

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

БУРАВЧЕНКО Всеволод Сергійович

УДК 514.18

ГЕОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ ІНСОЛЯЦІЙНОГО
РЕЖИМУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Сергейчук Олег Васильович,
Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ), професор кафедри архітектурних конструкцій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дворецький Олександр Тимофійович,
Національна академія природоохоронного і курортного будівництва (м. Сімферополь), завідувач кафедри геометричного і комп'ютерного моделювання

кандидат технічних наук, доцент
Мартинів В'ячеслав Леонідович,
Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського (м. Кременчук), доцент кафедри технічної механіки

Захист відбудеться 17 квітня 2013 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03068 м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, Вчена рада університету, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА

Автореферат розісланий «_____» _____ 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. До енергетичної кризи в ХХ сторіччі підвищення стандартів життя було невід’ємно пов’язано зі зростанням питомих витрат енергії на кожного мешканця. Велика частина цих витрат пов’язана із забезпеченням фізичних умов комфорту в штучному середовищі. Дотримання комфортних умов є важливим для збереження та відновлення працездатності, охорони людського здоров’я та життя. Оптимальні для людського здоров’я та працездатності параметри середовища повинні забезпечуватися не тільки шляхом застосування інженерних систем опалення та кондиціонування, але й раціональними архітектурними та конструктивними рішеннями будівель. Такі рішення часто знаходяться завдяки вивченню досвіду традиційної народної архітектури. Проте розвиток сучасної архітектури, розширення типології житлових та громадських будівель ставлять перед проектувальниками задачі, які неможливо розв’язати, виходячи виключно з попереднього досвіду.

Усвідомлення обмеженості природних ресурсів, зокрема, традиційних енергоносіїв, примушує людство вдаватися до політики економії ресурсів, поширення заходів з енергозбереження в побуті та на виробництві. Важливим напрямком є енергозбереження в архітектурі, а саме зниження енергоємності та ресурсоємності при зведенні, експлуатації та демонтажу архітектурних об’єктів. За умов тривалої експлуатації основну частину витрат складають саме поточні витрати із забезпечення фізичних параметрів комфортного середовища: опалення, вентиляція, кондиціонування тощо. Як показують дослідження в галузях кліматології та нетрадиційної енергетики, сонячна радіація є одним з найвпливовіших чинників формування макро- та мікроклімату. Найбільше значення має пряма сонячна радіація. При цьому її вплив, повинен ураховуватись на стадії проектування процесів енергообміну архітектурних об’єктів та зовнішнього середовища. Врахування, розрахунок та оптимізація режиму інсоляції – опромінення приміщень та територій прямою сонячною радіацією є однією зі специфічних задач енергоефективної архітектури, що може бути розв’язана засобами прикладної геометрії.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Необхідність застосування нових методів в енергозбереженні базується на ряді законодавчих документів, постанов та програм: Закону України «Про енергозбереження», Комплексній Державній програмі енергозбереження України, Галузевої державної програмі енергозбереження та енергоефективності у житлово-комунальному господарстві на 2010–2014 рр. та інших.

Роботу виконано згідно з планом проведення науково-дослідних робіт:

– кафедри архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури за темами: «Розроблення проекту ДСТУ-Н Б В.2.2.27-2010 «Розрахунок інсоляції об’єктів цивільного призначення» (№ держ. реєстрації 0108U006363), «Оптимізація об’ємно-планувальних та конструктивних рішень енергоефективних будівель в умовах України» (№ держ. реєстрації 0111U009156);

– Національної академії природоохоронного та курортного будівництва (м. Сімферополь) за темою «Розробка рекомендацій до комплексного проектування

енергоефективного індивідуального житла з урахуванням енергозбереження та з використанням сонячної енергії в пасивних та активних установках» (№ держ. реєстрації 0109U003044).

– Науково-дослідницького інституту цивільного сільського будівництва за державною темою «Проведення досліджень щодо оптимізації технічних рішень теплового захисту будинків та розроблення рекомендацій для проектування енергоефективних (пасивних) будинків із мінімальним використанням теплової енергії»; (№ держ. реєстрації № 0109U004995).

Формулювання наукової задачі, нове розв’язання якої отримано в дисертації. Задачею дослідження є визначення засобів впливу інсоляції на енергетичні якості будівель та мікроклімат приміщень.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методів проектування раціонального інсоляційного режиму приміщень засобами прикладної геометрії на основі моделювання й аналізу фізико-технічних процесів, що відбуваються в інсольованих приміщеннях і світлопрозорих конструкціях.

Для досягнення цієї мети в дисертації поставлені такі *основні задачі*:

1. Проаналізувати існуючі методи розрахунку і нормування інсоляції приміщень з точки зору врахування вимог енергозбереження.
2. Удосконалити методи розрахунку інсоляції приміщень, при світлопрорізах довільної форми та положення.
3. Розробити методи розрахунку геометричних параметрів енергоефективних сонцезахисних пристроїв.
4. Розробити комплексні сонячні карти, що відображають місцеві особливості клімату та методику їх побудови.
5. Упровадити результати досліджень у нормативні документи, проектну практику та навчальний процес.

Методи дослідження. У роботі використані методи прикладної та аналітичної геометрії, площинної та просторової тригонометрії, комп’ютерного моделювання, архітектурно-будівельної кліматології та метеорології й гігієністики.

Об’єктом дослідження є процес інсоляції приміщень.

Предметом дослідження є геометричні методи оцінки та розрахунку інсоляції приміщень.

Межі дослідження. Праця обмежена дослідженням інсоляції приміщень. У досліджуванні сонцезахисних пристроїв (СЗП) найбільша увага приділена геометричним, інші класи СЗП наводяться виключно як приклади існуючих реалізацій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

Вперше запропоновано:

1. Комплексну сонячну карту, призначену для аналізу і покращення інсоляційного режиму приміщень і проектування енергоефективних сонцезахисних пристроїв, як розвиток методу моделювання відкритої сукупності взаємопов’язаних координатних систем.
2. Методику розрахунку ефективності нетрадиційних сонцезахисних пристроїв: дискретних ламелярних щитів, двошарових дискретних щитів «зебра» та призматичних СЗП.

Удосконалено:

3. Застосування різних видів проєціювання при заміні площини проєкції для побудови тіньових масок СЗП довільного положення.

4. Методику розрахунку біологічної дії інсоляції в приміщеннях з урахуванням архітектурно-просторового рішення та фізичних властивостей скління.

Практичне значення роботи полягає в:

1. Удосконаленні нормативної методики розрахунку інсоляції приміщень на основі застосування комплексних сонячних карт.

2. Розробці графічних та аналітичних методів оцінювання ефективності різних, в тому числі нетрадиційних, типів сонцезахисних пристроїв.

3. Розробці методики оцінювання біологічної дії інсоляції в приміщеннях з урахуванням геометричних особливостей світлопрозорих конструкцій та фізичних властивостей скління.

4. Упровадженні результатів наукових досліджень у державні стандарти, навчальний процес та проектну практику.

Результати роботи впроваджені:

– в державні будівельні норми та стандарти України: ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення»; ДСТУ-Н Б В.2.2.27-2010 «Розрахунок інсоляції об'єктів цивільного призначення»; розділ «Урахування задач енергозбереження при проектуванні літніх приміщень»; ДСТУ Б А.2.2. – 8:2010 «Розділ «Енергоефективність» у складі проектної документації»;

– в рекомендації з проектування: енергоефективних (пасивних) будинків із мінімальним використанням теплової енергії (звіт за державною темою № 0109U004995); енергоефективного індивідуального житла з урахуванням енергозбереження та з використанням сонячної енергії в пасивних та активних установках (звіт за державною темою № 0109U003044); «Оптимізація об'ємно-планувальних та конструктивних рішень енергоефективних будівель в умовах України» (№ держ. реєстрації 0108U006363);

– в навчальний процес: у програми дисциплін «Будівельна фізика» і «Метеорологія та кліматологія» та дипломне проектування КНУБА та НАОМА (Національної академії образотворчих мистецтв і архітектури);

– в проектну практику: проектування 4 житлових будинків та комплексів у містах Обухів, Буча та с.м.т. Коцюбинське; проектування модульної системи сонцезахисних пристроїв для офісного будинку за адресою м. Київ, вул. Новокосянтинівська, 30.

Вірогідність та обґрунтованість одержаних результатів підтверджується збігом результатів, отриманих аналітичними та графічними методами, впровадженням створених моделей у нормативні документи та проектну практику.

На захист виносяться основні положення, що складають наукову новизну та практичну цінність роботи.

Апробація результатів дисертації Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на науково-практичних зібраннях різного рівня: II-III Кримських науково-практичних конференціях «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн» (Сімферополь; 2005-2006 рр.); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми геометричного

модельовання» (Харків, 2007); міжнародному конгресі «Вікна. Двері. Фасадні системи» (Київ, 2007).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 робіт (11 статей: 5 – у збірниках праць, 2 – у журналах (у тому числі, 1 – у закордонному), 4 – у матеріалах та тезах конференцій, 1 – ДСТУ). Серед них основний зміст і результати досліджень викладено у 5 наукових працях, опублікованих у фахових виданнях, з яких 3 опубліковано без співавторів.

У публікаціях, що написані в співавторстві, здобувачем виконані дослідження, пов'язані з формулюванням вимог до енергоефективності інсоляції, проектування СЗП та розробкою методів їх розрахунку;

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 148 найменувань, 4 додатків; має повний обсяг 190 сторінок, з них 158 сторінок основної частини, в тому числі 84 рисунки та 5 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано відомості про сутність наукової задачі, і стан її вивчення, її теоретичне та практичне значення, необхідність проведення дослідження, мету і задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** проаналізовано досвід сучасної енергоефективної архітектури. Основними напрямками підвищення енергоефективності будівель є зменшення експлуатаційних витрат на опалення, кондиціювання й освітлення, та використання відновлюваних джерел енергії: сонця, вітру, різниці між сезонними температурами повітря та ґрунту, рекуперація теплових втрат. Народна архітектура ряду регіонів розв'язує задачі забезпечення умов комфорту в приміщенні традиційними засобами, що не в повній мірі відповідають сучасній типології архітектури та вимогам енергозбереження. Проектування енергоефективних будівель вимагає точного розрахунку їх енергетичних та експлуатаційних характеристик.

За сучасного стану дослідження процесів інсоляції виключно засобами однієї з дисциплін є неможливим. Тому, виходячи з мети роботи, у розділі проаналізовані роботи, присвячені інсоляції, не тільки з прикладної геометрії, але й з будівельної фізики, архітектури й гігієністики.

Дослідженням фізичних процесів у архітектурних об'єктах займається будівельна фізика. Завдяки досягненням вітчизняної та світової будівельної фізики розроблено ряд нормативних методик, що дозволяють проводити розрахунки енергоефективності типових конструкцій з достатньою для масового будівництва оцінкою. Енергозбереження вимагає розробки сучасних покращених математичних моделей, що базуються на концепції сумарних енергетичних витрат будинку, що включають витрати на опалення, кондиціювання, освітлення та забезпечення інших побутових потреб. Тому ряд сучасних досліджень спрямовані на забезпечення найкращого ефекту від інсоляції як в санітарно-гігієнічному, так і в енергетичному аспектах.

Велику роль у становленні вітчизняної архітектурної світлотехніки відіграли праці Гусєва М.М., Кондратьєва К.Я., Оболенського Н.В., Скриля І.Н., Соболева В.В., Суханова І.А., Штейнберга О.Я., де узагальнюється досвід

нормування інсоляції та методи сонцезахисту. Зокрема В.В. Соболевим запропоновано ряд формул для розрахунку інтенсивності прямої та розсіяної сонячної радіації в залежності від положення сонця, висоти спостерігача над рівнем моря та складу атмосфери. Роботи І.А. Суханова присвячені питанням забезпечення інсоляції та сонцезахисту в житлових приміщеннях в умовах спекотного клімату Середньої Азії. Важливими є досягнення закордонних дослідників Вернеску Д. та Ене А., Зоколя С.В., Леру Р., Маркуса Т.А. та Морріса Е.Н., Міссенара Ф.А., Сіка Ф., Тваровського М., Харкнесса Е. та Мехти М. В роботах Е. Харкнесса та М. Мехти розглядаються методи побудови сонцезахисних пристроїв, що виключають інсоляцію приміщення протягом усього року, що є раціональним для країн зі спекотним кліматом, проте не підходить для житла в помірному кліматі. У роботах Д. Вернеску та А. Ене, С.В. Зоколя визначаються періоди та відповідні їм області несприятливої інсоляції. Р. Леру та Ф.А. Міссенаром проведена велика робота з визначення впливу умов зовнішнього середовища на самопочуття та працездатність людини. Ф. Сік визначає пріоритетність сонцезахисту та пасивного сонячного опалення приміщень у різних типах клімату для створення в приміщеннях комфортного мікроклімату. У помірному кліматі є важливими обидва напрямки контролю сонячної радіації. Однак у всіх цих роботах не розглядаються особливості регулювання інсоляційного режиму енергоефективних будівель в умовах помірного клімату.

Питанням архітектурної світлотехніки присвячені праці сучасних фахівців з прикладної геометрії: Дворецького О.Т., Єршової Д.В., Підгорного О.Л., Пугачова Є.В., Рябова В.В., Сергейчука О.В., Сооронбаєва М.С. У працях О.Л. Підгорного запропоновано та розроблено геометричну модель добового конуса сонячних променів, який може перетворюватися, моделюючи явища відбиття чи заломлення. Ця модель використовується в розробках з геліоенергетики О.Т. Дворецького та його учнів, в системах освітлення приміщень відбитим світлом, розроблених Є.В. Пугачовим. Окремим питанням застосування цієї моделі присвячені роботи С.І. Орла та О.В. Кривенко. Дисертації М.С. Сооронбаєва та М. Садикова присвячені методам розрахунку інсоляції та формоутворення сонцезахисних пристроїв. Однак до цього часу у прикладній геометрії не досліджувалися принципи, за якими річна конгруенція сонячних променів поділяється на бажані та небажані промені.

Для розробки системи нормування інсоляції важливими є праці вітчизняних і закордонних гігієністів Акіменка В.Я., Галаніна Н.Ф., Гоффманн С., Данцига Н.М., Лазарева Д.Н., Мейера А. та Зейтца Е., Яригіна А.В., де досліджується біологічна дія сонячної та штучної радіації на людей, тварин та рослини.

Аналіз тенденцій сучасної енергоефективної архітектури виконано в працях Гертиса К., Грімма Ф., Кашенко Т.О., Кармоді Дж., Комова А., Компаньо А., МакЛеод В., Мартинова В.Л., Пападакіса А., Ренкенса Ю., Трішбергера П., де розглядаються найбільш характерні зразки сучасної архітектури, та архітектурних конструкцій, зокрема сучасних засобів контролю сонячної радіації – термін, що більш широко пояснює функції сонцезахисних пристроїв. Саме у цьому сенсі розглядаються сонцезахисні пристрої у подальших розділах дисертаційного дослідження.

У розділі проаналізовано залежності інтенсивності та спектрального складу сонячної радіації від доби року та часу, атмосферної маси та фізичних властивостей

скління. Розглядається дія трьох основних компонентів сонячної радіації: видимого світла, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання на мікроклімат приміщень та життєдіяльність організмів: зір, пігментацію, еритемну й бактерицидну дію, фотосинтез рослин тощо.

В архітектурному проектуванні традиційною є оцінка інсоляції за її тривалістю. Розрахунок тривалості може виконуватися суто графічними засобами, що найбільш безпосередньо відображають специфіку архітектурно-конструктивних рішень і найбільш підходять для рішення обернених задач на корегування архітектурних форм. Зазвичай розрахунок тривалості інсоляції приміщення зводиться до розрахунку тривалості інсоляції розрахункової точки і має вигляд співставлення об'єктів небесної сфери та навколишнього простору, що переносяться на площину носія тіньової маски методом подвійної проекції. Залежно від напрямку проектуючих променів сонячні карти та тіньові маски класифікуються як ортогональні, стереографічні, ізодистантні, гномонічні, циліндричні та ін. Переваги, недоліки та області застосування даних проекцій проаналізовано у дисертації. Для побудов, що виконуються безпосередньо в роботі, використані стереографічні сонячні карти та тіньові маски з фокусом проєціюючих променів в надирі небесної сфери.

Графічний розрахунок є важливим етапом проектування та оцінки архітектурно-конструктивних рішень. Перевагами графічних методів розрахунку є наочність інформації, що стосується періоду інсоляції. Однак відомі графічні методи розрахунку можуть надавати інформацію лише про час інсоляції та деякою мірою про пропускну здатність геометричних сонцезахисних пристроїв, а не про енергетичні показники інсоляції.

Для виконання комплексної оцінки впливу інсоляції на мікроклімат потрібна кількісна оцінка дії інсоляції, зокрема теплової та бактерицидної. Результатом розрахунку повинна бути кількість променевої енергії або біологічна доза прямої сонячної радіації, отримана приміщенням крізь світлопрозорі отвори протягом доби чи іншого розрахункового періоду. Наступні розділи присвячені розробці такої методики розрахунку.

У другому розділі розглядаються і вдосконалюються графічні методи розрахунку інсоляції. Зараз використовується лише незначна частина інформації з тієї, що можна отримати з сонячних карт (рис. 1, *а*). Зокрема, не використовується можливість оцінки корисності інсоляції для формування комфортного мікроклімату приміщення.

Згідно з нормативними вимогами до умов комфорту в приміщенні визначаються ключові значення температури. Аналізуючи хід зміни температури, можна визначити періоди перегріву та необхідного опалення: час початку та кінця означених періодів в дні ключових дат, якими обрано 1,8,15 та 22 числа кожного місяця (рис. 1, *б*). Траєкторії ходу сонця та годинні лінії на сонячній карті можливо розглядати як криволінійну систему координат, в якій кожному моменту світлової частини року відповідає певна точка на сонячній карті. Це дає можливість нанести межі періодів на комплексну сонячну карту. Утворені ізотерми будуть межами зон бажаної та небажаної інсоляції. В роботі наведені приклади побудови комплексних сонячних карт для міст Києва та Ялти, як для міст в межах України, температурний режим яких суттєво відрізняється один від одного (рис. 1, *в, г*). При проектуванні світлопрозорих конструкцій перевага має віддаватися таким архітектурно-

конструктивним рішенням, тіньова маска яких якомога більше закриває зону небажаної інсоляції, не закриваючи зону бажаної інсоляції.

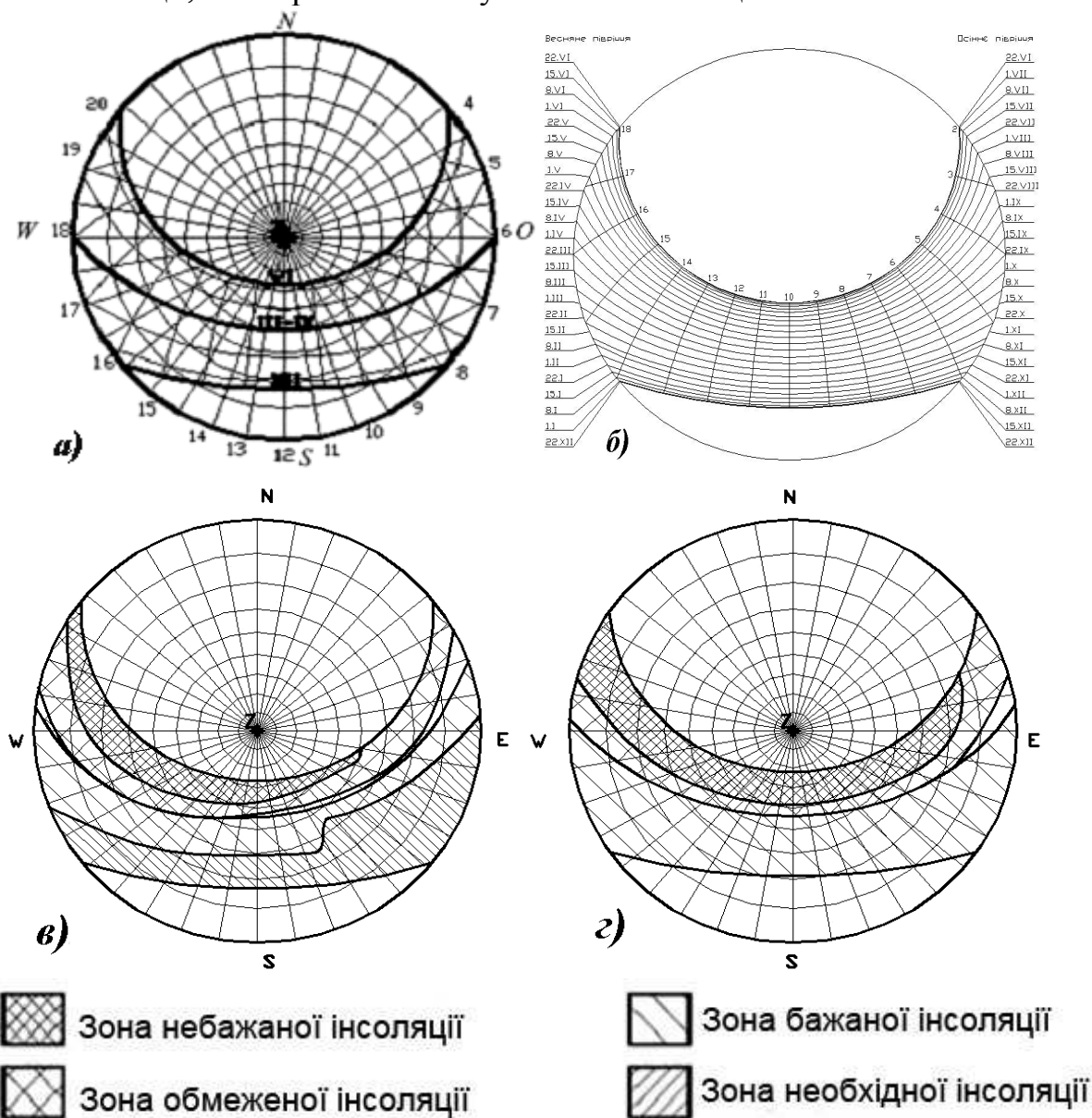


Рис. 1. Компоненти комплексної сонячної карти:

a – стереографічна сонячна карта, *б* – траєкторії ходу сонця в ключові дати; *в-г* – температурні зони комплексних сонячних карт відповідно для міст Києва та Ялти

Також у другому розділі розглядається методика побудови тіньових масок для СЗП загального положення. Ця побудова виконується засобами нарисної геометрії – методом заміни площини проекції, аналогічно побудові сонячних карт. Якщо при побудові сонячної карти для відкладання кутів, що визначають висоту сонця над площиною екватору, використовується одна додаткова проекція – площина меридіану, то при побудові тіньової маски застосовуються наступні проекції небесної сфери, показані на рис. 2, де використані такі позначення:

$\Sigma 1$ епюр – площина горизонту в стереографічній проекції;

$\Sigma 2$ епюр – характерний розріз будівлі, площина, перпендикулярна площині горизонту та площині світлопрозорої конструкції в ортогональній проекції;

$\Sigma 3$ епюр – площина світлопрозорої конструкції в стереографічній проекції;

П4 епюр – характерний перетин СЗП, площина перпендикулярна площині світлопрозорої конструкції та площині щита сонцезахисного пристрою в ортогональній проекції;

κ – кут між лінією перетину площин світлопрозорої конструкції та горизонту та напрямною щитів СЗП; κ_1, κ_2 – точки сходу напрямних щитів СЗП;

θ – кут нахилу щитів СЗП до площини світлопрозорої конструкції;

η – розрахунковий кут затінення площини світлопрозорої конструкції щитами СЗП;

ξ – допоміжний кут затінення площини світлопрозорої конструкції щитами СЗП;

μ – кут нахилу ламелей відносно площини щита СЗП; ν – розрахунковий кут затінення площини щита ламелями; χ – допоміжний кут затінення площини щита ламелями.

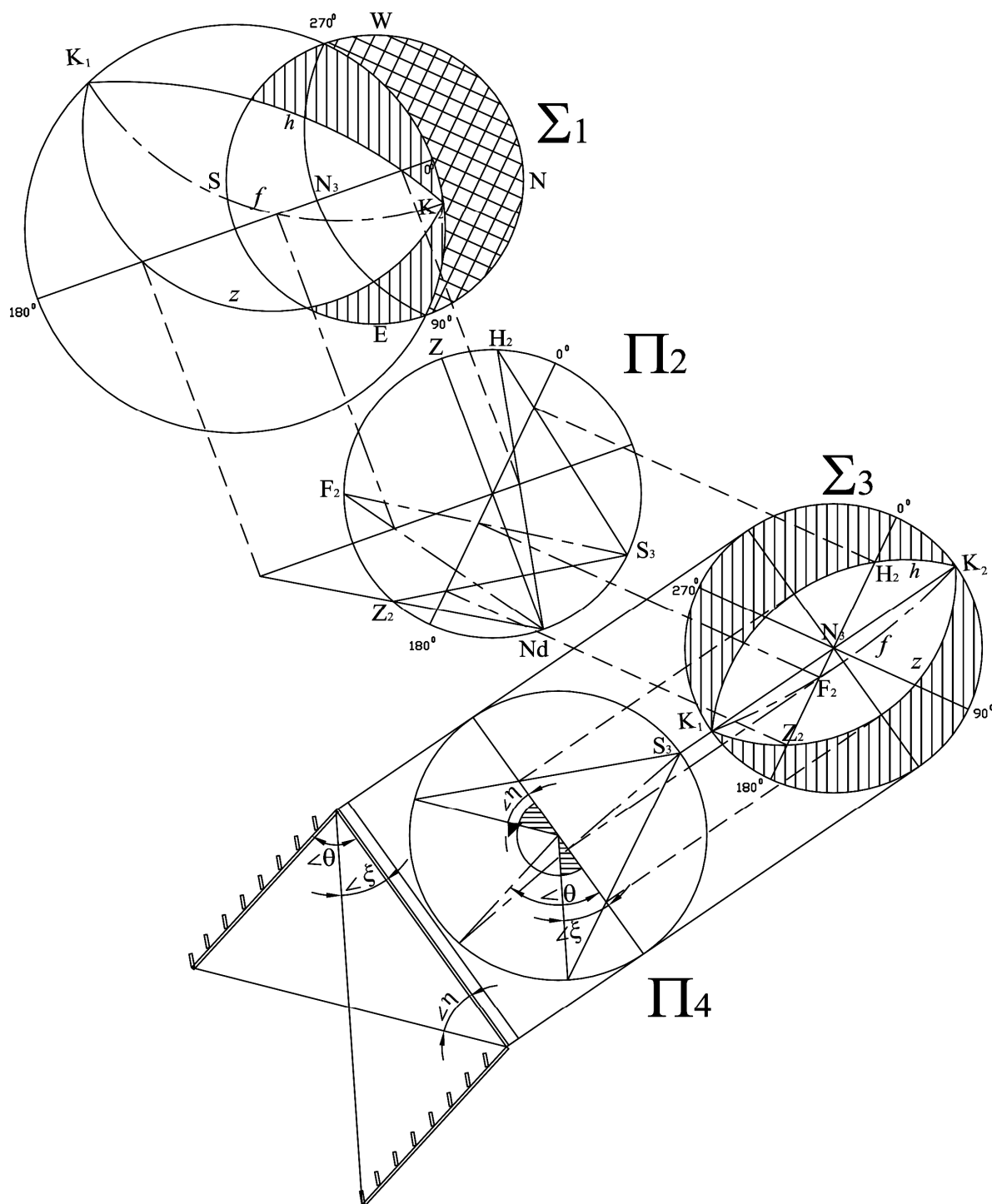


Рис. 2. Побудова затінення щитами сонцезахисного пристрою загального положення

Кути θ , η , ξ , μ , ν , χ задаються натуральною величиною в площині характерного перетину СЗП (рис. 3, *а*, *б*)

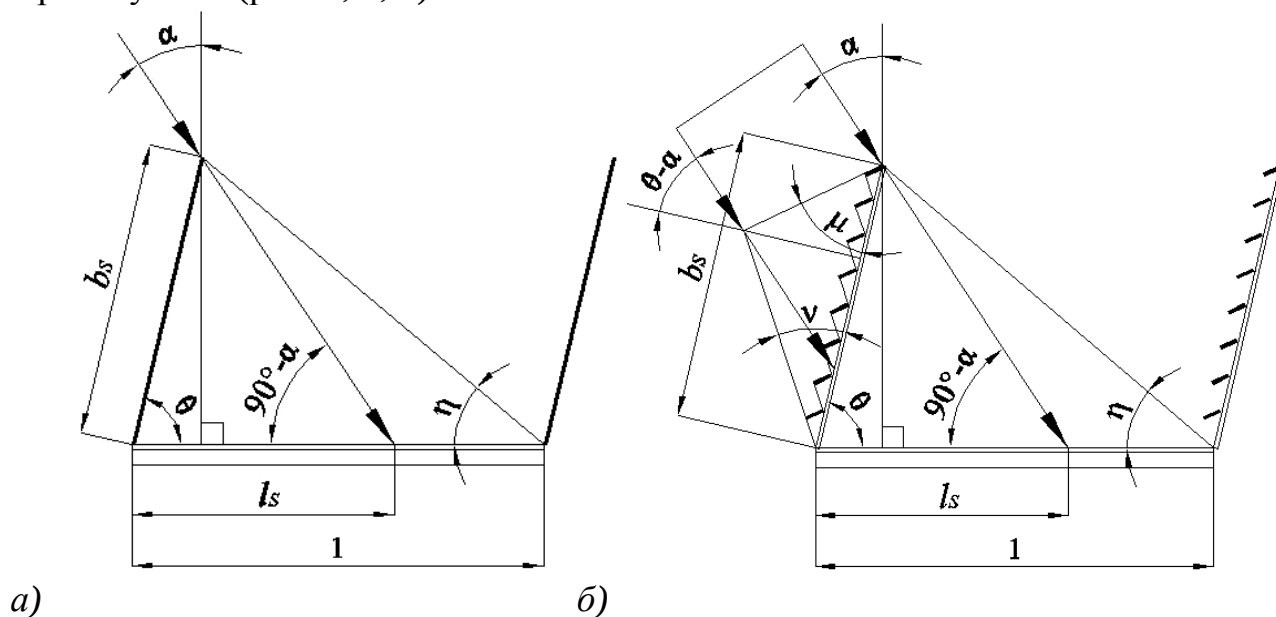


Рис. 3. Параметри зовнішнього затінюючого елементу: *а* – суцільного, *б* – дискретного

Якщо напрямні ламелей є непаралельними до площини світлопрозорі конструкції, то вводяться такі епюри:

$\Sigma 5$ епюр – площина щита сонцезахисного пристрою в стереографічній проекції;

П6 епюр – характерний перетин щита СЗП в ортогональній проекції.

Цей метод крім побудови тіньових масок від суцільних і ламелярних СЗП є придатним для побудови тіньових масок від призматичних СЗП, сонцезахисний ефект яких заснований на явищі повного внутрішнього відбивання (рис. 4).

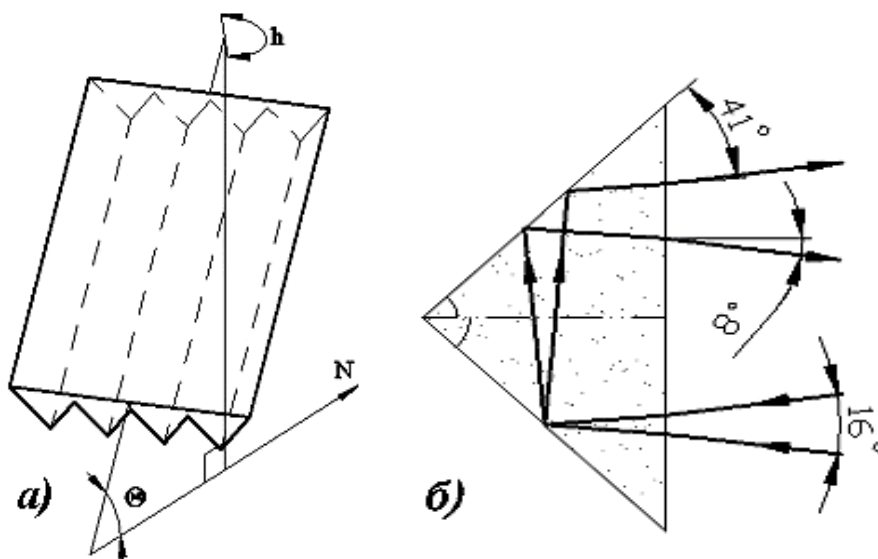


Рис. 4. Призматичні сонцезахисні пристрої: *а* – схема варіанту реалізації, *б* – принцип дії

У третьому розділі досліджуються аналітичні методи розрахунку інсоляції.

Графічні методи розрахунку сонцезахисних пристроїв не дають повної інформації про запропоновані варіанти архітектурно-конструктивних рішень. Для

отримання більш повної інформації проєктувальник має порівнювати варіанти за кількісними показниками: пропускну здатністю, як у всьому спектрі сонячних променів, так і на визначених його ділянках, енергетичний і біологічний вплив сонячної радіації на мікроклімат і режим експлуатації приміщення.

Запропоновані формули дозволяють розраховувати інтенсивність та потужність потоку прямої сонячної радіації, що надходить у приміщення, залежно від форми та розмірів світлопрозорої конструкції та зовнішніх затінюючих елементів.

Кожен затінюючий елемент характеризується кутами, які визначаються в площині, перпендикулярній до напрямних елементу (рис. 3). Для розрахунку прозорості геометричного СЗП необхідним є кут α – кут падіння сонячних променів на площину світлопрозорої конструкції в площині, перпендикулярній щитам сонцезахисного пристрою, який знаходиться методом заміни системи координат небесної сфери (рис. 5).

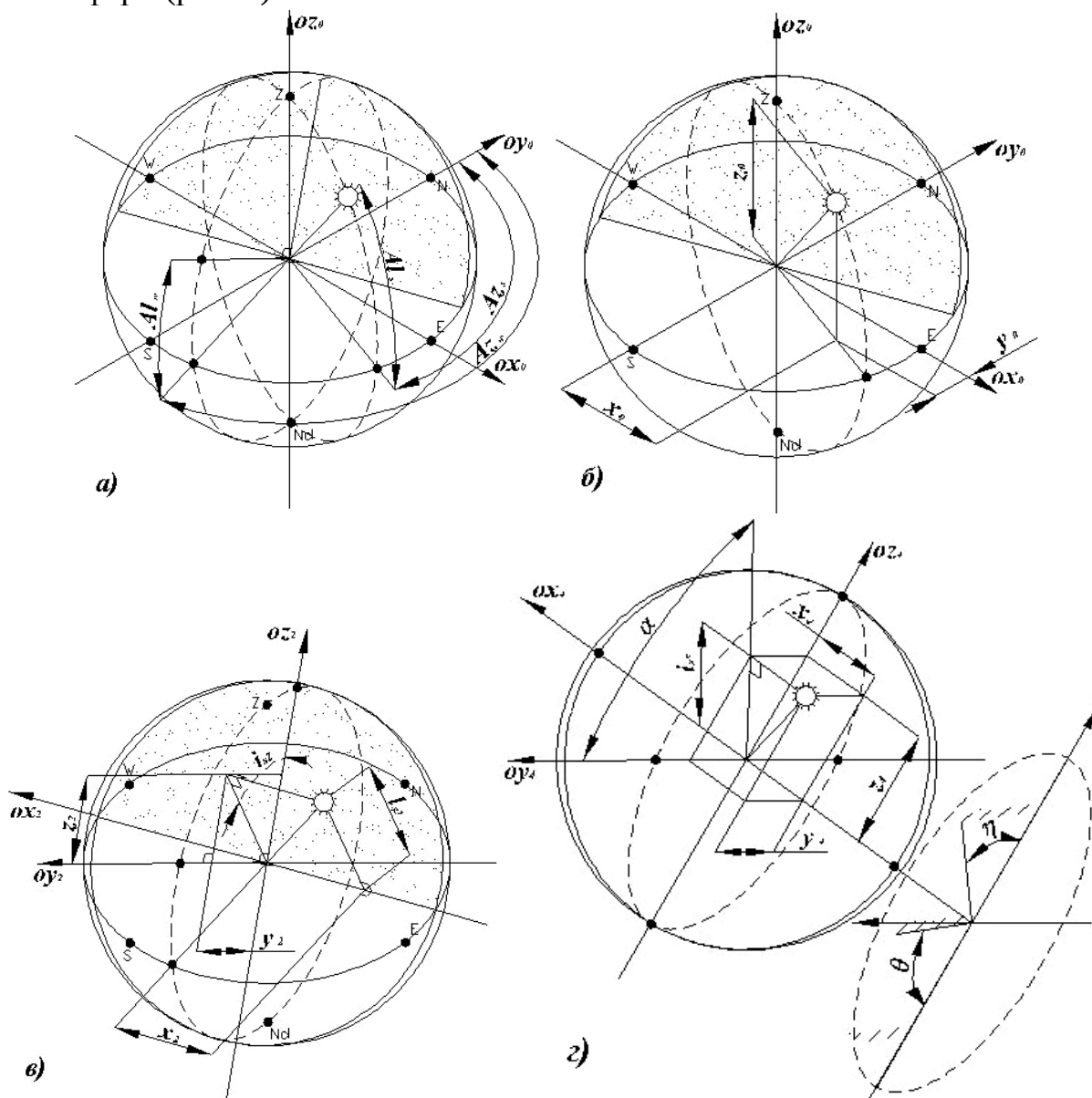


Рис. 5. Перетворення координат небесної сфери: *a* – горизонтальна полярна координатна система; *б* – декартові координати сонця у небесній сфері у координатній системі, що прив'язана до сторін світу; *в* – координатна система, прив'язана до площини світлопрозорої конструкції; *г* – координатна система, прив'язана до площини характерного перетину світлопрозорої конструкції

Площинна світлопрозора конструкція вважається обмеженою зі всіх боків геометричними СЗП. У такому разі спостерігач, що знаходитиметься в будь-якій точці світлопрозорої конструкції, не зможе бачити невласних точок напрямних жодного з СЗП, оскільки вони будуть закриті від нього іншими непаралельними СЗП, тому в подальшій роботі цей метод визначається як *метод нескінчених сонцезахисних пристроїв*.

При цьому кожний затінюючий елемент вважається окремим сонцезахисним пристроєм. Затінення кожним окремим сонцезахисним пристроєм розраховується окремо. Виведені в роботі формули дозволяють розраховувати затінення для різних типів СЗП, зокрема, напівпрозорих, ламелярних та трансформованих. Прозорість СЗП розраховується залежно від затінення за формулою:

$$\tau_D = (1 - \{l_S\}(1 - \tau_S)) \tau_S^{[l_S]}, \quad (1)$$

де $[l_S]$ – ціла частина l_S (кількість щитів СЗП, тіні від яких повністю охоплюють розрахунковий сегмент); $\{l_S\}$ – дрібна частина l_S (частина розрахункового сегменту, яку охоплює тінь від найдальшого щита СЗП, який затінює даний сегмент); $\tau_S^{[l_S]}$ – частина променевої енергії, що досягає площини світлопрозорої конструкції, проходячи крізь всі щити СЗП крім найдальшого щита, який затінює даний сегмент; $\{l_S\}(1 - \tau_S)\tau_S^{[l_S]}$ – частина променевої енергії, що не досягає площини світлопрозорої конструкції, через затінення найдальшим щитом СЗП, який затінює даний сегмент.

У роботі виконані розрахунки прозорості для деяких монопараметричних геометричних СЗП (рис. 6).

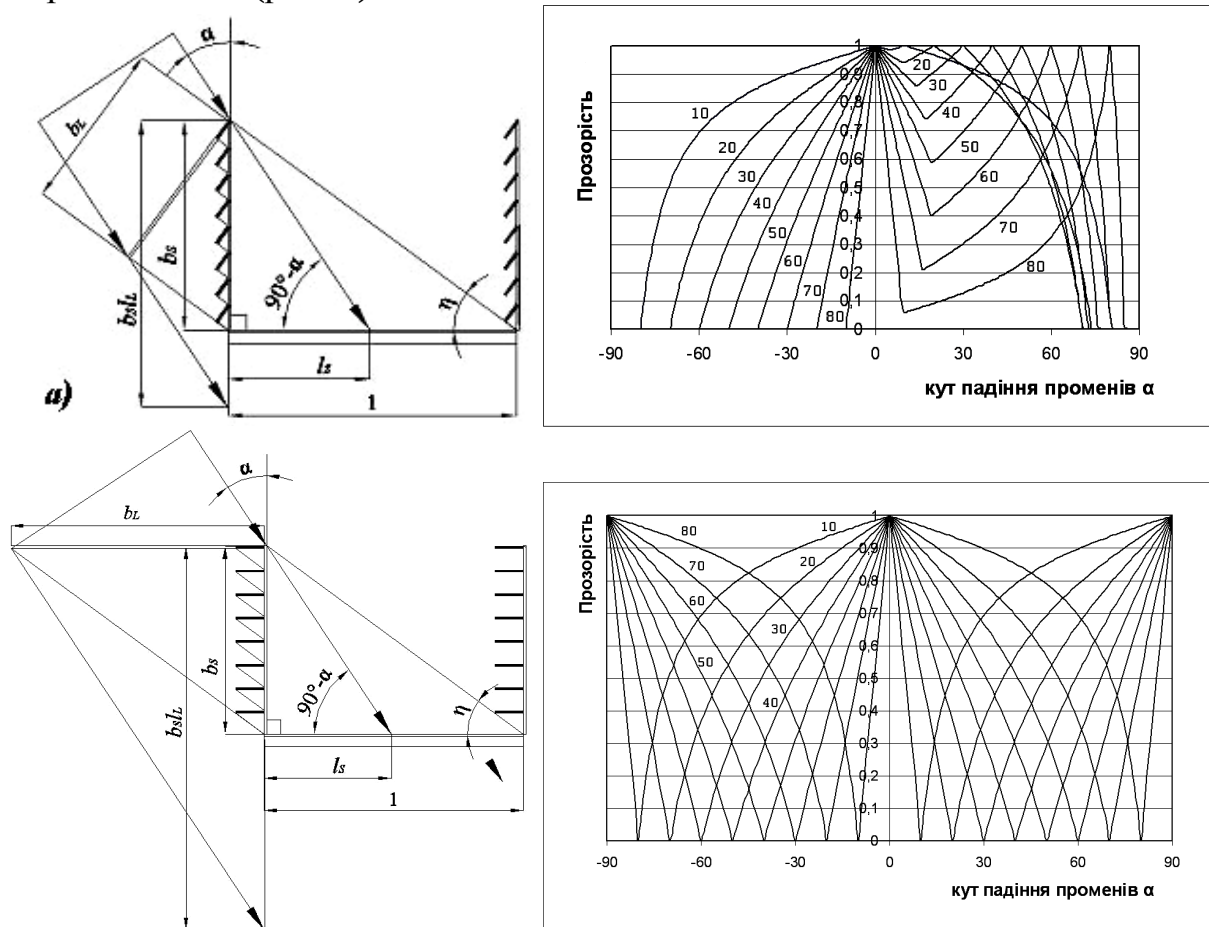


Рис. 6. Схеми та графіки залежності прозорості від кута падіння променів: а) дискретний перпендикулярний СЗП зі скошеними ламелями; б) дискретний перпендикулярний СЗП з паралельними фасаду ламелями

Результати розрахунків за наведеними формулами можуть використовуватись при побудові тіньової маски за методикою, запропонованою в розділі 2 для досягнення більшої інформативності тіньових масок.

Прозорість системи непаралельних СЗП є добутком прозорості всіх СЗП:

$$\tau_D = \tau_{D1} \cdot \tau_{D2} \cdot \dots \cdot \tau_{Dn}; \quad (2)$$

Якщо за допомогою методів, розроблених у розділі 2, визначити час інсоляції приміщення, то можна розраховувати кількість теплової енергії, що отримує приміщення протягом доби, місяця, або періоду бажаної чи небажаної інсоляції.

Подібним чином відомості про потужність потоку прямої сонячної радіації, тривалість інсоляції, відносну бактерицидну ефективність променів та спектральний склад сонячної радіації, що надходить у приміщення, дозволяють розрахувати і *добову бактерицидну дозу* сонячної радіації в приміщенні.

Спектральний склад залежить від типу використаного архітектурного скла. В роботі виконані приклади розрахунків бактерицидної інтенсивності сонячної радіації в приміщеннях, засклених характерними видами архітектурного скла: флоат-склом, теплозберігаючим склом, сонцезахисним склом та шумозахисним склом-триплексом (рис. 7). Розрахунок проводився в середовищі Microsoft Excel.

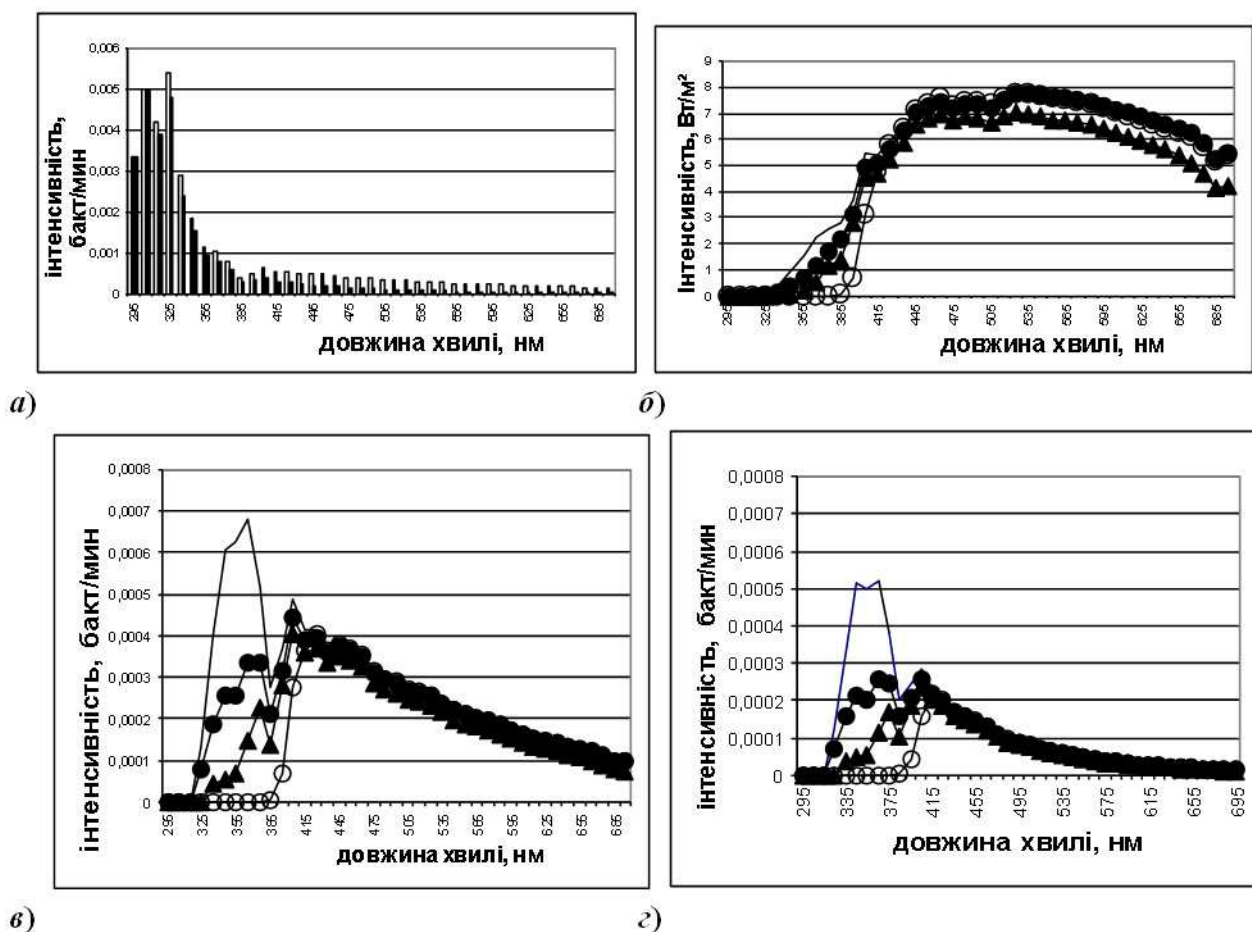


Рис 7. Розрахунок бактерицидної інтенсивності сонячної радіації: *а* – бактерицидна інтенсивність прямої та розсіяної сонячної радіації на відкритій місцевості; *б* – інтенсивність прямої сонячної радіації в приміщеннях, засклені різних типах склопакетів; *в-г* – бактерицидна інтенсивність (пряма та розсіяна) сонячної радіації в приміщеннях, засклені різних типах склопакетів

У четвертому розділі узагальнюється методика розрахунку впливу інсоляції на мікроклімат приміщень та порівняльної оцінки архітектурно-конструктивних рішень за тривалістю інсоляції, її тепловою та біологічною дією. Порядок геометричного дослідження варіантів архітектурних рішень наведено на рис. 8.



Рис. 8. Порядок геометричного дослідження та порівняння варіантів архітектурного рішення світлопрозорих конструкцій та сонцезахисних пристроїв

Також наводяться відомості про впровадження результатів дослідження в нормативну базу та проектну практику. Протягом 2007–2008 рр. було виконано ряд розрахунків впливу проєктованих житлових та громадських будівель на інсоляційний режим в існуючій житловій забудові та на прибудинкових територіях у

м. Києві та Київській області, що дозволило відкоригувати форму проєктованих будівель та запропонувати енергоефективні сонцезахисні пристрої.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результатом виконаних у роботі досліджень є розв'язання науково-технічної задачі розробки методології оцінки архітектурно-конструктивного рішення сонцезахисних пристроїв та світлопрозорих конструкцій у цілому.

Наукове значення роботи полягає в подальшому вдосконаленні геометричного апарату розрахунку тривалості і впливу інсоляції.

Практичне значення роботи полягає в удосконаленні нормативної методики розрахунку інсоляції та підвищенні ефективності проєктування сонцезахисних пристроїв.

До найбільш вагомих результатів дослідження належать:

1. Виконано аналіз тенденцій сучасної енергоефективної архітектури, який показав важливість засобів сонцезахисту для регулювання мікроклімату та енергетичного балансу будівель. Зроблено класифікацію засобів сонцезахисту. Відзначено важливість геометричних методів розрахунку для їх проєктування.

2. Запропоновано методику побудови комплексних сонячних карт, як відкритої системи взаємопов'язаних координатних систем різних фізичних і геометричних параметрів, яка перетворює сонячні карти у ефективний засіб для раціоналізації інсоляційного режиму приміщень і проєктування енергоефективних сонцезахисних пристроїв.

3. Запропоновано спосіб побудови тіньових масок світлопрозорих конструкцій та СЗП довільного положення на основі методу заміни площини проєкції з використанням різних методів проєціювання, що дає можливість раціоналізації інсоляційного режиму приміщень і проєктування енергоефективних сонцезахисних пристроїв наочними графічними засобами.

4. Запропоновано методику розрахунку ефективності сонцезахисних пристроїв із використанням геометричної моделі нескінченних СЗП, в тому числі малопоширених типів: дискретних ламелярних щитів, двошарових дискретних щитів типу «зебра» та призматичних СЗП. Це дає можливість виконувати розрахунок впливу інсоляції на енергетичний режим приміщень із зазначеними типами світлопрозорих конструкцій і СЗП.

5. Запропоновано комплексну методику розрахунку біологічної дії інсоляції в приміщеннях з урахуванням архітектурно-просторового рішення, дії сонцезахисних пристроїв та фізичних властивостей скління. Це дає можливість перевіряти забезпечення санітарно-епідеміологічних вимог з бактерицидного ефекту інсоляції за енергетичними показниками.

Результати роботи впроваджені: у національні будівельні нормативні документи, пов'язані з енергозбереженням при проєктуванні та реконструкції будівель (3 найменування); в практику архітектурно-будівельного проєктування (5 об'єктів); у навчальний процес (2 ВНЗ).

Подальші дослідження планується спрямувати на розв'язання задач автоматизації процесу розрахунку та оптимізації інсоляційного режиму приміщень та геометричних і конструктивних параметрів СЗП, а також розроблення та впровадження відповідних нормативних документів у будівельну галузь України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні публікації у фахових виданнях

1. Буравченко В. С. Комплексні сонячні карти / В. С. Буравченко // Прикл. геометрія та інж. графіка : між від. наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2006. – Вип. 76. – С. 147–152.

2. Буравченко В. С. Відображення нескінчених зовнішніх сонцезахисних пристроїв на стереографічних тінювих масках / В. С. Буравченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання : зб. наук. пр. – Харків, 2007. – № 18 – С. 229–234.

3. Буравченко В. С. Дозиметрична оцінка бактерицидної дії ультрафіолетової радіації сонця / В. С. Буравченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – 2007. – № 78 – С. 254–260.

4. Буравченко В.С. Разработка ДСТУ-Н «Расчет инсоляции объектов гражданского назначения» / О. Л. Підгорний, О. В. Сергейчук, В. С. Буравченко, О. В. Андропова // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – 2008. – № 80. – С. 209–213.

Особистий внесок здобувача: *сформульовані задачі, пов'язані із вимогами енергозбереження при розрахунку інсоляції та методи їх розв'язання.*

5. Буравченко В.С. Особливості врахування сонцезахисних пристроїв при проведенні енергетичної паспортизації будівель / О. В. Сергейчук, В. С. Буравченко, В. П. Шитюк // Праці Тавр. держ. агротехнол. ун-ту. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. графіка, т. 47. – Мелітополь : ТДАТА, 2010. – С. 44–50.

Особистий внесок здобувача: *розроблена модульна система оптимізованих сонцезахисних пристроїв.*

Додаткові публікації

6. Буравченко В. С. Комплексное проектирование солнцезащитных устройств / В. С. Буравченко // Збірник наукових праць Київського національного університету технологій та дизайну: доп. 2-ї Кримської наук.-практ. конф., (Сімферополь-Алушта, 19–23 верес. 2005 р.). – К. : ДОП КНУТД, 2005. – С. 214–219.

7. Буравченко В. С. Затемнения нескінченими геометричними сонцезахисними пристроями / В. С. Буравченко // Збірник наукових праць КНУТД: доп. 3-ї Кримської наук.-практ. конф., (Сімферополь-Алушта, 18–22 верес. 2006 р.). – К. : ДОП КНУТД, 2006. – С. 182–187.

8. Буравченко В. С. Солнцезащитные устройства и материалы в стеклянной архитектуре / В. С. Буравченко // IV междунар. конгр. «Окна. Двери. Фасадные системы» 24.01.2007. – К. : Primus Exhibitions Group, 2007. – С. 24–28.

9. Буравченко В. С. Визначення енергетичних характеристик характерних зовнішніх сонцезахисних пристроїв / В. С. Буравченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка : доп. міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми геометричного моделювання», (Харків, 23–27 квіт. 2007 р.). – 2007. – № 77 –

С. 193–198.

10. Буравченко В. С. Влияние различных видов специализированного стекла на рост растений внутри помещений / В. С. Буравченко // Оконные технологии. – 2007 – № 28 (2). – С. 94–98.

11. Буравченко В. С. Биологическое действие солнечных лучей в помещениях, остеклённых различными видами архитектурного стекла / В. С. Буравченко // Окна. ВЗ. – СПб., 2007. – № 4 (19). – С. 42–48.

12. Розрахунок інсоляції об'єктів цивільного призначення : ДСТУ-Н Б В.2.2.27-2010. – [Чинний від 2011-01-01] / Мінрегіонбуд України : [розр. О. Андропова; В. Буравченко; О. Підгорний, О. Сергейчук, Г. Фаренюк, Є. Пугачов, О. Дворецький, В. Єгорченков, В. Акіменко, В. Махнюк, Н. Павленко; С. Протас; А. Яригін, Г. Казаков, Р. Кінаш, М. Яців, О. Семко, Д. Скать, В. Чернявський, В. Мартинов, А. Євко; О. Геркен, Є. Вітвицька, М. Глікман]. – К. : Укрархбудінформ, 2010. – 81 с. – (Державний стандарт України).

АНОТАЦІЯ

Буравченко В. С. Геометричні методи регулювання інсоляційного режиму енергоефективних будинків. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва й архітектури. – Київ, 2013.

Досліджуються проблеми підвищення енергоефективності будівель шляхом покращення їх інсоляційного режиму.

Розроблені методи розрахунку дозволяють оцінювати інсоляцію приміщень за її тривалістю, тепловою та біологічною дією. З графічних методів розрахунку увагу зосереджено на вдосконаленні методу стереографічних сонячних карт та тіньових масок. Запропоновано метод аналізу місцевої кліматологічної інформації шляхом нанесення її на комплексну сонячну карту. З аналітичних методів розрахунку – на інтегральному обчисленні теплової та біологічної дії інсоляції приміщень.

З напрямків контролю інсоляції в приміщенні розглядаються регулювання часу та періоду інсоляції, площі, інтенсивності та спектрального складу потоку сонячної радіації, що забезпечуються використанням розглянутих типів сонцезахисних пристроїв, для яких запропоновані методи графічного та аналітичного розрахунку.

Отримані результати впроваджені в національний стандарт з розрахунку інсоляції, навчальний процес та в проектування житлових будинків в Київській області.

Ключові слова: енергоефективна архітектура, інсоляція, сонячні карти, стереографічна проекція, сонцезахисні пристрої.

АННОТАЦИЯ

Буравченко В. С. Геометрические методы регулирования инсоляционного режима энергоэффективных зданий. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – Прикладная геометрия, инженерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры. – Киев, 2013.

Исследуются проблемы повышения энергоэффективности зданий путём улучшения их инсоляционного режима. Разработанные методы расчёта позволяют оценивать инсоляцию помещений по её продолжительности, тепловому и биологическому воздействию.

Усовершенствован графический метод инсоляции – метод солнечных карт и теневых масок. Предложен метод анализа местной климатологической информации путём нанесения её на комплексную солнечную карту, для чего на точках, соответствующих положениям солнца на небесной сфере в определённые часы и даты, отмечаются значения температуры воздуха, по которым проводятся изотермические кривые, образующие на солнечной карте температурные зоны желательной и нежелательной инсоляции. Эти зоны позволяют на стадии проектирования анализировать энергоэффективность архитектурно-конструктивных решений светопроёмов и проектировать рациональные солнцезащитные устройства, теневые маски которых максимально закрывают области нежелательной инсоляции, не закрывая области желательной инсоляции. Рассматриваются графические способы построения теневых масок для светопрозрачных конструкций и солнцезащитных устройств общего положения.

Усовершенствованы аналитические методы расчёта интегральных характеристик теплового и биологического спектра инсоляции, проникающей в помещение. Предложен ряд формул, позволяющих рассчитать пропускание прямой солнечной радиации сплошными и ламеллярными СЗУ общего положения. При этом рассмотрены как стационарные, так и трансформируемые СЗУ. Полученные значения используются при расчёте интенсивности и мощности потока солнечной радиации и количества тепла, получаемого помещением за определённый период.

Предложена методика контроля инсоляции помещений, основанная на регулировании времени и периода инсоляции, площади, интенсивности и спектрального состава инсолирующего потока. Это достигается использованием рассмотренных в диссертации типов солнцезащитных устройств и методов графического и аналитического расчёта.

Результаты диссертации были использованы при проектировании жилых и общественных зданий в г. Киеве и Киевской области.

Ключевые слова: инсоляция, солнечные карты, стереографическая проекция, солнцезащитные устройства, энергоэффективная архитектура.

SUMMARY

Buravchenko V. S. Geometrical Methods of Control of the Insolation Regime in Energy-Efficient Buildings. – Manuscript.

Thesis for a degree of candidate of science in specialty 05.01.01 – Applied geometry and engineering graphics. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2013.

This work considers aspects of increase of energy-efficiency of architecture through

optimization of insolation regime. Described methods allow calculation of time and thermal and biological influence of insolation in internal spaces. From graphic methods, the most attention is paid to the development of the method of solar maps and shadow masks. A method of analysis of local climatologic information in the complex solar map is proposed. Analytic methods deal with calculation of thermal and biological influence of insolation in internal spaces. Among the trends of solar-control control of time and period of insolation, area, intensity and spectrum of the insulating flow are considered. This is provided with the use of solar-protection devices of different types which can be calculated using the proposed methods of graphic and analytic calculation.

Keywords: energy-efficient architecture, insolation, solar maps, stereographic projection, solar-protection devices.

Підписано до друку 27.02.2013 р. Формат 60х90/16.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9.
Тираж 100. Зам. 15.

«Видавництво “Науковий світ”»[®]
Свідоцтво ДК № 249 від 16.11.2000 р.
м. Київ, вул. Боженка, 23, оф. 414.
200-87-13, 200-87-15, 050-525-88-77
E-mail: nsvit@mail.ru