знімки з супутників в інфрачервоному діапазоні дозволяють більш досконаліше досліджувати Міські острови тепла [44]. Слід зазначити, що інфрачервоні зображення складніше піддаються аналізу ніж зображення у видимому діапазоні спектру. Аналіз теплових знімків урбанізованих територій потребують врахування таких факторів як:

- непостійність метеорологічних полів;
- просторовий розподіл полів вітру та вологості,
- багаторазові відбиття;
- затіненості тощо.

Аналізу обробки подібних знімків, їхньому інтеркалібруванню і правильній інтерпретації вітчизняними і зарубіжними дослідниками опубліковано ряд статей [2, 27, 28, 29, 30].

Слід зазначити, що на теперішній час в атмосферному зондуванні, за рахунок поліпшення просторової і часової роздільної здатності датчиків, область дистанційного зондування добре піддається вивченню [29, 41-43]

За даними праці [44], в Україні цими питаннями займаються, зокрема, науковці ДУ "Науковий Центр Аерокосмічних Досліджень Землі ІГН НАНУ". Так, В. Філіпович, С. Станкевич та ін. останніми роками провели ряд досліджень теплового поля м. Києва за допомогою аналізу інфрачервоних знімків, запропонували методику їх якісної обробки та інтерпретації. Виявлено, що температура поверхні в окремих районах Києва збільшилась на 7–10°C [27, 28].

У демонстраційному проекті 3048 м² даху на комерційній будівлі (рис. 1.1) у Флориді дослідники з досліджень сонячної енергії Флориди збільшили альbedo даху з 0,23 до 0,68. В порівнянні споживання електроенергії до і після

модифікації вони виявили до 35% скорочення споживання електроенергії піковий період (в середині дня) [45].



Рис. 1.1 – Приклад одинокого даху з високим альбедо в житловому районі з темними дахами в Новому Орлеані

Очільники Департаменту вулиць Лос-Анджелеса, досліджують шляхи зменшення ефекту Міського острова тепла, за рахунок зменшення поглинання тепла у побудованому середовищі. В межах пілотного проекту з нанесення спеціального покриття з високим альбедо на дороги (рис. 1.2).



Рис. 1.2 – Нанесення покриття з високим альбедо на дороги

Експеримент ще триває, але Департамент повідомляє про зниження температури дорожнього покриття рис. 1.3.

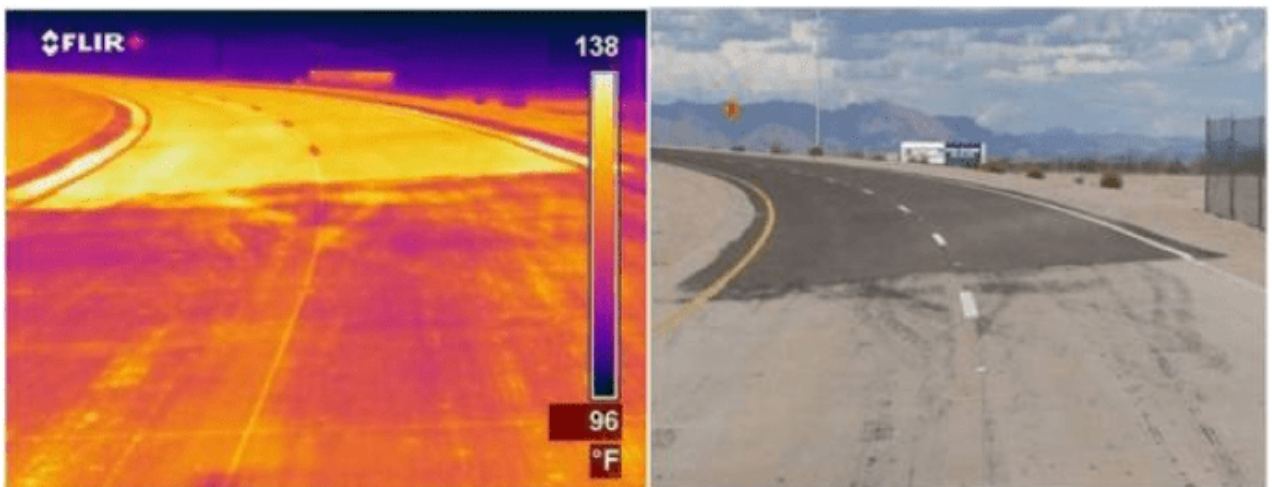


Рис. 1.3 – Теплове інфрачервоне та видиме зображення дороги

Теплові інфрачервоні (ліворуч) та видимі (праворуч) зображення дороги зі світлими та темними відрізками. Інфрачервоне зображення показує, що світлий сегмент (знизу) приблизно на 17°C (30°F) прохолодніший за темний сегмент дороги (зверху).

За межами Лос-Анджелеса керівники інших міст з теплою погодою, таких як Фенікс, звернули увагу на пілотний проект Лос-Анджелеса. Тому Департамент вулиць міста Фенікс США вибрав частини восьми мікрорайонів та одного міського парку для обробки доріг і тротуарів у рамках пілотного проекту «Прохолодне покриття». На семінарі, організованому федеральним урядом та містом Лос -Анджелес, Департамент транспорту вулиць міста Фенікс оприлюднив перші результати пілотного проекту із зниження температури поверхні доріг.

Звичайний асфальт показаний на (рис. 1.4) з температурою 121°F ($49,5^{\circ}\text{C}$), інші фотографії з нанесеним покриттям і температурою від 111°F ($43,9^{\circ}\text{C}$) до 106°F ($41,1^{\circ}\text{C}$).

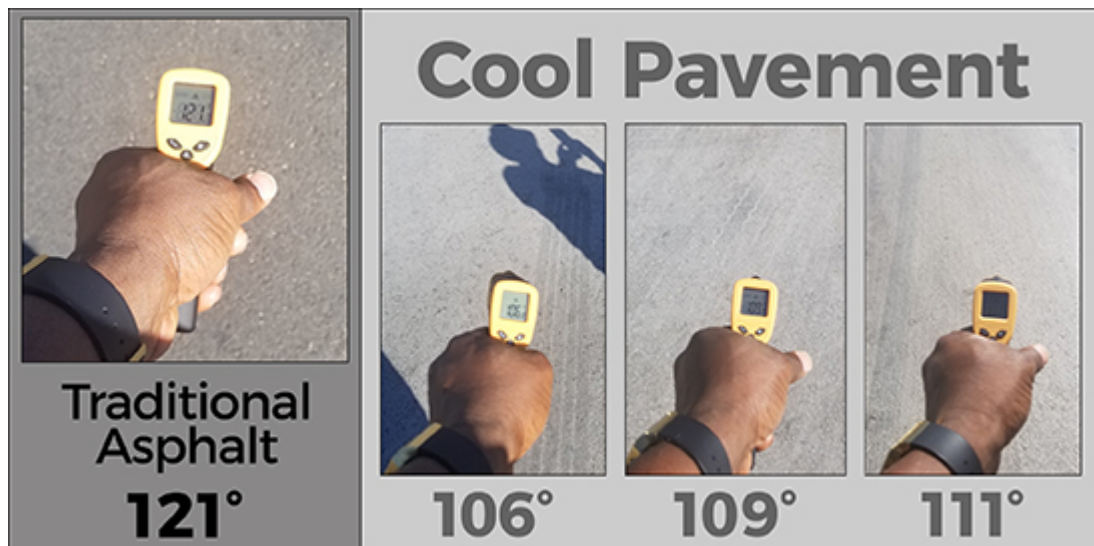


Рис. 1.4 – Вимірювання асфальту

В перспективі м. Фенікс планує посилити підтримку, захисту та розширення міського озеленення, наразі воно становить від 9% до 12%. Мета - досягти 25% покриття деревами.

Непроникні поверхні доріг, тротуарів призводять до стікання опадів в стічну систему і тим самим обмежують міста охолоджуватися шляхом процесів випаровування. В рамках досліджень «Проникні дорожні покриття» замінили непроникні поверхні з рослинними поверхнями ґрунту на проникні, що дозволяють вологі через покриття проникати в ґрунт [46]. Приклад першої ділянки з дорожнім проникним покриттям проілюстровано на (рис. 1.5).



Рис. 1.5 – Перша ділянка з проникним покриттям у Fair Oaks, Каліфорнійському парку Міллера з 23 зрілими оливковими деревами

Потенціал охолодження за рахунок зелених фасадів обговорюється у багатьох дослідженнях. Вимірювання проведені в Німеччині, на вкритій рослиною стіні та голій стіні показало зниження температури на зеленому фасаді від 2 ° C до 6 ° C у порівнянні з голою стіною [47]. Нещодавнє дослідження стіни

в Сінгапурі з вертикальним озелененням, результати якого показали максимальне зниження на $11,6^{\circ}\text{C}$ [48]. Як показано на рис. 1.6 що, знято інфрачервоною камерою в Нідерландах, непокриті поверхні тепліше (червоний колір), ніж поверхні покриті рослинністю (зелений і синій колір).

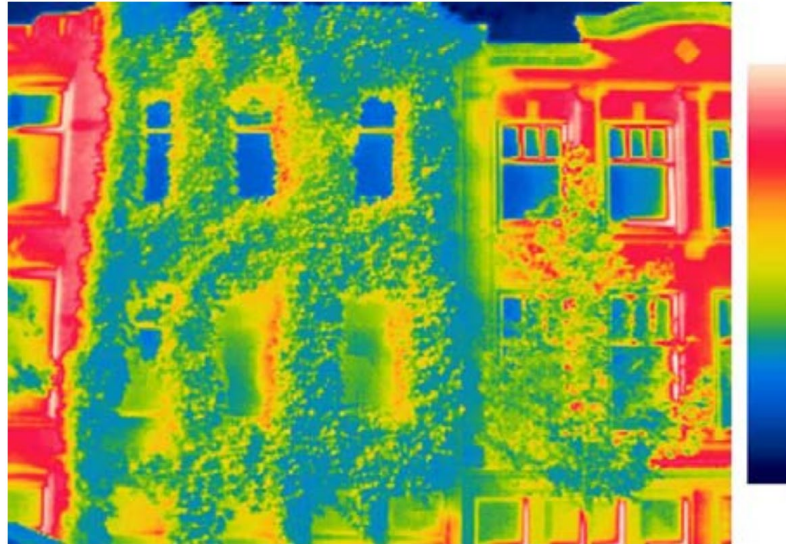


Рис. 1.6 – Тепловий інфрачервоний знімок фасаду, покритого бостонським плющем, (Делфт, Нідерланди, серпень 2009, 12:00, температура повітря 21°C)

2. ІНТЕНСИВНІСТЬ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ЗАБУДОВУ ТА ДІЯЛЬНИЙ ШАР УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Важливою складовою теплового балансу урбанізованих територій є теплонадходження від сонячної радіації, що обумовлено нагріванням будівель і діяльного шару, тощо. Проникання сонячних променів через вікна будівель також представляють значну частину в тепловому балансі приміщень будівель.

2.1 Сонячна радіація та розрахунок її інтенсивності

Теплова енергія сонячної радіації, що досягає земної поверхні, вноситься головним чином променями видимої області спектра (довжина хвиль від 0,4 до 0,8 мкм) і променями інфрачервоної області спектра (довжина хвиль до 3 мкм). Інфрачервоні випромінювання з довжиною хвиль понад 3 мкм досягають земної поверхні в незначній кількості.

Основним поглиначем ультрафіолетових променів є озон. Пил, що міститься в атмосфері викликає сильне поглинання променів короткохвильової частини спектра від ультрафіолетових до синіх включно. Інфрачервона радіація з довжиною хвиль від 0,9 до 3 мкм помітно поглинається парами води, що знаходяться в повітрі.

Спектральний склад сонячної радіації, що досягає земної поверхні, залежить від висоти Сонця над горизонтом. Чим вище Сонце, тим меншу товщу атмосфери проходить сонячна радіація. Для червоних променів атмосфера більш прозора, ніж для інших променів видимої частини спектра. При висоті Сонця близько $0,7$ рад = 40° спектральний склад радіації приблизно наступний: інфрачервоних променів 59%, видимих 40 і ультрафіолетових 1%. Слід зазначити, що при хмарності максимум інтенсивності сонячної радіації зміщується в бік більш довгих хвиль видимої частини спектра.

Приблизний розподіл енергії в спектрі сонячної радіації, що досягає земної поверхні, представлено на (рис. 2.1). Повний вплив сонячної радіації складається

з прямого опромінювання сонцем (пряма сонячна радіація) і опромінювання з боку атмосфери, що розсіює сонячні промені (розсіяна сонячна радіація).

Розсіювання світла атмосферою залежить від його спектрального складу і воно пропорційно обернено довжині світлової хвилі. Сині промені розсіюються в 5 разів сильніше червоних, а ультрафіолетові - в 30 разів. Цим пояснюється та обставина, що кількість ультрафіолетових променів в розсіяно радіації порівняно мало відрізняється від кількості їх у повній сонячній радіації.

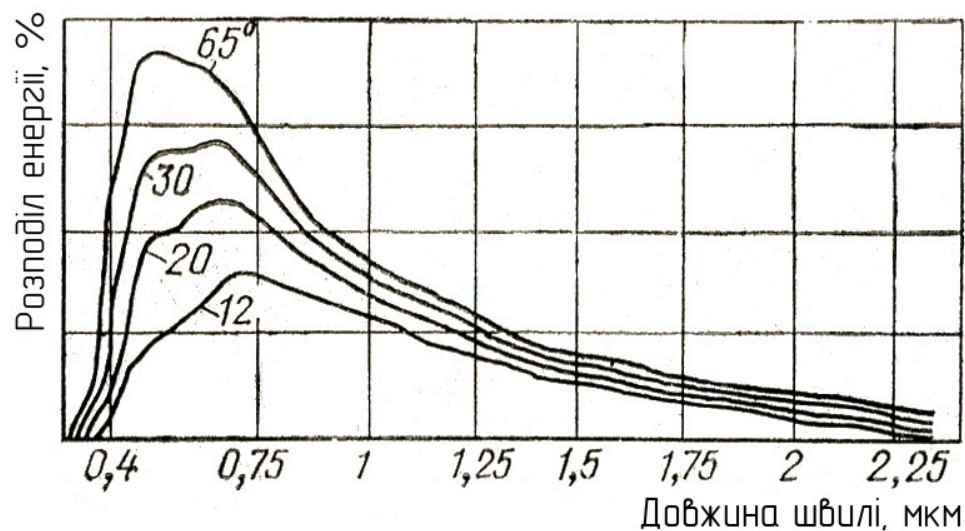


Рис. 2.1. Розподіл енергії в спектрі сонячної радіації при різних висотах Сонця, зазначених в градусах.

Інтенсивність прямої сонячної радіації на поверхні, перпендикулярної напрямку сонячних променів (за формулою Кастрова – Савинова), Вт/м²,

$$I_{\perp}^{\text{пр}} = \frac{1361}{1 + m \frac{1-p}{p}}, \quad (2.1)$$

де 1361 – сонячна постійна, Вт / м²;

m – відношення відстані, яку проходить променями в атмосфері товщині атмосфери вертикальному напрямку;

p – коефіцієнт прозорості атмосфери, змінюється в межах "від 0,7 до 0,8.

Залежність m від висоти Сонця до представлена в табл. 2.1.

Шлях пройдений сонячною радіацією в атмосфері, різко зростає в міру наближення Сонця до лінії горизонту. При цьому також різко знижується інтенсивність сонячної радіації, що досягає земної поверхні.

Для практично важливих значень $h > 0,09$ рад = 5° можна прийняти $m = \operatorname{cosec} h$ і інтенсивність прямої сонячної радіації на поверхні, перпендикулярної напрямку променів, в Вт/м² з достатньою точністю визначати за спрощеною формулою:

$$I_{\perp}^{\text{пр}} = 1361 = \frac{\sin h}{\sin h + \frac{1-p}{p}}, \quad (2.2)$$

Висота Сонця h визначається з формули

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \gamma, \quad (2.3)$$

де φ – географічна широта;

δ – схилення Сонця (табл. 2.2);

γ – годинний кут.

Так як 1 година відповідає обороту Землі навколо осі на $2\pi/24$ рад = 15° , тоді $\gamma = \frac{2\pi}{24} \tau_1$ рад, або $\gamma = 15 \tau_1$ місто, де τ_1 — час в ч, що відраховується від полудня.

Таблиця 2.1 – Залежність відносного шляху променів в атмосфері від висоти Сонця

Висота Сонця	1,5710/90	1,222/70	0,873/50	0,524/30	0,349/20	0.174/10	0/0
Відносний шлях променів в атмосфері, m	1,00	1,06	1,31	2,00	2,90	5,60	35,4

Примітка. У чисельнику в радіанах, в знаменнику в градусах.

Інтенсивність прямої сонячної радіації на горизонтальних і вертикальних поверхнях, до яких можуть бути віднесено забудову та діяльний шар (дорожнє покриття), тощо, виражається відповідно формулами:

$$I_{\text{гор}}^{\text{пр}} = I_{\perp}^{\text{пр}} \cdot \sinh, \quad (2.4)$$

$$I_{\text{верт}}^{\text{пр}} = I_{\perp}^{\text{пр}} \cdot \cosh \cdot \sin |\alpha - x|. \quad (2.5)$$

де x – кут в град, який визначає положення вертикальної поверхні щодо меридіана;

a – азимут Сонця (рис. 2.2).

Азимут Сонця

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \cdot \sin \gamma}{\cosh} \quad (2.6)$$

Таблиця 2.2 – Схиляння Сонця

Дата	δ		Дата	δ	
	Рад	град		рад	град
21.01	– 0,349	– 20,0	22.07	0,349	20,0
20.02	– 0,200	– 11,5	22.08	0,200	11,5
22.03	0	0	21.09	0	0
22.04	0,200	11,5	22.10	– 0,200	– 11,5
22.05	0,349	20,0	22.11	– 0,349	– 20,0
22.06	0,408	23,4	22.07	– 0,408	– 23,4

Для визначення інтенсивності повної сонячної радіації потрібно скласти інтенсивність прямої $I_{\perp}^{\text{пр}}$ і розсіяної $I^{\text{р}}$ радіації. Інтенсивність розсіяної сонячної радіації на горизонтальній поверхні $I_{\text{гор}}^{\text{р}}$ залежно від висоти Сонця h при безхмарному небі можна визначити за графіком, наведеним на (рис. 2.3). Інтенсивність розсіяної сонячної радіації на вертикальній поверхні $I_{\text{верт}}^{\text{р}}$ становить приблизно $0,5 I_{\text{гор}}^{\text{р}}$. При розрахунках теплового впливу сонячної радіації не потрібно великої точності визначення розсіяною радіації, і зазначених даних цілком достатньо.

Для розрахунків впливу сонячної радіації на урбанізованих територіях важливо визначити положення будинків, при яких тепловий вплив сонячної радіації на них буде максимальним.

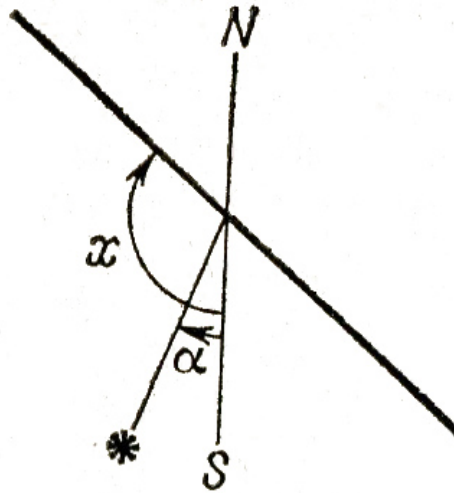


Рис. 2.2 – Кути, що визначають положення Сонця і опромінюється вертикальної поверхні щодо меридіана

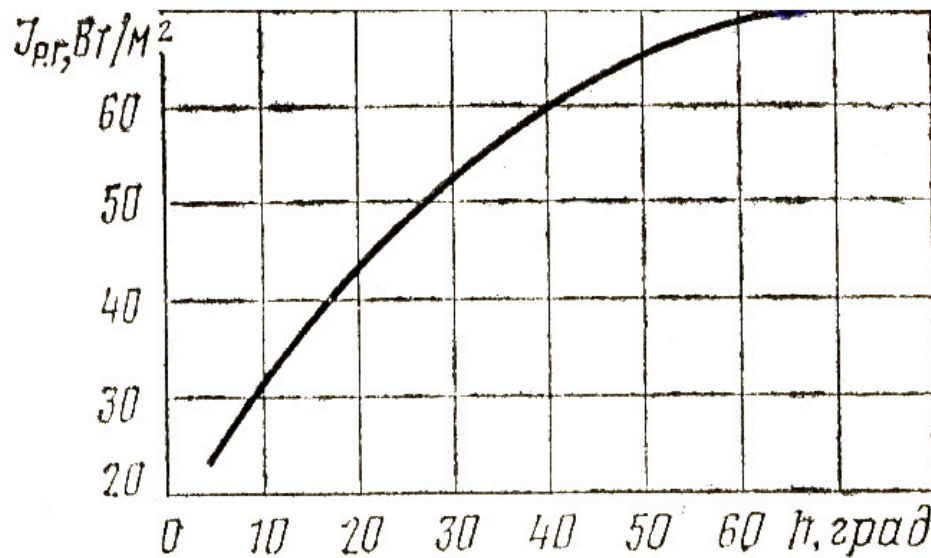


Рис. 2.3 – Інтенсивність розсіяної сонячної радіації при безхмарному небі в залежності від висоти Сонця

Інтенсивність сонячної радіації на горизонтальній поверхні, а отже, і кількість тепла, підведеного сонячною радіацією до горизонтальної поверхні не залежать від кута x . Найбільша кількість тепла, що підводиться сонячною радіацією до вертикальних поверхонь буде коли його бокова стінка орієнтована

перпендикулярно вертикальних площини падіння сонячних променів, тобто коли виконується умова:

$$|\alpha - x| = \pi/2 \text{ рад} \text{ — } 90^\circ. \quad (2.7)$$

Схиляння Сонця протягом дня залишається практично однаковим. Тому можна розглянути орієнтації будинків, відповідні максимальному впливу сонячної радіації на будинків, в залежності тільки від місцевого часу при середніх значеннях довготи і широти.

Викладене вище дозволяє більш точніше прогнозувати інтенсивність сонячної радіації, що падає на забудову і діяльний шар урбанізованих територій.

2.3 Теплообмін на поверхнях будинків доріг, тощо

Як відомо, на нагрітих поверхнях відбувається конвективний теплообмін з повітрям і променистий теплообмін з поверхнями стін будівель, дорожнього покриття тощо. Інтенсивність такого теплообміну оцінюється коефіцієнтом тепловіддачі [66]:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_v, \quad (2.8)$$

де α_k – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією;

α_v – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією використовують критерій залежності критерія Нуссельта Nu від критеріїв Грісгофа Gr і Прандтля Pr :

$$Nu = c(Gr Pr)^n. \quad (2.9)$$

Після визначення Nu розраховують значення конвективного коефіцієнта тепловіддачі:

$$\alpha_k = \frac{Nu \lambda}{d}, \quad (2.10)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності повітря;

d – визначувальний розмір.

Значення коефіцієнтів c і n , а також добуток Gr і Pr за формулою (2.9) можна визначити за відомим варіантом [65].

Необхідно враховувати променистий теплообмін з навколишніми об'єктами. Відповідно до закону Стефана - Больцмана енергія випромінювання абсолютно чорного тіла пропорційна четвертого ступеня його абсолютної температури. Закон Стефана - Больцмана поширюють і на інші тіла, але при цьому вводяться відповідні коефіцієнти випромінювання. Знаючи коефіцієнти випромінювання, температури, розміри і взаємне розташування об'єктів, між якими відбувається променистий теплообмін, можна отримати відповідні розрахункові формули.

Як відомо, для різних тіл коефіцієнт випромінювання різний. Його значення визначається фізичною природою тіла, станом її поверхні та її температурою. Цей закон встановлює залежність густини E_0 потоку інтегрального випромінювання тіла від його температури. Для абсолютно чорного тіла.

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4, \quad (2.11)$$

де σ_0 – постійна Стефана–Больцмана, $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$.

У технічних розрахунках цей закон застосовується в більш зручній формі:

$$E_0 = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (2.12)$$

де c_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла:

$$c_0 = \sigma_0 \cdot 10^{-8} = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4).$$

Отже, енергія випромінювання абсолютно чорного тіла пропорційна четвертому ступеню абсолютної температури.

Цей закон може бути застосований і до реальних тіл. У цьому випадку він набуває вигляду:

$$E = c \left(\frac{T}{100} \right)^4. \quad (2.13)$$

де c – коефіцієнт випромінювання тіла, він змінюється від 0 до 5,67.

Співставляючи густину потоку власного випромінювання тіла з густиною потоку випромінювання абсолютно чорного тіла при тій же температурі, отримують іншу характеристику тіла, яка називається ступенем чорноти ε :

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{c}{c_0}. \quad (2.14)$$

Значення ε змінюється від «0» до «1», що зручно.

У цьому випадку маємо для реального тіла:

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4. \quad (2.15)$$

Потік променевого теплообміну між двома сірими поверхнями в замкнутому контурі, коли одна з поверхонь – з площею F_2 – обтікає другу – з площею F_1 – визначається за формулою:

$$Q = \varepsilon_n c_0 F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (2.16)$$

де вираз:

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{F_2}{F_1} \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right)}$$

називається наведеним ступенем чорноти тіла.

Слід зазначити, що величина ε_n обернено пропорційна величині Альбеда.

Стосовно до будівель та дорожнього покриття прийнято: F_2 – поверхня навколо об'єкта; F_1 – поверхня будівель та дорожнього покриття.

Якщо розглядати останню формулу стосовно теплообміну на одиницю поверхні теплосприймаючої стінки, питомий тепловий потік випромінювання складе:

$$q_{\text{л}} = \varepsilon_n c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2.17)$$

Беручи до уваги, що питомий тепловий конвективний потік визначається за формулою:

$$q_{\text{к}} = \alpha_{\text{к}} (t_{\text{тр}} - t_{\text{п}}), \quad (2.18)$$

де $t_{\text{тр}}$ – температура тіла;

$t_{\text{п}}$ – температура повітря,

то сумарний потік тепла (q) конвекцією $q_{\text{к}}$ і випромінюванням $q_{\text{в}}$ дорівнює:

$$q = q_{\text{к}} + q_{\text{в}}. \quad (2.19)$$

Тоді, враховуючи вираз (2.18), отримують формулу для розрахунку коефіцієнта теплопередачі випромінюванням:

$$\alpha_{\text{в}} = 0,04 \varepsilon_n c_0 \left(\frac{T_m}{100} \right)^3. \quad (2.20)$$

У формулі (3.26) $T_m = 0,5(T_1 + T_2)$ – середня температура тіл, що обмінюються променевим теплом.

3. ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Існує значне число фізичних процесів між забудовою, діяльною поверхнею міста, антропогенними джерелами теплового забруднення і прикордонним шаром повітря, хід і розвиток яких визначає об'ємно-планувальна структура забудови і мікро- і еокліматичний режим приземного шару повітря міста.

З них виділимо лише ті, що є визначальними факторами створення острова тепла:

- теплонадходження від сонячної радіації;
- теплонадходження від антропогенних джерел;
- випаровування вологи;
- вимушена та вільна конвекція.

У місті переважає чергування поверхонь за формою, геометрією, масштабом, теплоємністю будівель і діяльного шару, що акумулюють тепло і нездатних випаровувати вологу.

Міська забудова в залежності від об'ємно-просторового планувального, композиційного рішення є вельми різноманітною складною структурою. Моделювання тепло-вітрових процесів в подібних структурах забудови - багатофакторна і вельми складне завдання.

3.1 Вплив сонячної радіації на поверхні урбанізованих територій

Потік сонячної радіації I_n , що надходить до міської забудови, падаючи на різні поверхні, послідовно відбивається і передається на інші її межі, втрачаючи при цьому перевідбиттю частину своєї енергії.

Тепловий баланс забудови і діяльного шару міста в наслідок дії сонячної радіації I_n у високому ступені залежить від інтегрального альбедо всіх штучних і природних поверхонь урбанізованих територій [50]. Для визначення альбедо міської забудови використовуються інструментальні вимірювання потоків

падаючої і відбитої радіації з борта літака або супутників при відповідних синхронних вимірах на поверхні досліджуваного рельєфу [64].

Антропогенне перетворення фізичних властивостей поверхні діяльного шару урбанізованих територій призводить не тільки до зміни його альbedo, а й проникності для атмосферних опадів і ґрунтових вод. У природних умовах витрати тепла на випаровування Q_w є однією з основних витратних частин теплового балансу земної поверхні. Міська забудова разом з діяльним шаром впливає на випаровування внаслідок порушення природного водного балансу поверхні водозборів, зменшуючи величину шару випаровування за рахунок скорочення випаровують площ і відведення частини поверхневого стоку мережами зливової каналізації.

За рахунок зниження витрат тепла на випаровування, енергія сонячної радіації в більшій мірі витрачається на турбулентний теплообмін $Q_{\text{пов}}$ з атмосферою і власне на накопичення тепла $C_{\text{урб}}$ забудовою і поверхнею діяльного шару з подальшим інфрачервоним випромінюванням, що й підсилює температурну аномалію над містом [64].

3.2 Тепло-вітрові процеси на урбанізованих територіях

Вітровий режим території визначається двома факторами: термічною неоднорідністю та характером поверхні діяльного шару [63]. Вітер, поширюючись з області підвищеного тиску в область нижчого атмосферного тиску, викликаного різницею температур у двох точках земної поверхні, і зустрічаючи на своєму шляху різні природні та штучні перепони, нерівності та шорсткості, змінює не тільки швидкість, а й напрямок потоку. Значний вплив на поле швидкості вітру на поверхні Землі надає урбанізація. Антропогенні зміни вітрового режиму відбуваються внаслідок зміни шорсткості поверхні внаслідок вирубування лісу та будівництва житлових та промислових будівель, зміни

термічного режиму атмосфери. У місті більше безвітряних днів, ніж у сільській місцевості, а максимальна швидкість вітру середньому на 10-20% менше [50].

Циркуляційні механізми, що виникають при обтіканні повітряним потоком перешкод, називаються динамічною або вимушеною конвекцією. Навколо будівель, що особливо мають великі габарити, формується вітровий режим, відмінний від навколишньої території і що характеризується підвищеними швидкостями вітру та утворенням зон турбулентності. [60].

Наближаючись до перешкоди (будівлі), повітряний потік сповільнюється, створюючи позитивний тиск повітря (зона підпору повітря) з навітряного боку та негативний тиск (вітрову тінь) – з підвітряного боку. При цьому повітряний потік, що обтікає будівлю зверху та з боків, прискорюється, компенсуючи викликане наявністю будівлі зменшення площі перетину. Найбільше посилення вітру відбувається у приземному шарі, особливо якщо будівля розташована на відкритій території або оточена малоповерховою забудовою. Максимальні пориви вітру виникають довкола кутів навітряного фасаду. Чим вище будівля, тим вище швидкість потоку, що огинає будівлю [61, 62].

Зазначена закономірність має ідеалізований характер, оскільки в реальних умовах перешкода є не окремим пагорбом або будівля на плоскій поверхні, а сукупність елементів різної форми та розміру, який змінює структуру повітряного потоку ще до підходу до перешкоди.

Надійних кількісних оцінок зміни параметрів повітряного потоку (зміна середньої швидкості у приземному шарі) при його проходженні через міську забудову в залежності від її морфологічних параметрів (висоти, густини, контрастності) досі не знайдено.

Вплив великого міста на вітровий режим проявляється не тільки у зниженні швидкості вітру та зміні напрямку потоку при обтіканні перешкоди. температурна аномалія, що виникає над містом і посилюється до центру міста, сприяє утворенню баричної депресії в нижніх шарах атмосфери, а при слабких вітрах та

штилі може виникнути місцева циркуляція "Бризового типу" (рис. 3.1). У поверхні землі течії спрямовані до центру забудови, де знаходиться «острів тепла», а зверху спостерігається відтік повітря до околиць міста. У зв'язку з цим на околицях міста може спостерігатись посилення швидкості вітру в порівнянні з найближчими передмістями та його центральною частиною. В умовах нестійкої стратифікації атмосфери та відсутності інверсій таке явище має позитивний ефект із погляду самоочищення атмосфери міста [53, 56, 57, 58, 59].

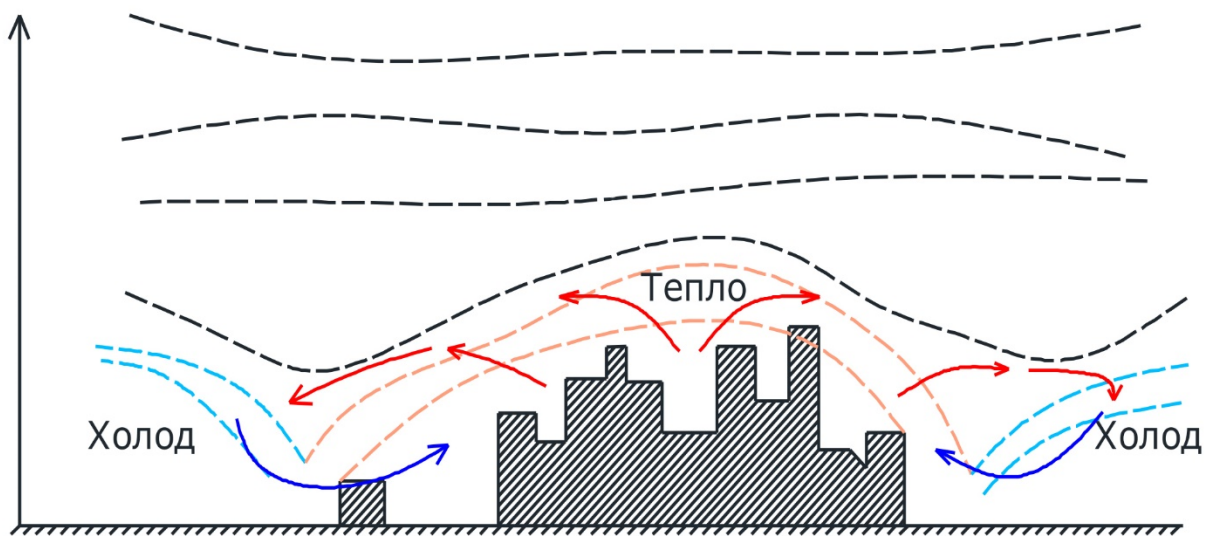


Рис.3.1 – Міська циркуляція, що розвивається за слабких вітрів

За наявності у місті складного рельєфу у приземному шарі атмосфери можливе утворення гірничо-долинної циркуляції [51, 52, 53, 54, 55]. Термодинамічний вплив горбистого рельєфу на вітер у передвечірні та нічний час проявляється у вигляді низхідних течій, які часто простежуються при антициклональній погоді з невеликими швидкостями градієнтного вітру. Наявність таких вітрів на горбистій рельєфі призводить до утворення зон застою та вихолоджування повітряних мас у пониженнях і до більшої відмінності температур повітря між підвищеними та зниженими ділянками. Це має велике значення у прийнятті рішень про розміщення виробничих зон та відкритих озелених територій.

Однак, аналіз об'ємно-планувального вирішення існуючих і проєктованих міських забудов показує, що в їх планувальній структурі переважають багаторазово повторювані здебільшого лінійні, рядкові і відкриті планувальні схеми забудови, що утворюють міські каньйони з протилежно розташованими між собою будівлями і створюють архітектурний вигляд мережі доріг, вулиць, територій між будинками, тощо.

Завдання набагато спрощується, якщо розглянути деякі об'ємно просторові форми і активні поверхні, які повторюються в усій міській забудові та характерні практично для всіх міст. Такими є міський каньйон (рис. 3.2), що складається зі стін протилежних фасадів будівель і діяльного шару міжбудинкових територій.

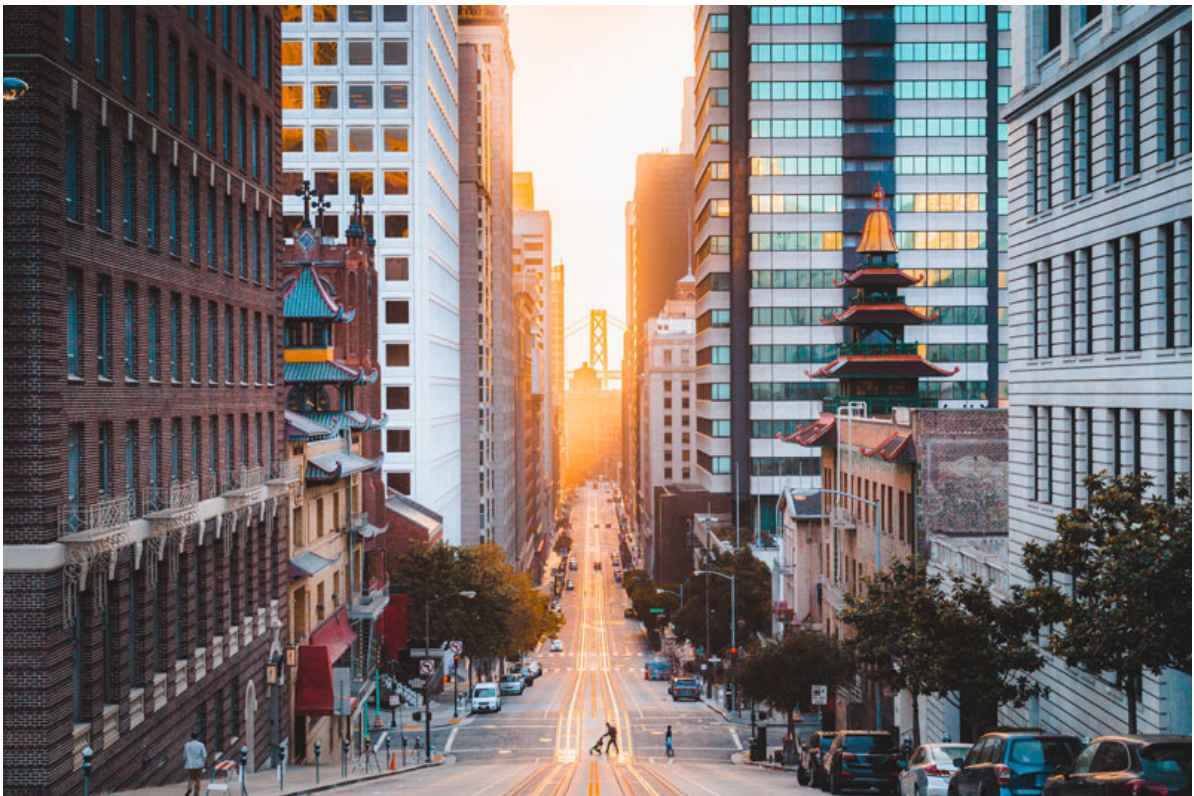


Рис. 3.2 – Приклад вуличного каньйону

Обсяг повітря, що міститься в такому каньйоні, з трьох сторін обмежений активними поверхнями (дві стіни і діяльний шар території) і з трьох боків відкритий (одна сторона - на рівні дахів будівель і дві - на вході і виході з

каньйону). Такого роду модель враховує тривимірну структуру міської забудови і дозволяє включити в розгляд взаємодія між сусідніми будівлями або рядами протилежно розташованих будівель і діяльним шаром між ними. Для більшості міст характерна прямокутна мережа вулиць, орієнтована широтно і меридіонально по сторонах світу. Кожна з них має свій власний мікро-і екологічний клімат в залежності від умови інсоляції діяльної енергоактивні поверхні, термічних умов, геометричного розміру, відносини ширини до висоти каньйону і щільності забудови.

З урахуванням формул 1.1 і 1.2 в загальному вигляді рівняння теплового балансу міського каньйону може бути записано таким чином [50]:

$$I_n + Q_F = C_{\text{урб}} + Q_{\text{пов}} + Q_W \quad (3.1)$$

де I_n – ефективне випромінювання, рівне різниці між довгохвильовим випромінюванням земної поверхні і зустрічним випромінюванням атмосфери, поглинутим землею поверхнею;

Q_F – потік антропогенного тепла;

$C_{\text{урб}}$ – тепло акумульоване в будівлями і діяльним шаром міжбудинкової території, враховуючи тепло виділене внутрішніми антропогенними джерелами, тощо;

Q_W – потоки прихованого тепла фазових переходів (випаровування, замерзання);

$Q_{\text{пов}}$ – конвективний і променевий теплообмін з повітрям, будівлями та діяльним шаром міжбудинкової території, тощо при цьому він складається з таких компонентів:

$$Q_{\text{пов}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (3.2)$$

де Q_1 – теплообмін між фасадом будівлі, що опромінюється сонячною радіацією;

Q_2 – теплообмін між фасадом будівлі, що знаходиться в тіні;

Q_3 – теплообмін на дахах будівель;

Q_4 – теплообмін з діяльним шаром;

Q_5 – потік тепла, що проходить через стіни, обумовлений різницею температури пристінного повітря та повітря у приміщенні.

Таким чином, до основних особливостей формування тепловитрового режиму міського каньйону можна віднести наступні (рис. 3.3):

- підвищення за рахунок збільшення опромінюваних і тіньових вертикальних стін будівель і горизонтального діяльного шару прибудинкової території різниці температур і тиску в двох протилежних точках ($t_{з.п}$, t_2 , t_3 , t_4), яке формує градієнт тиску або просто градієнтну силу, під дією якої частки повітря починають рухатися;

- утворення за рахунок термічних контрастів просторових поверхонь каньйону різниці температур повітряних потоків конвективного характеру, так званого «ефекту аеродинамічної тяги »;

- енергетичний обмін між повітряним середовищем каньйону $Q_{пов}$ і прилеглим опромінюваними та тіньовими фасадами будівель Q_1 і Q_2 ;

- енергетичний обмін між повітряним середовищем каньйону $Q_{пов}$ і дахами будівель Q_3 ;

- енергетичний обмін Q_4 між повітряним середовищем каньйону $Q_{пов}$ з діяльним шаром прибудинкової території $C_{урб}$;

- енергетичний обмін Q_5 між повітряним середовищем каньйону $Q_{пов}$ з повітрям приміщень $C_{урб}$;

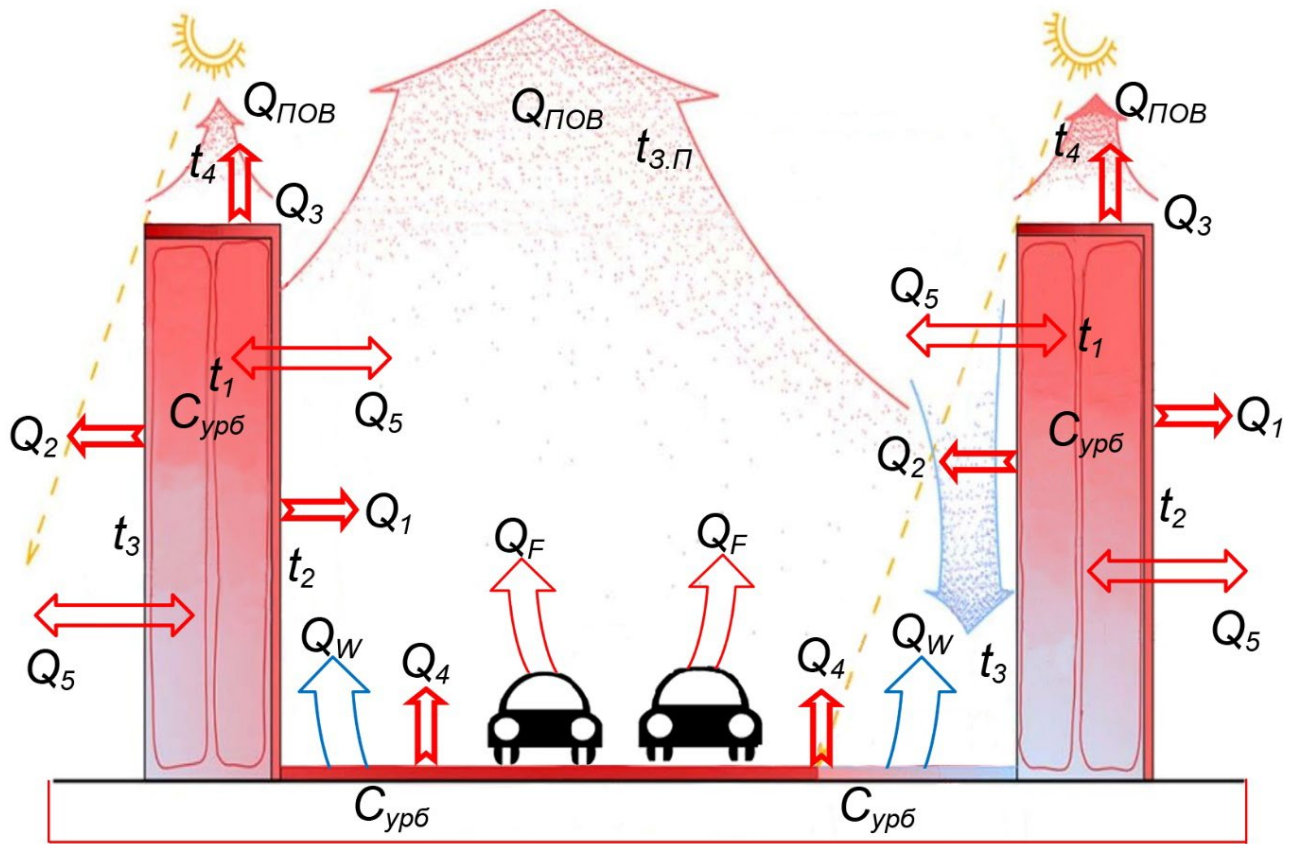


Рис. 3.3 – Моделювання процесу трансформації тепла та повітряного потоку міського каньйону

Тепловіддача стін будівлі, даху та діяльним шаром прибудинкової території (Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4) конвекцією та випромінюванням визначається за формулами (3.3, 3.4):

Тепловіддача стін, даху будівлі та горизонтальних брукувок конвекцією визначається

$$q_k = \alpha_k F ((t_2, t_3, t_4) - t_{3.п}), \quad (3.3)$$

$$q_b = \alpha_b F ((t_2, t_3, t_4) - t_{3.п}), \quad (3.4)$$

де α_k , α_b – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та випромінюванням поверхонь у $Вт/м^2$;

t_2, t_3, t_4 – відповідно температура вертикальних стін або горизонтальних поверхонь, °C;

$t_{3.п}$ – температура прилеглого пристінного або приземного повітря, °C;

F – площа теплопередаючих поверхонь, м².

Потік тепла, що проходить через стіни, обумовлений різницею температури пристінного повітря та повітря у приміщенні обчислюється:

$$Q_5 = \alpha_n F (t_1 - t_{3.п}) \quad (3.5)$$

де α_n – коефіцієнт теплопередачі стін;

t_1 – температура повітря у приміщенні.

Головним фактором у формуванні мікрокліматичних відмінностей, в Зокрема, теплових змін, руху повітряних потоків і зміни вологості повітря в просторі між будинками, є теплофізичні процеси, які обумовлюють тепловий баланс міського каньйону.

3.3 Теплове забруднення антропогенними джерелами

Потік антропогенного тепла Q_F виникає в наслідок діяльності комунальних господарств, промисловості і транспорту, які і створюють колосальне теплове навантаження на паливно-енергетичне господарство міст. Покриття цього навантаження вимагає витрати великої кількості палива, що, в свою чергу, призводить до масштабного впливу на стан міського середовища - зокрема, до його теплового забруднення.

Наприклад: величина споживання моторного палива й відповідно, виділення теплової енергії від його спалювання залежить від інтенсивності експлуатації автотранспорту і метеоумов, що впливають на режим руху транспортних засобів – часу прогріву двигунів, середньої швидкості руху транспортних потоків, часу роботи двигунів на холостому ходу. Так, за даними «Головного управління статистики у дніпропетровській області» на території Дніпропетровської області за 2020 рік було реалізовано понад 500 тис. тонн бензину різних марок та інших

видів моторного палива, сумарна теплота згоряння яких становить $141,96 \times 10^{15}$ Дж.

Прогнозування теплового забруднення антропогенними джерелами є досить прогнозованим, всі вони споживають паливно-енергетичні ресурси, тому враховуючи викладене вище то в загальному вигляді математично можна виразити таким чином:

$$Q_F = \sum q_n \times m_n \times k_n + \sum q_n^k \quad (3.6)$$

де q_n – питома теплота згоряння $n^{\text{го}}$ виду палива;

m_n – маса палива $n^{\text{го}}$ виду палива;

k_n – коефіцієнт корисної дії $n^{\text{го}}$ антропогенного джерела;

q_n^k – тепло вироблене на обігрів будівель включаючи гарячу воду для водопостачання.

Активне життя людей починається вранці й триває до вечора, саме на ці години доби припадає найбільше споживання паливно-енергетичних ресурсів, як наслідок зростає рівень теплового забруднення антропогенними джерелами.

3.4 Розподіл температури забудови і діяльного шару урбанізованих територій в часі

Стік тепла з штучних і природних поверхонь не однаковий, це обумовлено різною теплоємністю поверхонь, як наслідок різна теплова інерція.

Кількість тепла $C_{\text{урб}}$, що акумулюється будівлями і діяльним шаром, тощо, залежить від теплотехнічних властивостей матеріалів - здатності накопичувати і віддавати тепло. Чим тривалішим є процес накопичення тепла і його віддача, тим більш інертний матеріал.

Для прикладу розглянемо інертний матеріал в якості якого буде частина стіни будівлі.

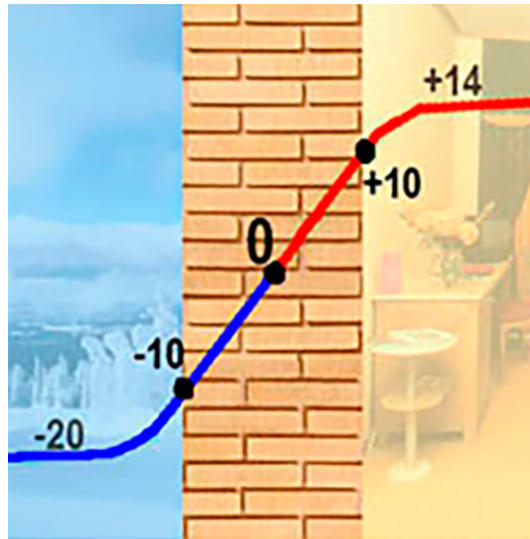


Рис. 3.3 Частина стіни будівлі без утеплення

В Україні житловий фонд складає старі будівлі без утеплення, які мають високу теплову інерцію.

Як проілюстровано на рис. 3.3 основна частина теплового стоку взимку і теплонадходження влітку гаситься за рахунок стін, які зазвичай зроблені з бетону, цегли, тощо, тобто з більш інертних матеріалів, які здатні накопичувати тепло. Зазвичай будівлі, дорожнє покриття тощо, мають високу теплову інерцію пом'якшують зовнішню температуру. Це пом'якшення полягає в повільному підйомі і повільному зниженні температури поверхонь забудови та діяльного шару [49]. Завдяки тепловій інерції матеріалів в ранкові години зберігається вплив нічного охолодження, а з настанням ночі, навпаки - накопичене вдень тепло (при відсутності вітру «провітрювання») не дозволяє температурі різко знизитися.

Утеплення будівель значно впливає на стік тепла не тільки в зимовий період, а також і в сонячні дні влітку.

Для прикладу розглянемо частину утепленої стіни будівлі.



Рис. 3.4 – Частина стіни будівлі з теплоізоляцією

Як проілюстровано на (рис. 3.4) основна частина теплового стоку взимку і теплонадходження влітку гаситься за рахунок теплоізоляції, теплоємність такої стіни (будівлі) буде дорівнювати теплоємності матеріалу облицювання та половині ємності утеплювача, тобто утеплена будівля зовні має низьку теплову інертність.

Ефективність утеплення будівель давно доведено але в працях не висвітлені результати досліджень про вплив утеплення будівель на міський острів тепла.

Проаналізуємо вплив утеплення будівель на міський острів тепла.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА РІЗНІ ПОВЕРХНІ

Експеримент на теперішній час є одним з пріоритетних способів отримати дані про процеси, які протікають на поверхні будівель. Автором проведено експеримент метою якого є перевірка теоретичних положень, а також отримання даних для обґрунтування дослідження.

4.1 Розрахунки та моделювання температури поверхонь з однаковою площею і різною теплоємністю в наслідок дії сонячної радіації

Розрахунок зроблений для двох поверхонь (стін) одна з яких має теплоізоляційне покриття (утеплення) розміри та фізичні параметри наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розміри та фізичні параметри стін

№п/п	Параметр	Значення
1	Площа стін, м ²	1
2	Товщина стін, м	0,5
3	Інтенсивність прямої сонячної радіації на стіні, м ² /Вт	811
4	Наведений спінь чорноти матеріалу стін, ε_n	0,9
5	Теплоємність стін	
5.1	Стіна без утеплення $C_{\text{буд}}$, кДж/(кг·К)/кВт	720/0,2
5.2	Стіна з утепленням $C_{\text{буд}}$, кДж/(кг·К)/кВт	27,4/0,008
6	Температура повітря $t_{\text{з.п}}$ (зовнішня), С°, $t_{\text{з.п}} = t_{\text{стін}}(0)$	18

Для розрахунку температури нагріву стін $t_{\text{стін}}$, враховуючи формулу 3.1 можна записати:

$$t_{\text{стін}}(\tau) = t_{\text{стін}}(0) + \frac{I_n \cdot \text{альбедо} - (q_k + q_v)}{C_{\text{буд}}} \cdot \tau \quad (4.1)$$

де $t_{\text{стін}}(0)$ – початкова температура стін.

Дані, що отримані при проведенні математичного експерименту, представлені на графіках (рис. 4.1).

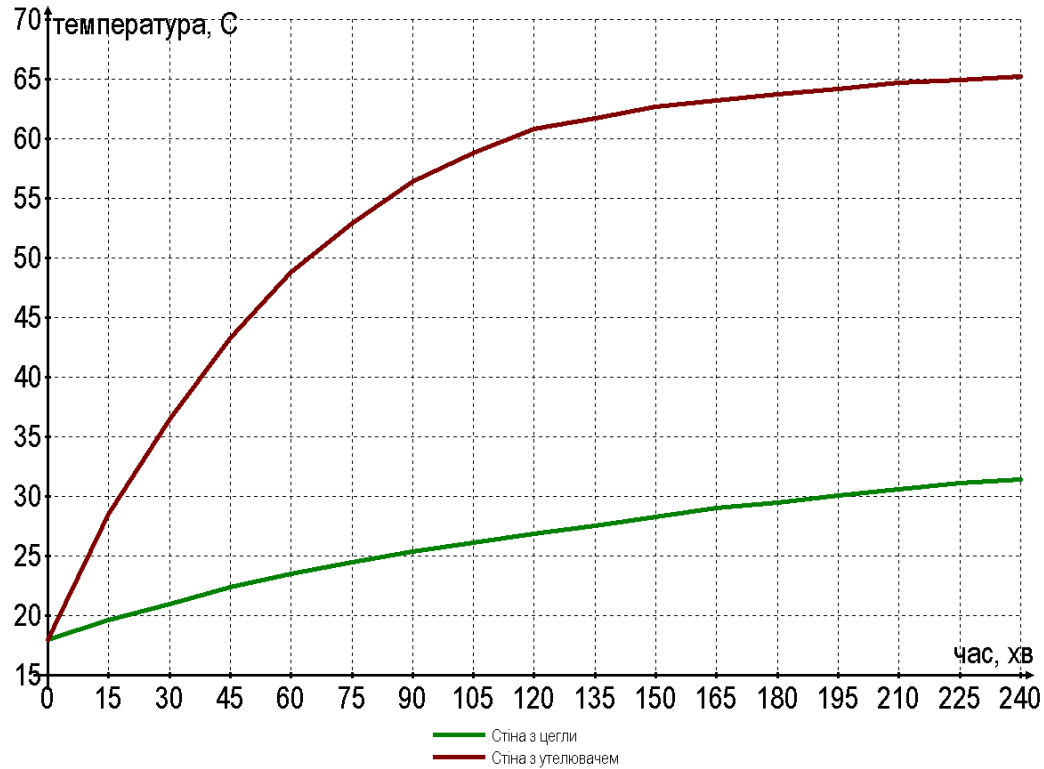


Рис. 4.1 – Залежності температур поверхні стін від їх теплоємності

За даними графіків (рис. 4.1) в наслідок дії сонячної радіації температура поверхні стіни з цегли підвищується майже пропорційно до часу. Температура поверхні стіни з утеплювачем підвищується параболічно до часу, тобто за короткий проміжок часу (≈ 60 хв.) температура інтенсивно підвищується до 48°C . За другу годину температура підвищилася $\approx 10^{\circ}\text{C}$. Це пояснюється тим, що із зростанням температури поверхні стіни збільшується її тепловіддача в зовнішнє середовище.

Результати математичного моделювання свідчать, що стіни будівель які утеплені, влітку під дією сонячної радіації будуть нагріватися швидше і матимуть значно більшу температуру, тобто такі будівлі не акумулюють тепло. За рахунок більшої температури поверхні стіни з утеплювачем будуть значно більше нагрівати повітря. Після зниження інтенсивності сонячної радіації ввечері буде

швидко знижуватися їх температура, тобто перепади температури вдень і вночі збільшаться.

4.2 Дослідження параметрів впливу утеплення будівель на тепловий баланс урбанізованих територій.

У цьому розділі приведені дані експериментальних досліджень, метою яких було підтвердження теоретичних викладок автора, щодо впливу утеплення будівель на тепловий баланс урбанізованих територій.

01.09.2021 року в м. Дніпро автором були проведені експериментальні вимірювання температур, зокрема будівель з цегли і з утеплювачем, які піддані впливу сонячної радіації. Виміри проводилися безконтактним інфрачервоним термометром «Extools WH320», заводський № 1201595, діапазон вимірювання від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+330\text{ }^{\circ}\text{C}$; абсолютна похибка вимірювань становить $\pm 2\%$ від вимірюваного значення.

Експериментальні виміри включали в себе вимірювання на протязі світлового дня температури стін будівель які розташовані під однаковим кутом до сонця. Графік інтенсивності сонячної радіації (рис. 4.2) отримано розрахунковим методом на підставі розрахункових формул наведених в розділі 2, результати вимірів наведено на графіку (рис. 4.2)

За даними графіків (рис. 4.2) в наслідок дії сонячної радіації, температура поверхні стін з 7 до 11 годин ранку підвищується повільно (стіни знаходяться в тіні) і мають вплив тільки розсіяної сонячної радіації. З 11 до 15 години інтенсивність сонячної радіації зростає, це пов'язано з поворотом земної кулі, як наслідок на стіни починає діяти сонячна радіація, разом з тим починає зростати температура стін. Як видно з даних графіків температура стіни з утеплювачем зростає інтенсивніше і має більшу температуру на $\approx 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. З 16 години інтенсивність дії сонячної радіації знижується і температура стін також, але

температура стіни з утеплювачем знижується інтенсивніше і до 17 години знизилася на ≈ 15 °C, в той час температура стіни з цегли знизилася на ≈ 5 °C.

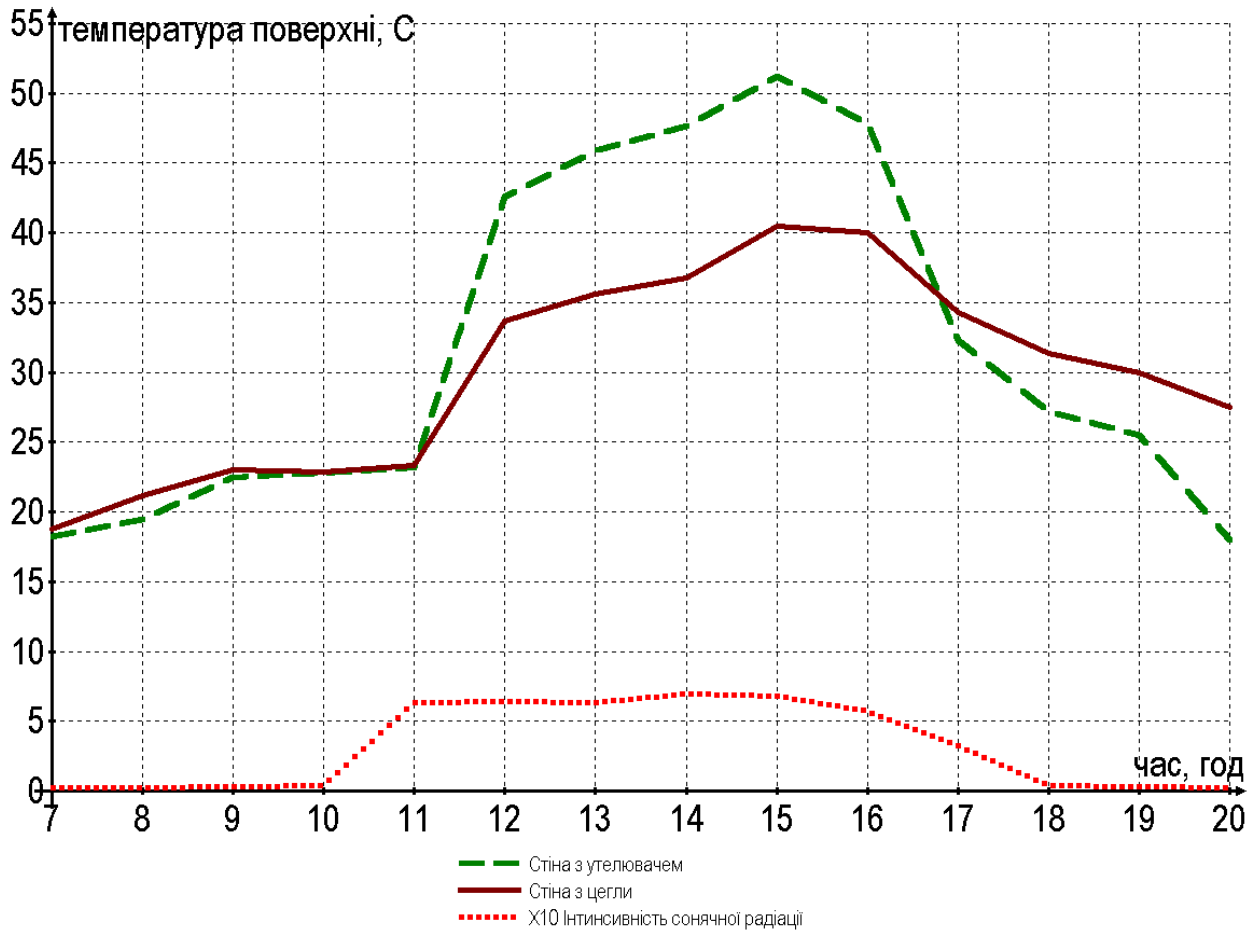


Рис. 4.2 – Графіки експериментальних вимірів стін будівель

За даними графіків (рис. 4.2) в наслідок дії сонячної радіації, температура поверхні стін з 7 до 11 годин ранку підвищується повільно (стіни знаходяться в тіні) і мають вплив тільки розсіяної сонячної радіації. З 11 до 15 години інтенсивність сонячної радіації зростає, це пов'язано з поворотом земної кулі, як наслідок на стіни починає діяти сонячна радіація, разом з тим починає зростати температура стін. Як видно з даних графіків температура стіни з утеплювачем зростає інтенсивніше і має більшу температуру на ≈ 10 °C. З 16 години інтенсивність дії сонячної радіації знижується і температура стін також, але температура стіни з утеплювачем знижується інтенсивніше і до 17 години

знизилася на ≈ 15 °C, в той час температура стіни з цегли знизилася на ≈ 5 °C. О 20 годині різниця температури між стінами складала ≈ 10 °C. В той час різниця температур стіни з цегли з 20 до 7 години складає ≈ 9 °C, температура стіни з утеплювачем з 20 до 7 години має практично однакову температуру, що й підтверджує теоретичні викладки автора (результати математичного моделювання) викладені в 3 розділі, а саме стіни будівель, що утеплені, влітку під дією сонячної радіації нагріваються швидше і мають більшу температуру, тобто такі будівлі не акумулюють тепло, тобто перепади температури вдень і вночі зростають.

Також було встановлено, що сонячна радіація, що надходить всередину міської забудови, падаючи на грані забудови, послідовно відбивається і передається на інші грані, втрачаючи при кожному перевідображенні частину своєї енергії. У результаті, при кожному перевідображенні гранями додатково поглинається якась частина цієї радіації і загальне поглинання радіації з кожної грані стає більшим, ніж у аналогічній відбивної здатності гранеподібних поверхонь у разі, якби вона була розташована на відкритому просторі.

4.3 Карта островів тепла міста Дніпро

Аналіз наведеного знімка (рис. 4.3) свідчить, що центри високої температури узгоджуються з промисловими зонами та забудованими районами. Також виділяються основні житлові райони і навіть основні дороги. Зони які мають менш щільну забудову мають меншу температуру, але їх температура вища за температуру околиць міста. Тобто, міський острів тепла в цілому складається з центрів високої температури, між якими присутні зони з меншою температурою (діяльний шар території), що й підтверджує вибір автора в якості підоснови для моделі міського каньйону з яких і складається з центр високої температури.

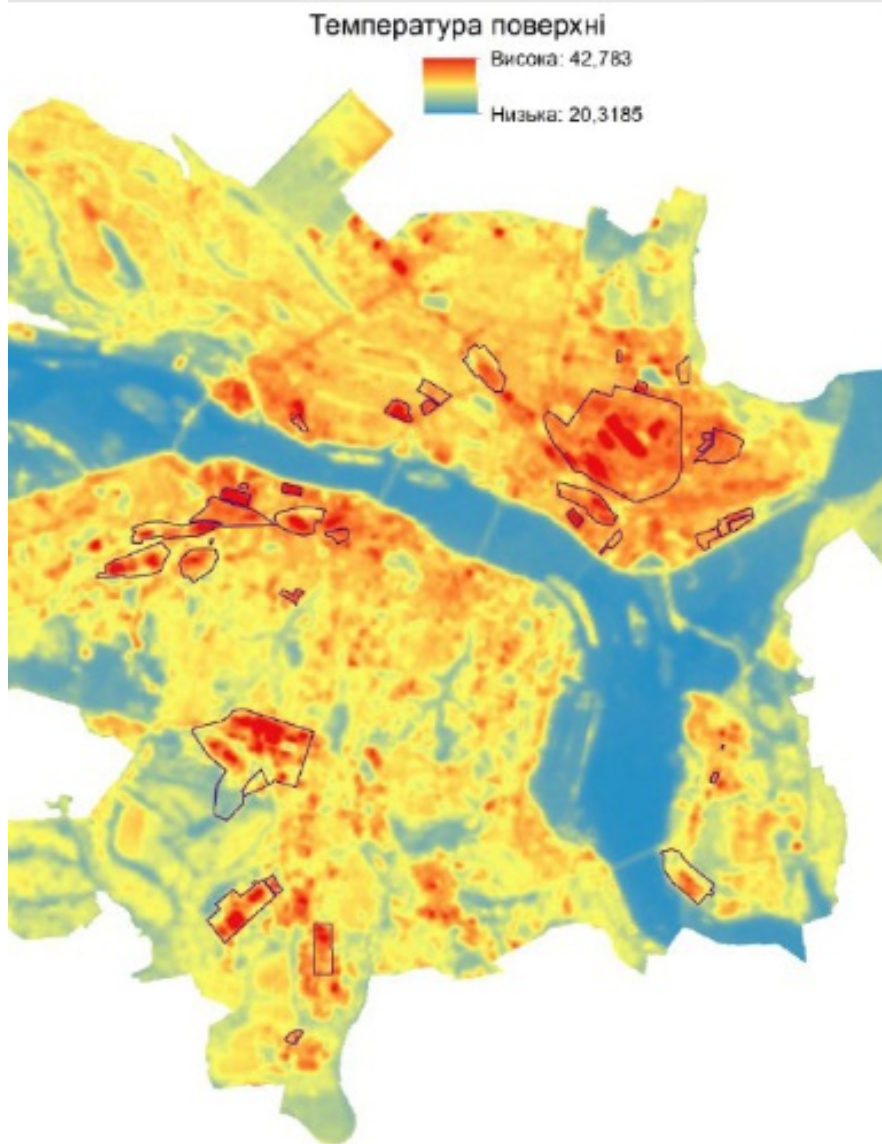


Рис. 4.3 – Знімок із супутника температури поверхні міста Дніпро отриманий в червні 2021 році

4.4 Аналіз експериментальних та розрахунково-аналітичних даних.

Досліджено зміну таких кліматичних показників як температура повітря, кількість опадів та їх режим, швидкість вітру в приземному шарі атмосфери. Порівняння кліматичних характеристик виконано за даними інструментальних спостережень на метеостанціях м. Дніпро та його передмістя. Було виявлені відмінності, що спостерігаються між кліматичними характеристиками міста та

навколишнього його території. Деформації полів метеоелементів пов'язані зі зміною розміру природних складових теплового балансу в умовах міської забудови, зокрема – балансом короткохвильової радіації, що є одним із основних кліматоутворюючих факторів.

На території міста всі складові радіаційного балансу змінюються під впливом господарської діяльності, отже:

- пряма сонячна радіація послаблюється за рахунок збільшення вмісту в повітрі аерозолів, хімічного забруднення атмосфери та збільшення загальної хмарності;
- розсіяна сонячна радіація, навпаки, збільшується за рахунок тих самих факторів;
- альbedo поверхні змінюється в результаті будівництва штучних поверхонь, застосування оздоблювальних та покрівельних матеріалів з поглинаючими та відбиваючими властивостями, що відрізняються від природних елементів рельєфу.

Інтенсивність потоку прямої сонячної радіації у місті при ясному небі на 10% менша, ніж за містом. Найбільші відмінності відзначаються при низькому сонці (ранок та вечір) та в зимовий час, коли інтенсивність сонячної радіації найбільшою мірою залежить від оптичної маси атмосфери. Скорочення сонячної радіації відбувається також за рахунок збільшення балу загальної та нижньої хмарності у місті. Однак влітку, коли сонячна радіація досягає максимальних значень, відмінностей між містом та передмістям майже не спостерігається. Річна сума сонячної радіації у м. Дніпро менша, ніж у приміській місцевості.

Розсіяна радіація при безхмарному небі або однакова, або у міській зоні більше, ніж у передмісті. За рахунок впливу хмарності розсіяна радіація у місті виявляється на 45% більше, ніж при безхмарному небі, що компенсує зниження сонячної радіації. У результаті розмір сумарної радіації, що приходить до поверхні міста практично не відрізняється від сумарної радіації за містом.

Відмінності становлять порядку 3%, що вкладається у похибку інструментальних вимірів.

Отже, робимо висновок, що у техногенному енергобалансі міста можна умовно виділити 3 основні прибуткові частини, пов'язані з прямим виділенням тепла в навколишній простір:

1. пряме енергоспоживання, що полягає у спалюванні органічного палива для вироблення тепла та електроенергії, а також отримання механічної енергії, включаючи автотранспорт;
2. споживання продуктів із наступним виділенням метаболічного тепла;
3. термічне знищення органічної частини відходів товарно-сировинної маси, що використовується містом у господарстві та промисловості.

Серед перерахованих прибуткових частин енергобалансу пряме енергоспоживання має домінуючу роль.

ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд наукових публікацій, спрямованих на вивчення теплового балансу урбанізованих територій. Встановлено, що поряд з порівняно великими обсягами досліджень із вивчення теплового балансу урбанізованих територій завдання попереднього прогнозування тепло-вітрового режиму міського простору не висвітлені і вимагають більш ефективних рішень.

2. Проведено аналіз факторів які впливають на формування теплового балансу урбанізованих територій. Встановлено, чотири основних чинника що суттєво впливають на тепловий баланс урбанізованих територій, а саме:

- за рахунок яких відбувається нагрівання території до них відноситься сонячна радіація і антропогенні джерела;
- за рахунок яких охолоджується територія до них відноситься латентний тепловий потік і повітряних потоків конвективного характеру.

3. Розроблено методику оцінки теплового балансу урбанізованих територій з розділенням території на міські каньйони, що за рахунок урахування взаємозв'язків компонентів радіаційного балансу, елементів забудови та діяльного шару дозволяє підвищити якість оцінки теплового балансу урбанізованих територій, досліджувати тепловий баланс за різних умов та здійснювати порівняльний аналіз на стадіях проектування міської забудови.

4. Виконані теоретичні та експериментальні дослідження факторів, що до впливу утеплення фасадів будівель на тепловий баланс урбанізованих територій. Отримані результати свідчать, що стіни будівель які утеплені, влітку під дією сонячної радіації нагріваються швидше і мають значно більшу температуру в порівнянні з стінами без утеплення, За рахунок більшої температури поверхні стіни з утеплювачем значно більше нагрівають повітря. Після зниження інтенсивності сонячної радіації ввечері швидко знижуються їх температура, тобто перепади температури вдень і вночі збільшуються.

5. Наголошується, що при вирішенні задачі по визначенню складових теплового балансу урбанізованої території, виходять з того, що все тепло, що отримується забудовою та діяльним шаром у вигляді сонячної радіації з урахуванням виділеного тепла антропогенними джерелами в кожен конкретний момент часу і за будь-якої проміжок часу, має бути витрачено без залишку.

6. Враховуючи взаємозв'язок компонентів радіаційного балансу, забудови та специфіки поверхонь, можна провести прогнозування теплового балансу з метою поліпшення мікроклімату.

7. Складена на стадії проектування математична модель теплового балансу міської забудови дозволяє попередньо прогнозувати тепловий режим міського простору, а також дозволяє визначити та запланувати ефективні способи його регулювання архітектурно-будівельними засобами та методами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- 1 Art. H. Rosenfeld, H.Akbari, S.Bretz, D. Sailor, H. Taha. Mitigation of Urban Heat Islands: Materials, Utility Programs, Updates. Journal of Energy Efficiency, Vol. 1, No. 1, 1993. P. 1-20.
- 2 Oke T.R. The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 108 (455), 1992. P. 1-24
- 3 Taha H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat / Energy and Buildings 25, 1997. P. 99-103
- 4 Flohn, H. Saharization: Natural causes or management, WMO Special Environmental Report, No. 2, WMO No. 312, 1971. Geneva, P. 101-106.
- 5 Chander, T.J. Wind as a factor of urban temperatures: A survey in North-East London. Weather, Vol. 15, No. 6, 1960. P. 204-213.
- 6 Thurow, Charles Improving street climate through urban design. American Planning Association 1983.
- 7 Taha, H, Akbari, H, and Rosenfeld, A. Vegetation micro-climate measurements: the Davis project Lawrence Berkeley Laboratory 1989. Report No. 24.
- 8 Taha, H, Akbari, H., Rosenfeld, A. Heat island and oasis eff of vegetative canopies: Micro-meteorological field measurements. Theoretiazl and Applied OimRtology, 1991. Vol. 44. P. 123-138.
- 9 Gay, LW. and Stewart, J.B. Energy balance studies in coniferous forests. Report No. 23, Instit. Hydrol., Natural Environ. Res. Counal, Wallingford, Berks. 1974.
- 10 Mc.Naughton, Black, T.A. (1973) A Study of evapotranspiration from a douglas forest using the energy balance approach. Water Resources Res., Vol. 9, 1990. P. 15-79.
- 11 Grimmond, S. and Oke, T.. "An evapotranspiration-interception model for urban areas", Water Resources . Resettrch, Vol. 27, No.7, 1991. P. 1739-1755.
- 12 Oka, Tatsou. Thermal environment in urban areas. Report D7. 1980, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden. 1980.

13 Gao, W., Miura, S., and Ojima, T. "Site survey on formation of cool island due to park and inner river in Kotoku, Tokyo", 1994. J. of Archit. Plann. Environ. Engng., AIJ, No. 456.

14 Taha, H. Meteorological and photochemical simulations of the South Coast Air Basin. A chapter in a report on Energy Efficiency and Air Quality in the SoCAB, 1993. LBL Draft Report.

15 Taha, H. "Modeling the impacts of increased urban vegetation on the ozone air quality in the South Coast Air Basin", 1995. submitted to Atmospheric Environment.

16 Gao, W. "Thermal effects of open space with a green area on urban environment, Part I: A theoretical analysis and its application", J. of Archit. Plann. Environ. Engng., AIJ, No. 448. 1993.

17 Robinette, G.O. Plants, people, and environmental quality. In Landsape Planning for Energy Conservation, Robinette, G.O. and McClennon, C. (editors), Van Nostrand Reinhold Company.. New York 1972.

18 Taha, H, Akbari, H, and Rosenfeld, A. Vegetation micro-climate measurements: the Davis project Lawrence Berkeley Laboratory, 1989. Report No. 24593.

19 Bomstein, Robert D. The two-dimensional URBMET urban boundary layer model. Journal of Applied Meteorology, Vol. 14, No.8, 1975. 1459-1477.

20 Hosler, C.L. and Landsberg, H.E. The effect of localized man-made heat and moisture sources in mesoscale weather modification. In Energy and Climate, National Academy of Sciences, Washington, 1977.

21 Taha, H., Akbari, H., Sailor, D., and Ritschard, R. Causes and Effects of Heat Islands: Sensitivity to Surface Parameters and Anthropogenic Heating, 1992. Lawrence Berkeley Laboratory Report No. 29864.

22 Taha, H. Aircraft-based albedo measurements over the South Coast Air Basin. A chapter in a report on Energy Efficiency and Air Quality in the SoCAB, 1993. LBL Draft Report.

23 Taha, H., Sailor, D., and Akbari, H. High-albedo materials for reducing cooling energy use, Lawrence Berkeley Laboratory Report No. 31721 UC-350, January 1992.

24 Akbari, H., Rosenfeld, A., and Taha, H. Recent developments in heat island studies: Technical and policy ,Proceedings of the workshop on Saving Energy and Reducing Atmospheric Pollution by Controlling Summer Heat Islands, Berkeley, CA, 1989. February 23-24. P. 14-20.

25 Taha, H. "Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin", submitted to Atmospheric Environment, 1995.

26 Ichinose T., K. Shimodozono, K. Hanaki. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, Atmospheric Environment 33 1999. P. 3897-3909.

27 Станкевич С. А., Филиппович В. Е., Лубский Н. С., Крылова А. Б., Крицук С. Г., Бровкина О. В., Горный В. И., Тронин А. А. Интеркалибрация методов восстановления термодинамической температуры поверхности урбанизированной территории по материалам тепловой космической съёмки. Український журнал дистанційного зондування Землі, № 7, 2015. С.12 –21.

28 Філіпович В. Є., Крилова Г. Б. Дослідження теплового поля м. Києва за даними космічного зондування в ІЧ-діапазоні як складової аналізу екологічного стану урбанізованої території. Збірник наукових праць 13 Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях», Київ, 2014. С.16–28.

29 Chen X.-L. et al. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes/ Remote Sensing of Environment 104, 2006. P. 133 –146.

30 Voogt J, T.R. Oke. Thermal remote sensing of urban climates / Remote Sensing of Environment 86, 2003. P.370-384

31 Landsberg, H.E. The Urban Climate, Academic Press, 28.08.1981. –P 275.

- 32 Magee, N., Curtis, J., and Wendler, G., The urban heat island effect at fairbanks, Alaska, *Theoretical and Applied Climatology* 64, 1999. P. 39-47.
- 33 Kim, Y., and Baik, J., Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul, *Journal of Applied Meteorology* 44, 2005. P. 591-605.
- 34 Kim, Y., and Baik, J., Maximum urban heat island intensity in Seoul, *Journal of Applied Meteorology* 41, 2002. P. 651-659.
- 35 Rosenzweig, C., Solecki, W. D., and Parshall, L., Chopping, M., Pope, G., Goldberg, R., "Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey," *Environmental Hazards* 6, 2005. 51-62.
- 36 Mihalakakou, G., Flocas, H. A., Santamouris, M., and Helmis, C. G., Application of neural networks to the simulation of the heat island over Athens, Greece, using synoptic types as a predictor, *American Meteorological Society* 41, 2002. P. 519-527.
- 37 Hung, T., Uchiyama, D., Ochi, S., and Yasuoka, Y., "Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8, 2006. P. 34-84.
- 38 Dash, P., Göttsche, F. M., Olesen, F.S., and Fischer, H., "Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends," *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2002. P. 2563-2594.
- 39 Rao, P. K., "Remote sensing of urban "heat island" from an environment satellite," *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 53, 1972. P. 647-648.
- 40 Snyder, W., and Wan, Z., "BRDF models to predict spectral reflectance and emissivity in the thermal infrared," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 36, 1998. P. 214-225.
- 41 Dousset, B., Gourmelon, F., "Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover", *Photogrammetry and Remote Sensing* 58, 2003. P. 43-54.
- 42 Weng, Q. H., Lu, D. S., and Schubring, J., "Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies," *Remote Sens. Environ.* 89(4), 2004. P. 467-483.

- 43 Streutker, D. R., "Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas," Remote Sens. Environ. 85, 2003. P. 282-289.
- 44 Федонюк М.А., Федонюк В.В. Проблемы теплового забруднення селітебних територій: дослідження та моніторинг. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2017. № 1(15). С. 231-239.
- 45 Bretz, S., Akbari, H., Rosenfeld, A. Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. Atmospheric Environment 32, 1998. P. 95-101.
- 46 David J. Sailor, «Mitigation of urban heat islands – recent progress and future prospects» Portland State University, Portland OR December 2014.
- 47 Bartfelder, F., Köhler, M., Experimentelle unter-suchungen zur function von fassadenbegrünungen, Dissertation TU Berlin 612S, 1987.
- 48 Wong NH, et al., Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, Building and Environment, doi:10.1016, j.buildenv.2009.08.05
- 49 Ait-Ameur K. Vers une méthode multicritère de caractérisation du micro climat dans les espaces publics : validation d'un système d'indicateurs « morpho-climatiques» et d'unindicateur de confort: thèse de doctorat, sciences pur l'ingénieur / université de Nantes –Nantes, 2002. P.18-28.
- 50 Головина Е.Г. Особенности антропогенного влияния на метеорологический режим атмосферы в низких широтах. Учебное пособие. Е.Г. Головина. – Л.: Изд-во ЛГМИ, 1990. С. 83.
- 51 Barlag A.B. Planungsrelevante Klimaanalyse einer Stadt in Tallage – dargestellt am Beispiel der Stadt Solber, A.B. Barlag , Essener Ökologische Schriften, 1993. Bd. 1. P.185-192.
- 52 Düttemeyer D. Urban geographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns, D. Düttemeyer, Essener Ökologische Schriften. 2000. Bd. 12, P. 171-183.
- 53 Helbig A. Stadtklima und Luftreinhaltung, A. Helbig, J. Baumüller, M. J. Kerschgens, Springer DE, 1999. P. 467.

54 Matzarakis A. Mapping of urban air paths for planning in Munich, A. Matzarakis, H. Mayer. Planning applications of urban and building climatology. Proceedings of the IFHP. – Karlsruhe, 1992. P. 13-22.

55 Vogt J. Lokale Kaltluftabflüsse, J. Vogt, Karlsruher Schriften, 2001. Bd. 14. P. 354-368.

56 Исаев А.А. Экологическая климатология, А.А. Исаев. М.: Научный мир, 2003. 472 с.

57 Хромов С. П. Метеорология и климатология: учебник, С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М.: Изд-во МГУ, 2004. 582 с

58 Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an Klimawandel. M. Steinrücke, W. Kuttler, D. Düttemeyer. Essen: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2010. 272 p.

59 Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung Druckfrisch Ul. Reuter, R. Kapp. Stuttgart: Verlag für Druckerzeugnisse, 2010. 274 p.

60 Gandemer J. Wind environment around buildings: aerodynamic concepts, J. Gandemer, Proceedings, 4. International Conference on wind effects on buildings and structures. Cambridge: Cambridge University Press, 1977. P. 423-432.

61 Гербурт-Гейбович А. А. Климат и комфорт в жилище, А. А. Гербурт-Гейбович, М.С. Горомосов, В.К. Лицкевич. Вопросы географии, 1972. № 89. С. 73-89.

62 Мягков М.С. Пример моделирования микроклиматических условий для г. Волгограда, М.С. Мягков. Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит, 2013. Вып. 32(51). С. 220-228.

63 Дуничкин И.В. Особенности аэрационного режима жилой застройки при развитии и реконструкции: На примере пятиэтажной застройки Москвы 1950-60-х годов, не подлежащей сносу: диссер. канд. тех. наук, И.В. Дуничкин, Москва, 2005. 217 с.

64 Мягков М.С. Механизм формирования теплового баланса в городской застройке на примере г. Москвы.: автореф. дис. канд. тех. наук: 25:00:30, Мягков М.С. Государственный университет по землеустройству. Москва, 2004. 26 с.

65 Зигель Р., Хауэл Дж. Теплообмен излучением. пер. С англ.; под. ред. Б. А. Хрусталева. Москва: Мир, 1975. 935 с.

66 Михеев М. А., Михеева И. М. Основы Теплопередачи. Москва: Энергия, 1977. 344 с.