

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

На правах рукопису

УДК 551.58:633.16

Кваліфікаційна робота магістра

Спеціальність 103 – Науки про Землю

Освітня програма «МЕТЕОРОЛОГІЯ»

**ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ГЕЛІОРЕСУРС
ПІВДНЯ УКРАЇНИ**

Виконав:

студент II курсу магістратури
кафедри метеорології та кліматології
Кихтенко Ярослав Васильович

Науковий керівник:

канд. фіз.-мат. наук, доцент
Олійник Ростислав Васильович

Робота рекомендується до захисту

Протокол № ____ засідання кафедри метеорології та кліматології
від «__» _____ 2020 р.

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології

доктор географічних наук,
професор Сніжко Сергій
Іванович

РЕФЕРАТ

На сьогоднішній день питання зеленої енергетики та альтернативних джерел енергії набуває глобальної актуальності. Особливо велике значення це має для України, яка нині є енергетично залежною країною. *Метою* даної роботи є визначення факторів, що впливають на геліопотенціал Півдня України та оцінка його максимального значення. *Завдання*: дослідити геліопотенціал в залежності від чинників, що його визначають, та чинників, що впливають на нього як безпосередньо, так і опосередковано. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, шестидесяти рисунків, десяти таблиць, дванадцяти додатків, переліку використаних джерел та літератури.

Результатами власних досліджень стала детальна оцінка динаміки величин, що визначають геліопотенціал південної частини України і безпосередньо впливають на нього. Перевагою роботи є використання сукупності статистичних методів для обробки великих масивів даних (40 років) та знаходження нормованих показників сонячної радіації, а також індексів прозорості атмосфери та хмарності.

ABSTRACT

Today, the issue of green energy and alternative energy sources is gaining global relevance. This is especially important for Ukraine, which is now an energy-dependent country. The *purpose* of this work is to determine the factors influencing the heliopotential of the South of Ukraine and to assess its maximum value. *Objective*: to investigate the heliopotential depending on the factors that determine it and the factors that affect it both directly and indirectly. The work consists of an introduction, three chapters, conclusions, sixty figures, ten tables, twelve appendices, a list of used sources and literature.

The results of our own research were a detailed assessment of the dynamics of the quantities that determine the heliopotential of the southern part of Ukraine and directly affect it. The advantage of this work is the use of a set of statistical methods for processing

large data sets (40 years) and finding normalized indicators of solar radiation, as well as clearness and diffuse fraction.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ. СОНЯЧНА ІНЖЕНЕРІЯ	6
Основні характеристики сонячного випромінювання	6
Сонце як джерело енергії. Сонячна атмосфера, сонячна стала та позаземне випромінювання Сонця.....	6
Поглинання, розсіювання та послаблення потоків сонячної радіації в атмосфері Землі. Надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню.....	14
Сонячне випромінювання на похилу поверхню та оптимальні кути нахилу сонячного колектора	45
Розсіяна сонячна радіація. Індекс прозорості та індекс хмарності.....	56
Сонячні колектори.....	66
Сонячна енергетика та її перспективи в Україні... ..	73
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ДАНИХ	93
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ ІНДЕКСУ ПРОЗОРСТІ АТМОСФЕРИ ТА ІНДЕКСУ ХМАРНОСТІ.....	99
Потік сонячної радіації на верхню межу атмосфери.....	99
Енергетичні втрати сонячної радіації в хмарній атмосфері.....	100
Індекс прозорості атмосфери.....	101
Оцінка прямої сонячної радіації за ступенем ясності неба	103
Індекс хмарності.....	103
Порівняння індексу прозорості атмосфери та індексу хмарності	105
ВИСНОВКИ	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ	116
ДОДАТКИ... ..	122

ВСТУП

Через суттєвий вплив на довкілля під час використання традиційних енергоносіїв та постійне зростання їх вартості останнім часом значна увага приділяється альтернативній і поновлюваній енергетиці. На сьогоднішній день серед альтернативних джерел енергії (тепла Землі, енергії вітру, припливів та відпливів, біогазу тощо) провідне місце займає використання сонячної енергії. Це пов'язано з головними перевагами цього виду енергії: загальна доступність, екологічність, практична невичерпність, можливість безпосереднього перетворення сонячної енергії у видимому та ближньому інфрачервоному спектрі випромінення у теплову або електричну енергію.

Повна кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі лише за тиждень, перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, вугілля та урану [10]. В Україні існують достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії: річний технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні еквівалентний 6 млрд. тонн умовного палива, його використання дозволило б замінити біля 5 млрд. м³ природного газу [6]. Сонце щосекунди випромінює $8,8 \cdot 10^{25}$ кал теплової енергії, що еквівалентно $1,25 \cdot 10^{16}$ т у.п. або $1,02 \cdot 10^{20}$ кВт·год [1]. На Землю потрапляє тільки дуже мала частина цієї енергії – біля $1 \cdot 10^{18}$ кВт·год ($1,23 \cdot 10^{14}$ т у.п.) за рік, що приблизно в 100 разів перевищує енергетичні ресурси всіх розвіданих горючих копалин на Землі [9]. В провідних країнах світу питома вага альтернативної енергетики постійно зростає і в найближчі роки збільшиться до декількох десятків процентів [17].

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт·год/м²) є досить високим і набагато вищим, ніж, наприклад, у Німеччині – 1000 кВт·год/м²

або навіть у Польщі – 1080 кВт·год/м² [2]. Станом на травень 2021 року в Україні побудовано та знаходяться на стадії будівництва більше 200 сонячних електростанцій (СЕС). У 2020 році частка СЕС у структурі виробництва електроенергії зросла вдвічі — до 4,6 % при загальному обсязі виробництва електроенергії 148,9 млрд кВт·год. Встановлена потужність СЕС протягом 2020 року збільшилася на 1,8 ГВт (+50,8 % у порівнянні з 2019 р.) і склала 5,3 ГВт[53]. Тому дослідження, проведені в даній роботі, набувають ще більшої актуальності.

Отже, потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. Термін ефективної експлуатації геліоенергетичного обладнання в південних областях України – 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях 5 місяців (з травня по вересень). Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися на протязі всього року [8].

Використані матеріали : наукова література, дані метеовеличин, отримані із Центру обробки даних атмосферних досліджень NASA в м. Ленглі, Європейського центру середньострокових прогнозів погоди -European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) в м. Рідінг поблизу Лондона; проекту Climate4impact та MINES ParisTech / TRANSVALOR S.A. в м. Софія-Антиполіс, Франція та оброблені з допомогою комп'ютерних програм.

Об'єкт дослідження : геліопотенціал Півдня України.

Предмет дослідження : оцінка потоків сонячної радіації як потенційного ресурсу геліоенергетики.

РОЗДІЛ 1 СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ. СОНЯЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

1.1 Основні характеристики сонячного випромінювання

1.1.1. Сонце як джерело енергії. Сонячна атмосфера, сонячна стала та позаземне випромінювання Сонця

Сонце є основним джерелом енергії, що надходить на Землю. Сумарна потужність енергії, яку випромінює Сонце, у всіх напрямках становить $3,9 \cdot 10^{20}$ МВт.

Спектр сонячного випромінювання прийнято ділити на три області - ультрафіолетову (УФ) з довжинами хвиль менше 0,39 мкм, видиму або світлову з довжинами хвиль від 0,39 до 0,76 мкм та інфрачервону (ІЧ) з довжинами хвиль більше 0,76 мкм. На УФ область припадає близько 10%, на видиму - близько 50% і на ІЧ область - до 40% випромінюваної Сонцем енергії.

Сонце - це типовий представник класу карликових жовтих зірок, основною рисою яких є довгий період відносної стійкості. Це величезна газоподібна куля радіусом 695 600 км, масою $1,98 \cdot 10^{30}$ кг і середньою густиною сонячної матерії $1,4 \text{ г/см}^3$ (на $0,4 \text{ г/см}^3$ більше за густину води). Температура в надрах цього світила перевищує $5 \cdot 10^6 \text{ К}$ (за іншими джерелами - 10^7 К), що створює умови для термоядерних реакцій, тобто Сонце - великий термоядерний реактор.

Джерелом енергії, що випромінюється Сонцем, є реакція синтезу ядер водню, що призводить до утворення гелію. Випромінювання, яке виникає при термоядерній реакції, зазнає істотних змін у результаті взаємодії із сонячною речовиною (шляхом поглинання й перевипромінювання світлових квантів вищерозташованими шарами), проходячи близько $5 \cdot 10^5$ км до виходу на

поверхню. У цьому шарі, який називається конвективною зоною, перенесення енергії здійснюється також шляхом конвекції (швидкість підняття гарячих мас газу та опускання холодних 1-2 км/с).[15]

Джерело сонячної енергії генерується завдяки стійкому перетворенню чотирьох атомів водню в один атом гелію в реакціях термоядерного синтезу, які відбуваються в глибоких внутрішніх районах Сонця з температурою до багатьох мільйонів градусів. Видима область Сонця називається «фотосферою», де бере початок більша частина електромагнітної енергії, що досягає Землі. Область над фотосферою зазвичай називають «сонячною атмосферою». Вона характеризується слабкими та прозорими сонячними газами. Сонячна атмосфера розділена на два шари, а саме - хромосферу та корону. Розподіл електромагнітного випромінювання, поширюваного Сонцем, як функція довжини хвилі, що падає на верхню межу атмосфери, називається «сонячним спектром».

Найвіддаленіший і порівняно тонкий шар Сонця в 400 км відомий як фотосфера має температуру близько 5770 К. Цей шар фотосфери випромінює спектр випромінювання, що називається «світлом», і є видимим для людського ока – видиме світло, яке у свою чергу вивчає атмосферна оптика. При цьому фотосфера – це найнижчий шар сонячної атмосфери, у якому формуються різні нестационарні явища як факели, протуберанці тощо, що поглинаються земною термосферою і формують процеси іонізації та дисоціації, у результаті наявності яких у земній термосфері утворюються процеси нічного сяяння неба та полярні сяйва відповідно.[49]

Потужність випромінювання, що приходить до верхньої межі атмосфери Землі на одиницю поверхні Землі, перпендикулярній до напрямку на Сонце, становить 1.38 кВт/м^2 при середній відстані Землі від Сонця і називається сонячною сталою в силу малої своєї зміни (в межах 0,5%).[15]

Також сонячна стала – це інтенсивність сонячної радіації до надходження її в атмосферу. Вона визначається як та кількість сонячної радіації, що надходить на

верхню межу атмосфери Землі і визначається як 100% потоку сонячної радіації, що надходить у атмосферу Землі в цілому, але до моменту послаблення цього потоку різними чинниками у атмосфері Землі (до моменту поглинання парниковими газами або малими газовими складовими потоків сонячної радіації - це переважно інфрачервоний спектр потоків сонячної радіації; поглинання озоновим шаром у озоносфері стратосфери Землі потоків сонячної радіації на висотах від 15 до 35 км, що відповідають висотам озоносфери, у якій спостерігається наявність максимальної концентрації озону у атмосфері Землі в цілому – це переважно поглинання надмірних потоків ультрафіолетової сонячної радіації даним озоновим шаром; відбиття аерозолями потоків сонячної радіації – відбиття потоків сонячної радіації аерозольним шаром пилу, як представника аерозолі природного походження чи сажі - антропогенного походження аерозолі, що формує уже надмірне відбиття потоків сонячної радіації, і це усе в свою чергу формує прямий аерозольний вплив на клімат і таким чином формується зменшення цих потоків у атмосфері Землі; затримання потоків сонячної радіації хмарністю нижнього ярусу та ярусу вертикального розвитку хмар тощо) та має значення $I_o=1.38$ кВт/м². Також значення сонячної сталої $I_o=1.37$ кВт/м² та $I_o=1.36 \pm 2$ кВт/м². Точне значення, прийняте у сучасній метеорологічній практиці – 1.367 кВт/м².

Розраховується сонячна стала за формулою [5]:

$$I_o = \frac{I}{4\pi r_o^2}, (1.1)$$

де I - пряма сонячна радіація, кВт/м²;

r_o - середня відстань від Землі до Сонця.

Сонячна стала I_o - величина, що позначає кількість загальної сонячної енергії, що досягає верхньої межі атмосфери. Вона визначається як потік сонячної енергії (енергії за час) через поверхню одиниці площі, нормальної до сонячного променя на середній відстані між Сонцем і Землею.[18]

Сенс слова стала полягає тут у тому, що ця величина не залежить від поглинання і розсіювання радіації в атмосфері. Вона відноситься до радіації, на яку атмосфера ще не вплинула. Сонячна стала залежить, таким чином, лише від випромінювальної здатності Сонця і від відстані між Землею і Сонцем.

Земля обертається навколо Сонця по мало розтягнутому еліпсу, в одному з фокусів якого знаходиться Сонце. Середня відстань між Сонцем і Землею становить близько 150 мільйонів кілометрів. На початку січня (4 січня) вона найближче до Сонця (147 млн. км) – це точка перигелію, на початку липня (4 липня) – найдалі від нього (152 млн. км) - це точка афелію. Оскільки інтенсивність радіації змінюється обернено пропорційно квадрату відстані, то сонячна стала протягом року змінюється на $\pm 3,5\%$. При середній відстані Землі від Сонця сонячна стала дорівнює $2,00 \pm 0,04$ кал/см²·хв. Проте за стандартне її значення за міжнародною угодою прийнята величина $1,98$ кал/см²·хв. В результаті цих різних відстаней пряме сонячне випромінювання, яке досягає земної атмосфери, на 7% менш інтенсивне 4 липня, ніж у січні (рис. 1.1). [49]



Рис.1.1. Земна орбіта [49]

На освітлену півкулю Землі на верхній межі атмосфери за одну хвилину падає кількість сонячної енергії, що дорівнює добутку сонячної сталої на площу великого еліпсоїда (геоїда) Землі, виражену в квадратних сантиметрах. При середньому радіусі Землі 6371 км ця площа дорівнює $12,75 \cdot 10^{17}$ см², а промениста енергія, що надходить до неї за одну хвилину, дорівнює $25 \cdot 10^{17}$ кал. За рік Земля отримує $1,37 \cdot 10^{24}$ кал. У середньому на кожний квадратний кілометр земної поверхні припадає за рік $2,6 \cdot 10^{15}$ кал. За 1,5 доби Сонце дає Землі стільки ж енергії, скільки дають електростанції всіх країн протягом року. При цьому сонячна радіація, що надходить до Землі, – менше однієї двохмільярдної долі всього випромінювання Сонця.[13]

Також сонячна стала – це і міра надходження кількості променистої енергії Сонця на верхню межу атмосфери. Коливання сонячної сталої мають трендові компоненти та квазіперіодичні складові за періодами певного часового розрізнення, але масштаб цих коливань дуже незначний. Її варіації пов'язані з сонячною активністю, а саме з її корпускулярною формою. Сонячна активність може змінювати величину сонячної сталої на 4 Вт/м^2 .

Випромінювана сонячна енергія становить $3,72 \cdot 10^{20}$ МВт, що еквівалентно випромінювальній потужності 63 МВт/м^2 її поверхні. На середній відстані між Сонцем і Землею це випромінювання досягає зовнішньої поверхні земної атмосфери з інтенсивністю $1,376 \text{ кВт}$, падаючи на поверхню площею 1 м^2 , орієнтовану перпендикулярно сонячним променям, також відомою як сонячна стала.

Оскільки Земля обертається навколо Сонця, а також обертається навколо власної осі, то кут падіння сонячної радіації постійно змінюється. Співвідношення кута падіння та інтенсивності випромінювання можна представити як функцію косинусу, яка також відома як закон Ламберта (рис.1.2).

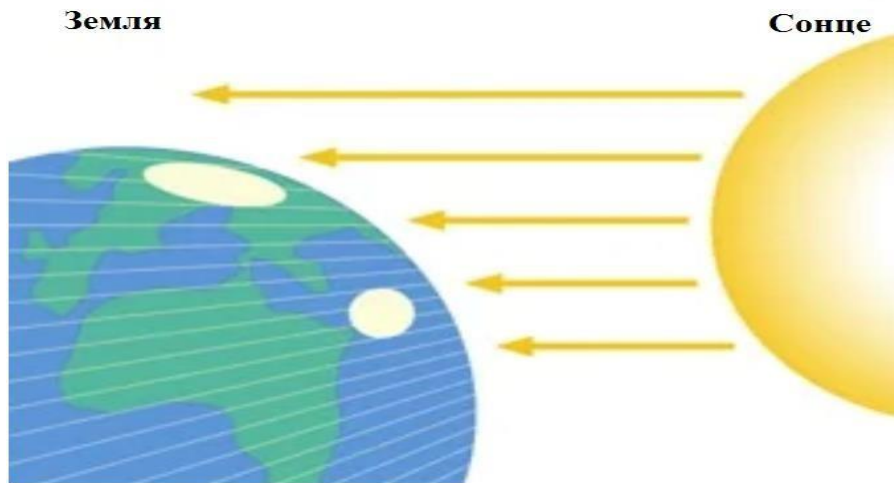


Рис.1.2. Кут падіння сонячного випромінювання [49]

Крім того, впливає нахил $23,5^\circ$ земної осі, як показано на рис.1.3. Зміна кута падіння в різні пори дня є найважливішим фактором.

Земля має майже сферичну форму, а не плоский диск, гравітаційна сила зв'язує атмосферу як оболонка. Таким чином, кривизна поверхні та ефективна товщина атмосфери впливають на інтенсивність сонячного випромінювання в точці на поверхні.

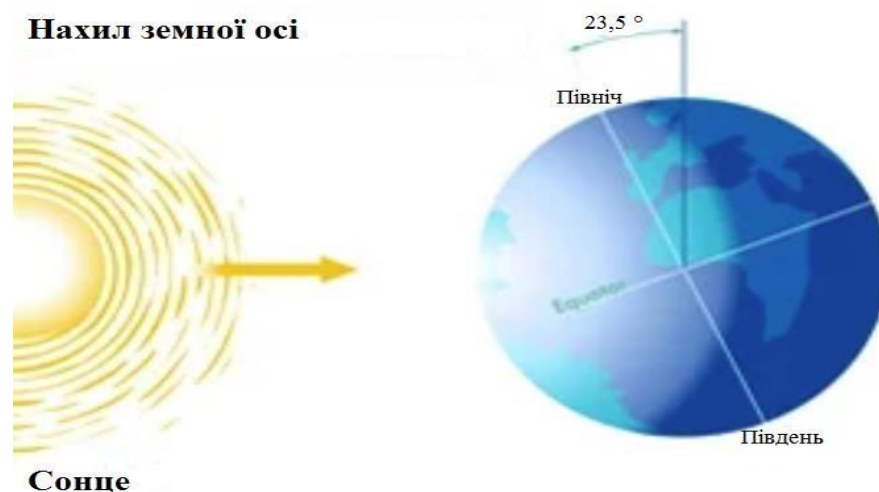


Рис. 1.3. Нахил земної осі [49]

Найвищої інтенсивності сонячна радіація досягає, коли Сонце знаходиться на вершині, кут падіння становить 90° , а товщина атмосфери - мінімум. Якщо положення Сонця на небі нижче, випромінювання повинно проходити через більшу

кількість атмосфери, а отже, більше радіації розсіюється і поглинається атмосферою, і менше випромінювання потрапляє на поверхню Землі.

Глибина атмосфери відноситься до ефективної товщини атмосфери. Глибина атмосфери безпосередньо над горизонтом приблизно в 11 разів більша, ніж при найкоротшому шляху на 90° (зеніт Сонця), як показано на рис.1.4.

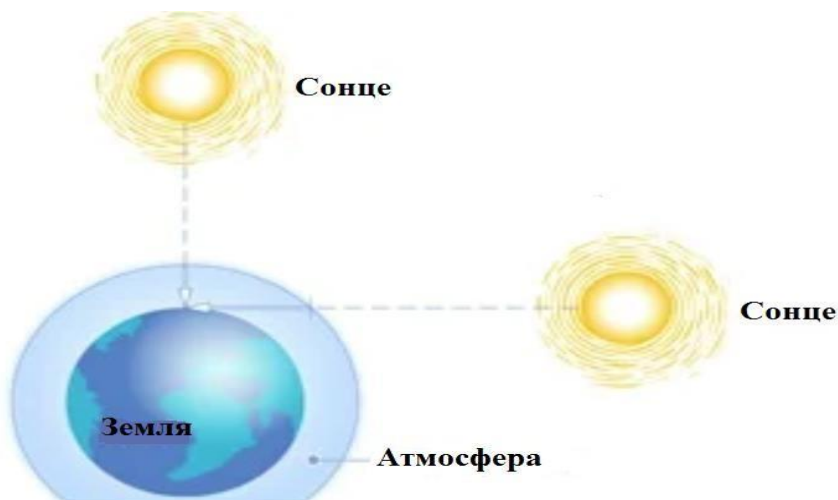


Рис. 1.4. Атмосферна глибина [49]

Як було сказано вище, значення сонячної сталої $I_0 = 1.38 \text{ кВт/м}^2 = 1380 \text{ Вт/м}^2$. Проте середнє квадратичне відхилення сонячної сталої становить 0,05%, а повна амплітуда між мінімумом і максимумом та різниця мінімуму та максимуму, тобто розмах сонячної сталої становить 0,4 %.[5]

Висотна сонячна інсоляція - це та кількість сонячної радіації, що надходить на одиничну площу верхньої межі атмосфери Землі. Висотна сонячна інсоляція обчислюється за формулою [22]:

$$I' = \frac{I_0}{R^2} \cdot (\sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\theta), \quad (1.2)$$

де I_0 - сонячна стала;

φ – географічна широта місцевості;

δ - кут схилення Сонця;

θ – годинний кут, визначається як «різниця часу у полудень 12 год – час у момент спостережень t_θ »:

$$\theta = 12 - r_{\theta}; (1.3)$$

R^2 – квадрат відстані від Землі до Сонця в конкретний день року:

$$R^2 = \frac{r_j^2}{r_o^2}, (1.4)$$

де $r_o=1$ а.у. $\approx 149.598 \cdot 10^6$ км – середня відстань від Землі до Сонця;

r_j – відстань від Землі до Сонця в j -й день року, причому нумерація днів року йде від 0 для 1 січня до 364 для 31 грудня[15].

Позаземне випромінювання I_e визначається як частота сонячного випромінювання поза земної атмосфери, тобто у навколишньому космічному просторі, що надходить на верхню межу атмосфери і обчислюється за наступним рівнянням [41]:

$$I_e = \frac{12 \cdot 3,6}{\pi} I_o E_o \cdot ((\sin \varphi \cos \delta) \cdot (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) + \frac{\pi(\theta_2 - \theta_1)}{180} \sin \varphi \sin \delta), (1.5)$$

де I_o – сонячна стала;

E_o – коефіцієнт корекції ексцентриситету – ступеня витягнутості орбіти Землі;

δ – кут схилення Сонця;

φ – географічна широта місцевості;

θ_1 і θ_2 – годинний кут на початку та в кінці часового інтервалу,

де всі кути подані в градусах.

Коефіцієнт поправки ексцентриситету E_o для більшості інженерних та технологічних розрахунків розраховується за дуже простим виразом Бекмана [41]:

$$E_o = 1 + 0,0033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right). (1.6)$$

Кут схилення δ – один з основних компонентів сонячної радіації, це кутова відстань від Сонця на півночі чи півдні до екватора Землі. Як схематично проілюстровано на рис. 1.5, завдяки максимальному і мінімальному значенню кута схилення на земній орбіті виникають сезони. Схил коливається від $23,45^\circ$ на півночі до $23,45^\circ$ на півдні. Північна півкуля нахилена під кутом $23,45^\circ$ до Сонця десь

близько 21 грудня, тобто в літнє сонцестояння для південної півкулі та зимове сонцестояння для північної півкулі. Протягом весняного та осіннього рівнодення, яке починається 21 березня та 21 вересня відповідно, Сонце проходить безпосередньо над екватором.



Рис. 1.5. Максимальне та мінімальне значення кута схилення [41].

В Україні найбільша висота Сонця опівдні – $61\text{--}69^\circ$ (22 червня), найменша – $14\text{--}22^\circ$ (22 грудня).

1.1.2 Поглинання, розсіювання та послаблення потоків сонячної радіації в атмосфері Землі. Надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню

Сонячна радіація, яка надходить на верхню межу атмосфери, на шляху до земної поверхні проходить крізь всю товщу атмосфери і значно послаблюється внаслідок поглинання її термодинамічно активними домішками атмосфери та внаслідок розсіювання. До 47% загальної кількості радіації, що надходить на верхню межу атмосфери, досягає поверхні Землі й поглинається нею, 25% затримується атмосферою - розсіюється молекулами газів та домішками. До земної поверхні сонячна радіація доходить у вигляді прямих і розсіяних променів. [16]

Короткохвильове електромагнітне випромінювання Сонця охоплює спектральний діапазон від 0,1 до 4,0 мкм, але під час надходження до поверхні Землі різко обривається на довжині хвилі $\lambda = 0,29$ мкм. Жорстке ультрафіолетове

випромінювання поглинається озоном ($\lambda < 0,36$ мкм). Особливо значним є поглинання у діапазоні 0,22-0,29 мкм (смуги Хартлі) і у діапазоні 0,31-0,36 мкм (смуги Хеггінса). Крім того, озон має смуги поглинання і у видимій частині спектра 0,44-0,75 мкм (смуги Шапюі). Ультрафіолетове випромінювання поглинається також киснем у смузі 0,13- 0,24 мкм.

Сонячну радіацію в інфрачервоній частині спектра значною мірою поглинають водяна пара і вуглекислий газ у кількості, яка становить приблизно 3,8% від сонячної сталої. Частину сонячної радіації у значній ділянці спектра поглинає також атмосферний аерозоль. В цілому величина поглинання сонячної радіації в атмосфері становить у середньому 17-25 %.[3]

Розсіювання короткохвильового випромінювання в атмосфері відбувається на молекулах і комплексах молекул повітря (молекулярне або релєївське), на частках аерозоллю і хмарних частинках (аерозольне).

У реальних умовах розподіл прямої радіації біля земної поверхні залежить ще й від хмарності. Хмарність послаблює сонячну радіацію. За умов безхмарної атмосфери потік сонячної радіації зменшується в середньому на 20%, за хмарності — ще на 20-30% . Отже, земної поверхні у середньому досягає 50-60% від сонячної радіації, яка надходить до верхньої межі атмосфери. Найбільш помітне це зменшення у високих широтах, що визначається малою висотою Сонця (збільшенням оптичної маси атмосфери), наявністю хмарності та високою вологістю.

Таблиця 1.1

Розподіл прямої радіації по Земній кулі [3]

Північна широта, °	0	10	20	30	40	50	60
Річна сума прямої радіації на верхній межі атмосфери, МДж/(м ² · рік)	13450	13280	12740	11860	10640	9220	7630
Коеф. прозорості P	0,70	0,70	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80

Середня річна кількість хмар, бали	5,6	4,8	4,2	4,4	5,0	5,8	6,1
Річна сума прямої радіації біля земної поверхні, МДж/(м ² · рік)	3440	3980	4190	3810	3100	2260	1720

З табл. 1.1, у якій наведено широтний розподіл річних сум прямої радіації, випливає, що зі зменшенням широти річні суми прямої радіації на верхній межі атмосфери зростають, а біля земної поверхні вони спочатку збільшуються зі збільшенням широти φ від 0 до 20°, а при подальшому її зростанні — зменшуються. Такі зміни річних сум прямої радіації по широті зумовлені географічним розподілом, перш за все, хмар. [3]

Як було сказано вище, при проходженні сонячної радіації крізь атмосферу відбувається її послаблення, яке обумовлено поглинанням і розсіянням. Розсіяння переважає у видимій частині спектра, а поглинання - в ультрафіолетовій та інфрачервоній. [15]

Тип і кількість випромінювання, що досягає горизонтальної поверхні землі, залежать від різних характеристик атмосфери. Іншими ключовими факторами є розмір Землі та її розташування в космосі; однак склад земної поверхні є вирішальним фактором для кількості радіації, яка поглинається горизонтальною поверхнею Землі або відбивається від неї. [49]

Атмосфера Землі містить хмарні та аерозольні частки, розміри яких набагато більші за довжини хвиль видимого сонячного світла.

Атмосфера складається з групи майже постійних газів і групи газів зі змінною концентрацією. Атмосфера також містить різні тверді та рідкі частки, такі як аерозолі, краплі води та кристали льоду, які сильно змінюються у просторі та часі. Будь-яка рухома частинка має кінетичну енергію в результаті свого руху в просторі; відому як «поступальна енергія». Встановлено, що усереднена поступальна

кінетична енергія однієї молекули в напрямках X , Y та Z дорівнює $KT/2$, де K – стала Больцмана,
 T – абсолютна температура. [20]

Молекула, яка складається з атомів, може обертатися навколо осі через центр ваги i , отже, має енергію обертання. Спектри поглинання внаслідок електронних переходів молекулярного та атомного кисню O_2 , азоту N_2 та озону O_3 відбуваються головним чином в ультрафіолетовій (УФ-області), а внаслідок коливальних та обертальних переходів триатомних молекул, таких як H_2O , O_3 та CO_2 , лежать в інфрачервоному діапазоні спектру. У видимій області сонячного спектру поглинання дуже мале. [20]

Метеорологічно значущий спектральний діапазон сягає від 300 нм до 3000 нм (короткохвильове випромінювання). Приблизно 96% всього позаземного випромінювання знаходиться в цьому спектральному діапазоні. Максимальна інтенсивність випромінювання сонячного спектру відбувається при 500 нм до кінця видимого діапазону.

Повний спектр включає ультрафіолетові (УФ), видимі та інфрачервоні (ІЧ) довжини хвиль. Однак ці діапазони довжин хвиль розподілені за окремими областями застосування. Найвідомішими є призматичні кольори видимого світла, кольори райдуги. ІЧ ділиться на ближнє інфрачервоне (near infrared radiation NIR) та дальнє інфрачервоне (far infrared radiation FIR) випромінювання.

Зазвичай УФ поділяється на УФ-А, УФ-В та УФ-С випромінювання. Приблизно 6 % від загальної сонячної радіації, що падає на землю, є ультрафіолетовим. Коротші довжини хвиль (вищі частоти) мають вищу енергію, збільшуючи тим самим вплив на біологічні та хімічні системи.[48]

Послаблення сонячної радіації, що проходить через атмосферу, відбувається внаслідок таких процесів: ультрафіолетовий діапазон розсіювання молекулами та аерозольними частками та поглинання озonom, діоксидом сірки, діоксидом азоту та смугами газів.

- Видимий діапазон:

розсіювання молекулами та аерозольними частками, незначне поглинання аерозольними частками, озоном та іншими газовими смугами.

- Інфрачервоний діапазон:

поглинання водяною парою та аерозольними частками, незначне розсіювання.

Молекулярний озон у верхніх шарах атмосфери функціонує як фільтр для ультрафіолетового випромінювання, ефект посилюється з меншими довжинами хвиль. Тоді як майже все ультрафіолетове випромінювання досягає поверхні землі, майже 90% ультрафіолетового випромінювання поглинається озоном та всім УФ-С. Під час цього процесу з атмосферного кисню також виробляється новий озон (O_3), що посилює процес.

Зміни вмісту озону в атмосфері особливо впливають на кількість УФ-В. Збільшення концентрації озонового шару означає зменшення випромінювання УФ-В, а зменшення шару озону означає збільшення випромінювання УФ-В, що досягає горизонтальної поверхні.

Сонячне випромінювання є рушієм багатьох хімічних, біологічних та фізичних явищ в атмосфері, на землі та в морях.

Основним ефектом сонячного випромінювання, що потрапляє на земну поверхню, є те, що воно нагріває її. 30% неземного випромінювання (показано жовтим кольором на рис.1.6) відбивається назад у навколишній космічний простір, але приблизно 51 % поглинається горизонтальною поверхнею, а ще 19 % поглинається хмарами та атмосферою. [48]

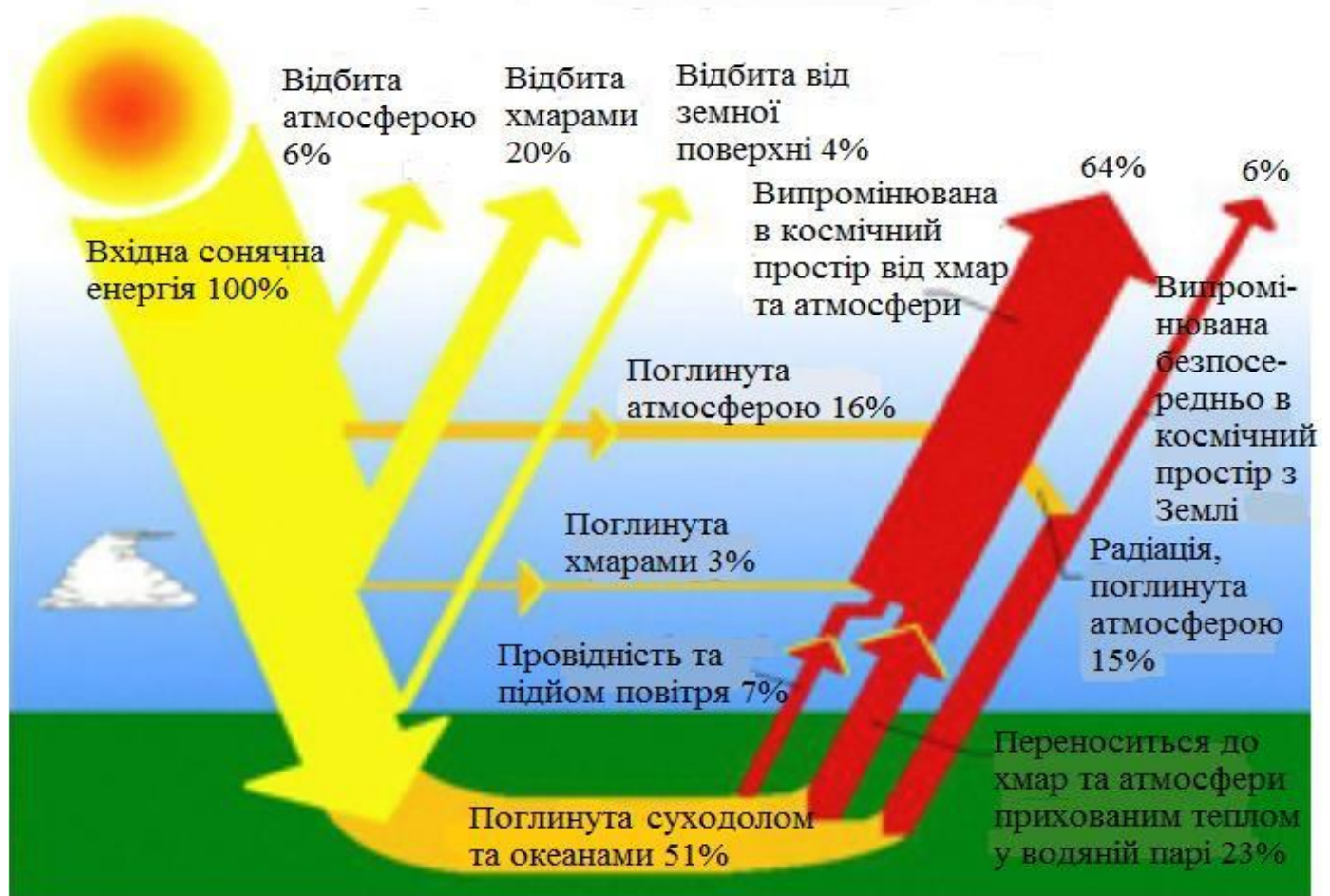


Рис.1.6. Розподіл сонячної енергії [48]

Довгохвильове дальнє інфрачервоне випромінювання FIR, що показано червоним кольором на рис. 1.6, в основному трансформує короткохвильову енергію, яка перевищує випромінювання води, хмар та атмосфери. На підстильній поверхні залишається лише невелика кількість загальної енергії, але цього достатньо для отримання оптимальної сонячної енергії геліоустановок.

Зміни відбитої та перевищуваної енергії, безумовно, впливають на енергетичний баланс між землею та атмосферою. Цей енергетичний баланс, у свою чергу, впливає на метеорологічні умови надходження потоків сонячної радіації на горизонтальну поверхню. [48]

Атмосферні явища впливають на надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню Землі. В основному впливають [23]:

- зменшення потужності сонячного випромінювання внаслідок поглинання, розсіювання та відбиття в атмосфері;
- зміна спектрального вмісту сонячного випромінювання внаслідок більшого поглинання або розсіювання деяких довжин хвиль;
- дифузний або розсіяний, непрямий компонент сонячної радіації;
- місцеві особливості атмосфери (такі, як водяна пара, хмари та забруднення), які мають додатковий вплив на потужність падаючого опромінення, спектр та напрямок.

Ці явища показані на рис.1.7.

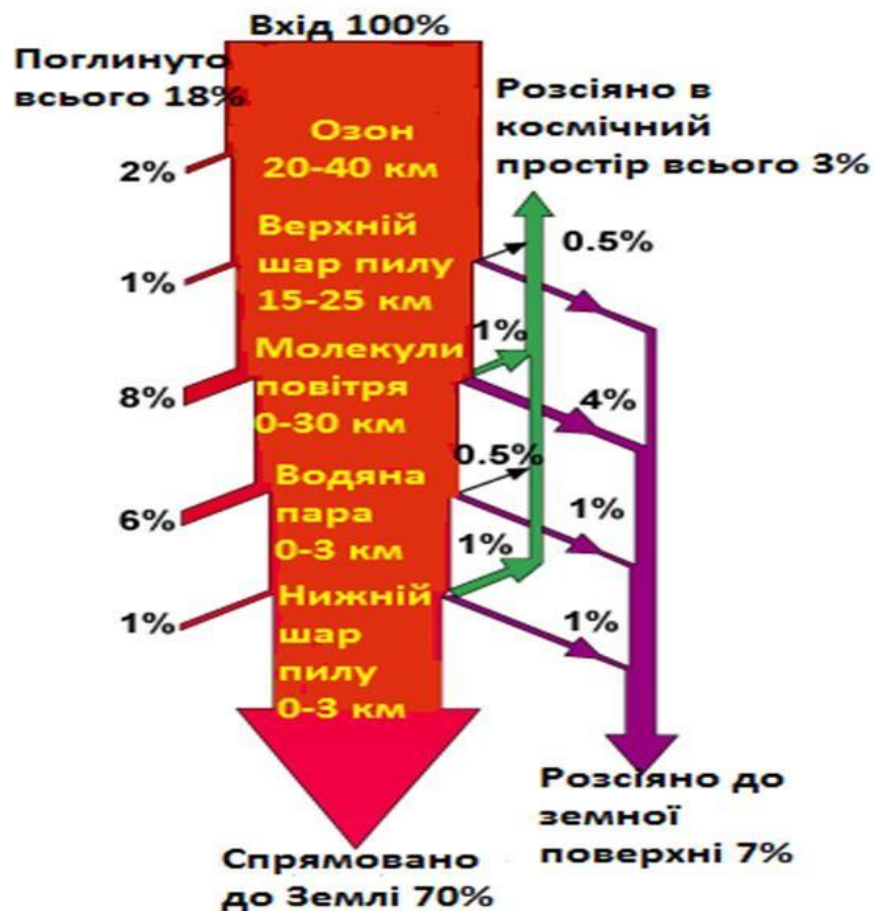


Рис.1.7. Типове поглинання та розсіювання падаючого сонячного світла при ясному небі [23]

Поглинання в атмосфері відбувається, коли сонячне випромінювання проходить через атмосферу, гази, пил та аерозолі, що поглинають падаючі фотони.

Специфічні гази, зокрема озон (O_3), вуглекислий газ (CO_2) та водяна пара (H_2O), мають дуже високе поглинання фотонів, енергії яких близькі до енергій зв'язку цих атмосферних газів. Це поглинання дає глибокі прогини на спектральній кривій випромінювання. Наприклад, значна частина дальнього інфрачервоного світла FIR (понад 2 мкм) , а отже і інфрачервоного спектру сонячного випромінювання потоків сонячної радіації поглинається водяною паром та вуглекислим газом, як парниковими газами. Причому основний парниковий газ – це водяна пара. Подібним чином більша частина ультрафіолетового світла (нижче 0,3 мкм) та ультрафіолетового спектру сонячного випромінювання потоків сонячної радіації поглинається озоном.

Хоча поглинання конкретними газами в атмосфері змінює спектральний вміст наземного сонячного випромінювання, вони мають відносно незначний вплив на загальну потужність. Натомість основним фактором, що зменшує потужність сонячної радіації, є поглинання та розсіювання світла завдяки молекулам повітря та пилу. Цей процес поглинання не виробляє глибоких западин спектрального опромінення, а спричиняє зменшення потужності в залежності від довжини шляху через атмосферу. Коли Сонце знаходиться над головою, поглинання внаслідок цих атмосферних елементів викликає відносно рівномірне зменшення у видимому спектрі, тому падаюче світло виглядає білим. Однак при більшій довжині шляху світло з більшою енергією (менша довжина хвилі) ефективніше поглинається і розсіюється. Отже, вранці та ввечері Сонце виглядає набагато червонішим і має меншу інтенсивність, ніж в середині дня.

Стандартні спектри, наведені вище, показують типові спектри для сонячного світла. Комп'ютерні моделі дозволяють отримувати більш детальні моделі сонячних спектрів для певного місця та часу доби. Проста модель випромінювання Сонця в атмосфері, або SMARTS використовується для створення стандартних сонячних спектрів. Калькулятор сонячного спектру на фотоелектричному маяку також визначає сонячний спектр як функцію місця та часу доби. Він використовує дещо

простіший алгоритм від програмного забезпечення Bird, необхідний для дослідження стандартних сонячних спектрів.

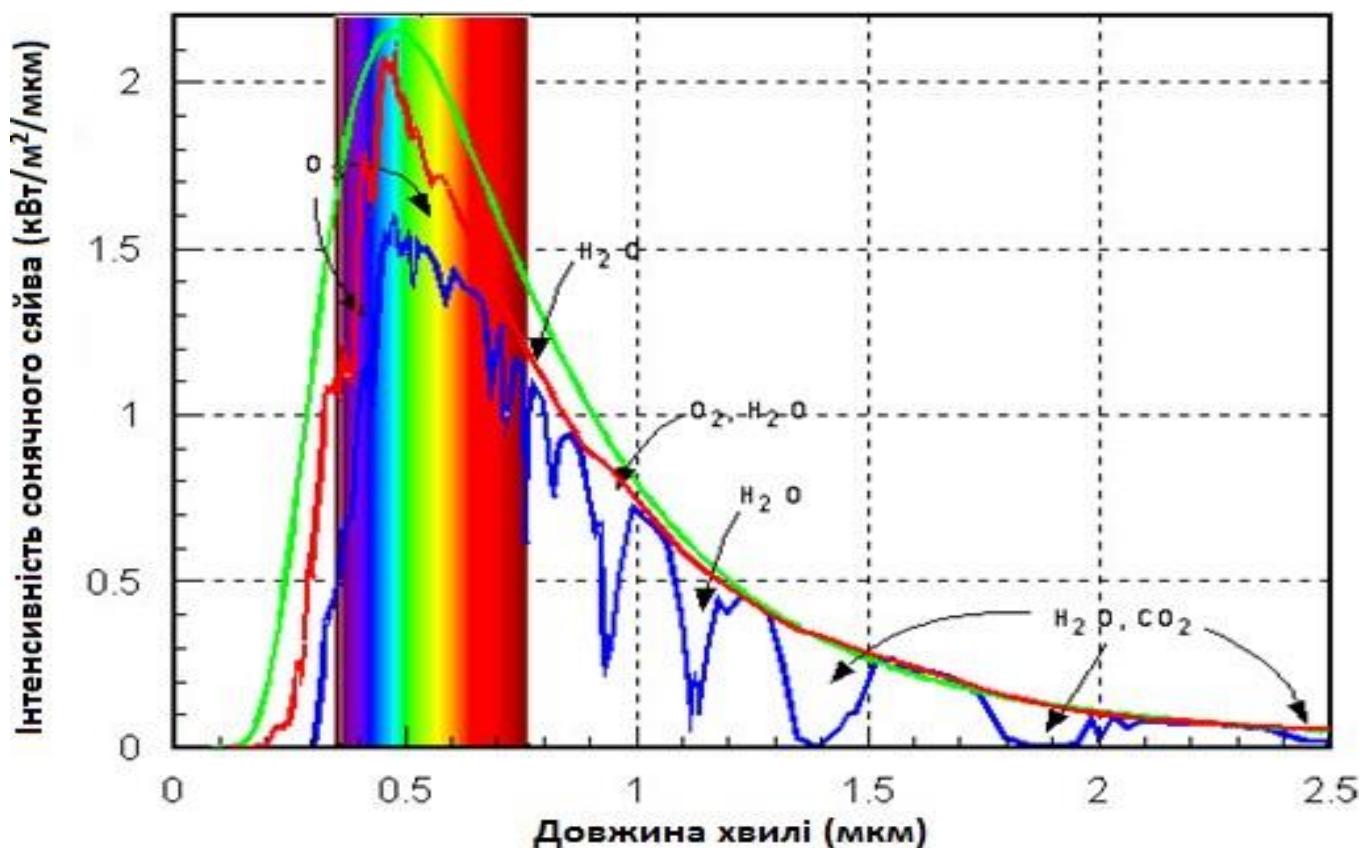


Рис. 1.8. Порівняння сонячної радіації поза атмосферою Землі з кількістю сонячної радіації, що досягає самої Землі [23]

Аерозолі - це тверді та рідкі частки, зважені в атмосфері, розміром від 10-3 мкм до декількох десятків мікрон. Ці частки є або природними джерелами (такі як виверження вулканів, пилові бурі, ліси та луки пожежі, морські бризки тощо) або антропогенного походження (наприклад як спалення викопного палива, особливо дизельних двигунів автомобілів, у результаті чого у атмосферу Землі виділяється сажа).[29]

Аерозолі відбивають потоки сонячної радіації від поверхні аерозольного шару пилу, як аерозолі природного походження та сажі - як антропогенного походження аерозолів, зменшуючи надходження потоків сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Це і є прямий аерозольний вплив на клімат. Причому

сажа, як аерозоль антропогенного походження, зумовлює надмірне відбиття потоків сонячної радіації від власної поверхні, що формує найменше надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Пил, як аерозоль природного походження, формує оптимальне відбиття потоків сонячної радіації від власної поверхні, у результаті чого радіація надходить на горизонтальну поверхню у більшому потоці в порівнянні з наявністю сажі, проте загалом ці аерозолі зумовлюють зменшення потоків сонячної радіації і значне її послаблення в атмосфері за рахунок відбиття потоків від поверхні цих видів аерозолів, у результаті чого дані потоки у меншому показнику досягають горизонтальної поверхні.

Також аерозолі формують непрямий аерозольний вплив – утворення хмарності і опосередкований – участь у процесі конденсації водяної пари в атмосфері. Саме утворення хмар відіграє важливу роль впливу на потоки сонячної радіації. Як відомо, для оцінки форм хмар на небосхилі існує класифікація Говарда, за якою хмари поділяються на такі яруси, як верхній, середній, нижній яруси та ярус вертикального розвитку хмар. Верхній, що складається із кристалів льоду і знаходиться на висоті від 6 до 12 км, зумовлює пропускання потоків сонячної радіації і тому ці потоки без перешкод досягають горизонтальної поверхні. Таким чином пряма сонячна радіація спостерігається у найвищому показнику, що формує і найвищі показники сумарної сонячної радіації, оскільки пряма сонячна радіація складає найбільшу частку в сумарній. Середній ярус хмар – 2 – 6 км теж формує пропускання потоків сонячної радіації, як і верхній, але у порівнянні з верхнім ярусом - менші потоки. Також середній ярус хмар формує гало. Але нижній ярус хмар – нижче 2 км та ярус вертикального розвитку хмар (конвективна хмарність) – до 2 км, що сформовані у результаті конденсації водяної пари, затримують значні потоки сонячної радіації, у результаті чого ці потоки в мінімальному показнику досягають горизонтальної поверхні. Серед потоків переважає лише розсіяна сонячна радіація, що складає лівову частку потоків у сумарній сонячній радіації у даному випадку, але вона завжди менше прямої. Тому сумарна сонячна радіація буде

найменшою, а пряма взагалі може бути відсутня, або мати дуже малий показник. Таким чином при урахуванні впливу хмарності, найвищий потік сонячної радіації, а отже і найвищий потенціал сонячної енергії, має місце при наявності верхнього та середнього ярусів хмар, а найнижчий – при наявності нижнього ярусу хмар та ярусу вертикального розвитку хмар.[35]

Мутність атмосфери пов'язана з атмосферним аерозольним навантаженням.

Завдяки взаємозв'язку, що існує між аерозолями та зменшенням сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, використовуються різні коефіцієнти фактору мутності атмосфери. На основі радіометричних методів для оцінки фактору мутності атмосфери використовуються коефіцієнти мутності Лінке, Ангстрема, коефіцієнт Шієппа, фактор мутності Монтейта тощо. [29]

Коефіцієнт мутності Лінке T_L використовується з 1922 р. для кількісної оцінки умов мутності атмосфери. Він визначається як кількість атмосфер Релея (чистих сухих атмосфер без аерозолів і без водяної пари), необхідних для отримання певного послаблення прямого сонячного випромінювання, що виробляється реальною атмосферою. [25]

Коефіцієнт мутності атмосфери Лінке корисний для моделювання поглинання атмосфери та розсіювання сонячної радіації під час ясного неба. Коефіцієнт Лінке залежить від маси повітря, що нормалізує вимірні значення T_L . Цей фактор мутності описує оптичну товщину атмосфери, обумовлену як поглинанням сонячної радіації водяною парою (водяна пара як основний парниковий газ у атмосфері Землі поглинає переважно інфрачервону сонячну радіацію, яку теж поглинають інші парникові гази), так і розсіюванням сонячної радіації аерозольними частками відносно сухої та чистої атмосфери. Це виражає атмосферну мутність або еквівалентне послаблення потоку прямої сонячної радіації, особливо за рахунок розсіювання сонячної радіації аерозольними частками. Тоді значення коефіцієнта Лінке можна отримати з прямої складової сонячного опромінення. Типові значення коефіцієнта Лінке варіюються в межах 1 і 10. Високі значення коефіцієнта Лінке

означають, що сонячна радіація більше послаблюється в атмосфері ясного неба. Для розрахунку коефіцієнта Лінке T_l використовується наступне рівняння [25]:

$$T_l = T_{lk} \frac{\frac{1}{\delta_{Ra}(m_a)}}{\frac{1}{\delta_{Rk}(m_a)}}, (1.7)$$

де T_{lk} - фактор мутності Лінке за Кастеном (Kasten);

$\delta_{Rk}(m_a)$ - інтегральна оптична товщина Релея (Rayleigh);

$\delta_{Ra}(m_a)$ - інтегральна оптична товщина за Лушем (Louche), скорегована Кастеном.

Коефіцієнт Лінке за Кастеном T_{lk} пов'язаний з нормальною частотою сонячного опромінення за рівнянням:

$$T_{lk} = (0.9 + 9.4 \sin(h)) * (2 \ln(I_o(\frac{R_o}{R})) - \ln(I_n)), (1.8)$$

де h - висота Сонця на небосхилі у градусах, в прямій нормалі сонячного опромінення при нормальному куті падіння сонячних променів;

I_o - сонячна стала;

R_i R_o - миттєві і середні відстані від Землі до Сонця відповідно;

I_n - потік прямої сонячної радіації, виміряний пергеліометром, кВт/м² або Вт/м².

Вирази $\delta_{Ra}(m_a)$ та $\delta_{Rk}(m_a)$ подано наступними рівняннями [25]:

$$\frac{1}{\delta_{Ra}}(m_a) = 6.6296 + 1.7513m_a - 0.1202m_a^2 + 0.0065m_a^3 - 0.00013m_a^4 (1.9)$$

$$\frac{1}{\delta_{Rk}}(m_a) = 9.4 + 0.9m_a, (1.10)$$

де m_a - маса повітря, визначена за рівнянням:

$$m_a = m_r \left(\frac{P}{101325} \right), (1.11)$$

де m_r - маса повітря при стандартних умовах, що визначається як:

$$m_r = [\sin(h) + 0.15(3.885 + h)^{-1.253}]^{-1} (1.12)$$

Місцевий тиск P (в паскалях Па) визначається як [25]

$$P = 101325 \exp(-0.0001184z), \quad (1.13)$$

де z – місцева нормаль, або висота над рівнем моря в метрах, м.

Коефіцієнт мутності Лінке пов'язаний з визначенням прямого опромінення за допомогою наступного рівняння [29]:

$$T_l = \frac{1}{\delta_{Rk}(m_a)} \ln\left(\frac{I_o}{I}\right). \quad (1.14)$$

Крім цього, фактор мутності Лінке T_l завжди більше одиниці ($T_l > 1$) і залежить від кількості водяної пари та аерозолів в атмосфері. [15]

Оскільки $\tau = \tau_c T$, тоді:

$$I = I_o e^{-\tau_c T_l m}, \quad (1.15)$$

де τ – оптична товщина реальної атмосфери;

τ_c – оптична товщина ідеальної атмосфери;

m – оптична маса атмосфери.

Величина $e^{-\tau_c} = p_c$ є коефіцієнтом прозорості ідеальної атмосфери для всієї сонячної радіації. За різних оптичних мас p_c має такі значення [15]:

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p_c	0.907	0.921	0.928	0.934	0.939	0.943	0.945	0.948	0.952	0.954

На практиці фактор мутності Лінке обчислюється за формулою [15]:

$$T_l = \frac{\lg I_o - \lg I}{\lg I_o - \lg I_i}, \quad (1.16)$$

де I – інтенсивність сонячної радіації в реальній атмосфері;

I_i – інтенсивність сонячної радіації в ідеальній атмосфері, тобто 1.1 кВт/м² за $m = 2$.

Фактор мутності Лінке дає уявлення про співвідношення між прозорістю реальної та ідеальної атмосфер (в ідеальній атмосфері послаблення сонячної радіації обумовлено тільки молекулярним розсіянням).

Фактор мутності змінюється в широких межах і менше залежить від оптичних мас (m), ніж коефіцієнт прозорості. Середні значення чинника мутності, за даними спостережень, було визначено за $m = 2$, і вони такі: за дуже низької прозорості - 5,20; за низької - 4,26; за зниженої - 3,62; за нормальної - 2,92; за підвищеної - 2,41; за високої - 1,91. [15]

Серед заданих показників фактору мутності атмосфери часто використовується коефіцієнт мутності β – так званий фактор мутності за Ангстремом.

$$\tau_{\alpha}(\lambda) = \beta\lambda^{-\alpha}, \quad (1.17)$$

де $\tau_{\alpha}(\lambda)$ - оптична товщина аерозолію на довжині хвилі λ (мкм).

Коефіцієнт мутності β (визначений на 1 мкм) пов'язаний із вмістом аерозолів, тоді як показник довжини хвилі α пов'язаний з розподілом за розмірами частинок.

Коефіцієнт мутності β , як правило, коливається від 0,02 для низького аерозольного навантаження до 0,5 для великих аерозольних навантажень. З іншого боку, великі значення вказують на відносно високе співвідношення дрібних частинок до великих частинок. [29]

Коефіцієнт Ангстрема - міра присутності аерозолей. Він характеризує вміст аерозолію в вертикальному стовпі повітря з поперечним унітарним. Його можна визначити різними методами та спектральним вимірюванням. Використовується визначення коефіцієнта Ангстрема за емпіричною формулою Доньйо. Ця емпірична формула задається наступним рівнянням [25]:

$$\beta = \frac{T_l - \left[\frac{h+85}{39.5 \exp(-\omega_p) + 47.4} + 0.1 \right]}{16 + 0.22\omega_p}, \quad (1.18)$$

де h - кут підйому Сонця в градусах;

ω_p - кількість опадів в сантиметрі. Розраховується значення ω_p за допомогою рівняння

$$\omega_p = 0.493 \phi \exp\left(26.23 - \frac{5416}{T}\right), \quad (1.19)$$

де T - температура в Кельвінах;

ϕ - відносна вологість повітря у відсотках. [25]

Існують інші моделі для обчислення коефіцієнта Ангстрема – такі, як моделі Луша, Пінаццо, Геймара та Віньоли. Ці моделі використовують показник довжини хвилі α , який використовується для розрахунку коефіцієнта пропускання аерозолу, земне альbedo ρ_g , переднє розсіювання F_s та одиночне розсіювання альbedo w_0 . Вчені Вен і Єх досліджували атмосферу та властивості мутності атмосфери гавані Тайчжун з урахуванням даних, зафіксованих в 2004-2005 рр. та моделі мутності Ангстрема, Луша і Пінаццо. Вони дійшли висновку, що середньорічні значення коефіцієнта мутності Ангстрема, отримані з даних моделей, були відповідно 0,174 та 0,21. [25]

Порівняння факторів мутності за Ангстромом та Лінке подане в Додатку А.

Отже, результати обох параметрів, можуть бути використані для проектування та перевірки працездатності сонячних пристроїв на будь-якій території Землі, у тому числі і півдня України, для дослідження та вивчення ефективності різноманітних сонячних приладів та зміни спектру падаючого випромінювання, для глобальних досліджень еволюції атмосфери, для вивчення мутності атмосфери та подальшого дослідження аерозолей. [25]

Сонячна радіація має різні властивості. Як було згадано вище, коли сонячне світло проходить через атмосферу, частина його поглинається водяною парою та іншими парниковими газами, поглинається озоном, розсіюється і відбивається аерозолями, та молекулами повітря, пропускається та затримується хмарами різних ярусів, тощо. Це називається розсіяним (дифузним) сонячним опромінюванням або розсіяною (дифузною) сонячною радіацією, яка досягає горизонтальної поверхні у результаті розсіювання даної радіації у атмосфері Землі. Сонячне випромінювання, яке досягає поверхні Землі, не розсіюючись, називається прямим променевим

сонячним опромінюванням або прямою сонячною радіацією. Сума дифузного і прямого сонячного опромінювання називається сумарним сонячним опромінюванням або сумарною сонячною радіацією. Атмосферні умови можуть зменшити пряме випромінювання на 10% у ясні сухі дні та на 100% під час похмурих днів.

Пряме сонячне випромінювання (пряма сонячна радіація) – це також потік випромінювання, що надходить до місця спостережень у вигляд пучка паралельних променів безпосередньо від Сонця. Також це потік сонячної радіації, що надходить від світила до спостерігача. Пряма сонячна радіація є найбільш мінливою характеристикою радіаційного режиму. Її просторові та часові зміни пов'язані з коливаннями фізичного стану атмосфери, від яких безпосередньо залежить надходження сонячної радіації на підстильну поверхню. Ці зміни відбуваються внаслідок сукупної дії природних та антропогенних факторів, які змінюють прозорість атмосфери.

За сталої прозорості атмосфери зміна прямої радіації упродовж доби була б симетричною щодо дійсного полудня. Від нульових значень у момент сходу Сонця вона збільшувалася б до найбільшого значення опівдні, а потім зменшувалася б до нуля в момент заходу Сонця.

У реальній атмосфері прозорість не залишається сталою, оскільки змінюються хмарність, кількість водяної пари, пилу та інших домішок. Ближче до полудня або після нього, унаслідок посилення висхідних рухів повітря, що підіймають пил і водяну пару, пряма сонячна радіація починає зменшуватися, тому що максимальні значення прозорості в реальних умовах спостерігаються не опівдні, а близько 10 год. А отже і максимальна пряма сонячна радіація у добовому ході спостерігається о 10 – 11 годині ранку. У зв'язку з цим у реальних умовах впершій половині дня інтенсивність прямої сонячної радіації більша, ніж у другій.

Пряма сонячна радіація залежить не тільки від фізичного стану атмосфери над пунктом спостережень, але й від сонячної сталої, відстані між Сонцем та Землею (I

на верхній межі атмосфери в січні на 3,5 % більша, а в липні на 3,5 % менша, ніж I_0) і висоти Сонця.

Залежно від цих факторів, I (на перпендикулярну до променів поверхню) та I' (на горизонтальну поверхню - інсоляція) змінюються в широких межах. У кожному пункті спостережень вони мають чітко виявлений добовий хід (максимуми I та I' протягом доби спостерігаються в місцевий полудень, табл. 1.2).[15]

Таблиця 1.2

Максимальні значення прямої сонячної радіації I_{max} у пунктах, розташованих нижче 500 м н. р. м., Вт/м² [15]

Пункт	I_{max}	Пункт	I_{max}
Північний полюс	900,0	Москва	1032,7
о. Діксон	1039,7	Ашгабат	1011,8
Санкт-Петербург	997,8	Ташкент	1046,7
Якутськ	1046,7	Київ	900,0 (в окремі дні 998)

Незважаючи на велику відмінність широт станцій, а отже, і максимальних висот Сонця, різниця між I_{max} у наведених пунктах невелика. Величина потоку більша там, де атмосфера містить менше водяної пари та домішок.

Зі збільшенням висоти місця н. р. м. потоки сонячної радіації збільшуються, що пояснюється зменшенням оптичної товщини ($M_o \alpha = \tau$). Внаслідок цього I_{max} у гірських районах більша (табл. 1.3), ніж у рівнинній місцевості.

Таблиця 1.3

Максимальні значення прямої сонячної радіації в гірських районах, кВт/ м² [15]

Пункт	Висота, м	Січень	Березень	Травень	Липень	Вересень	Листопад	Рік
Таку-бая (Мексика)	2300	1,14	1,07	1,06	1,03	1,10	1,10	1,16
Тянь-Шань	3670	1,14	1,16	1,14	1,17	1,18	1,13	1,18

Добовий хід прямої сонячної радіації змінюється впродовж року, оскільки змінюється тривалість дня та висота Сонця (рис. 1.9). Але і прозорість атмосфери за світлої частини доби також змінюється. Тому крива денного ходу радіації навіть у безхмарний день виявляє деякі відхилення від плавної кривої. У середньому за багаторічний період спостережень ці відхилення згладжуються, зміна радіації протягом світлої частини доби є рівномірною. Як приклад, на рис. 1.9 наведено усереднений за 20-річний період денний хід інтенсивності прямої сонячної радіації в Павловську (приміська зона Санкт-Петербурга) у січні й липні, а також денний хід інсоляції. Надходження прямої радіації на горизонтальну поверхню за весь час спостережень є меншим, ніж на поверхню, що перпендикулярна променям. Особливо велика ця різниця взимку.

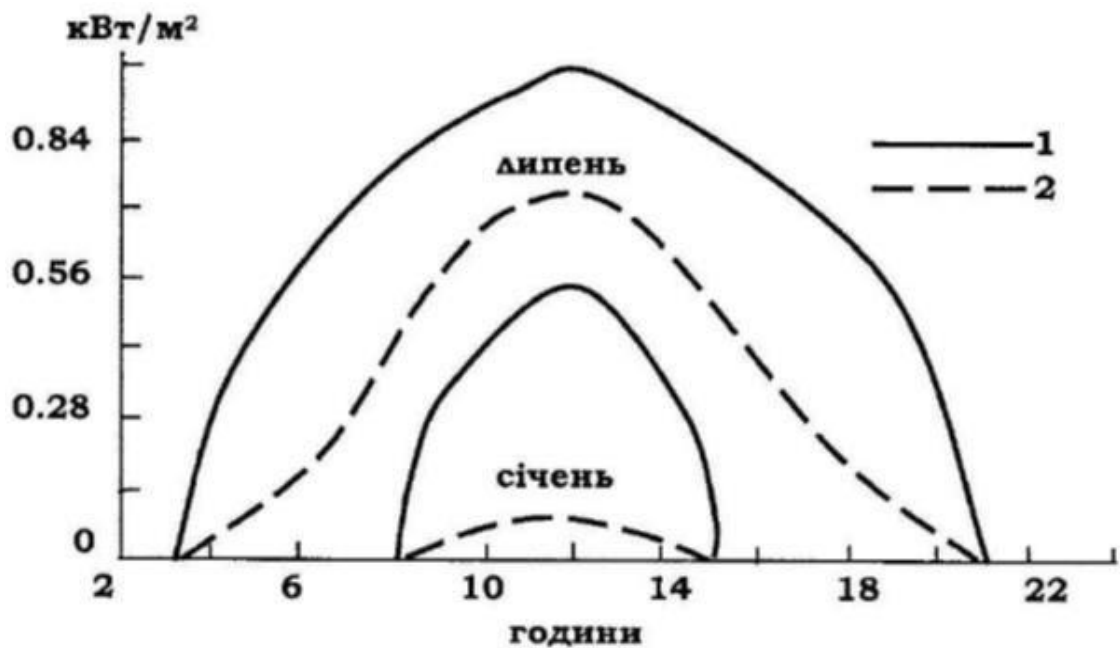


Рис.1.9. Добовий хід прямої сонячної радіації в Павловську в січні та липні:

1- на перпендикулярну до променів поверхню;

2 - на горизонтальну до променів поверхню[15]

Значний вплив на потік прямої сонячної радіації викликає хмарність. Відомо, що за малих висот Сонця (до 15-20°) навіть у випадку хмар верхнього ярусу потік I' може дорівнювати нулю. За хмар середнього ярусу (A_s) потік відмінний від нуля,

коли $h\theta > 30^\circ$. Хмари нижнього ярусу повністю затримують пряму сонячну радіацію за всіх висот Сонця.

Річний хід прямої сонячної радіації визначається зміною середньомісячних її полуденних значень. Найвиразніший хід прямої радіації спостерігається на полюсі. Різниця між зимою (ніч) і літом (день) становить $0,91 \text{ кВт/ м}^2$. На екваторі амплітуда річного ходу прямої радіації найменша. Максимум - $0,92 \text{ кВт/ м}^2$ - припадає на дні весняного й осіннього рівнодення; мінімум - $0,56 \text{ кВт/ м}^2$ - на дні літнього й зимового сонцестоянь. У помірних широтах найменше значення прямої радіації спостерігається у грудні, найбільше - у квітні - травні, а не в червні. Це пояснюється підвищеною концентрацією в повітрі влітку водяної пари та пилу, що природно зменшує прозорість атмосфери. Для Києва максимальні місячні значення прямої сонячної радіації становлять 872 Вт/ м^2 (навесні), а в окремі дні - 998 Вт/ м^2 , у грудні - 649 Вт/ м^2 . За достатньої чистоти повітря та найбільших висот Сонця можна спостерігати на земній поверхні потік сонячної радіації в помірних широтах близько $1,05 \text{ кВт/ м}^2$. [15]

Пряма сонячна радіація визначається за формулою Бугера - Ламберта Бера [5]:

$$I = I_0 \cdot p^m, (1.20)$$

де I – пряма сонячна радіація, кВт/ м^2 ;

I_0 - сонячна стала;

p - коефіцієнт прозорості атмосфери;

m - оптична маса атмосфери. Визначається як відношення маси нахилоного стовпа повітря M до маси вертикального стовпа повітря M_0 , тобто [5]:

$$m = \frac{M}{M_0}. (1.21)$$

Пряме сонячне випромінювання на горизонтальну поверхню (I_b) або сонячне випромінювання прямого пучка променів можна розрахувати як різницю сумарного сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню (I_H) та дифузного (I_d) [41]:

$$I_b = I_H - I_d \quad (1.22)$$

Пряме нормальне сонячне випромінювання на горизонтальних поверхнях (I_{bN}) можна виміряти за допомогою так званого приладу пергеліометру або актинометру. Ці прилади також вимірюють пряму сонячну радіацію. Більше того, пряме нормальне сонячне випромінювання (I_{bN}) можна оцінити за кількістю таких моделей, як: модель Бьорда, METSTAT, модель Янга, REST2 та модель Ineichen. Визначається пряме нормальне сонячне випромінювання на горизонтальних поверхнях (I_{bN}) за формулами [41]:

$$I_H = I_{bN} \cos \theta_z + I_d \quad (1.23)$$

$$I_{bN} = A \exp\left(\frac{-B}{\cos \theta_z}\right) \quad (1.24)$$

$$I_d = C I_H, \quad (1.25)$$

де I_{bN} – це пряме нормальне сонячне випромінювання на горизонтальних поверхнях; θ_z – це зенітний кут, визначений з наступного рівняння [41]:

$$\theta_z = \cos^{-1} (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \theta). \quad (1.26)$$

A, B, C – значення констант для кожної вищезгаданої моделі [41].

Дослідження зв'язку багаторічного ходу прямої радіації та сонячної активності проводилося за порівнянням отриманого однорідного ряду спостережень полуденної потужності прямої сонячної радіації (середні дані для території України) та індексів сонячної активності, а саме відносних чисел Вольфа, що враховують кількість сонячних плям; кількість груп сонячних плям та окремі сонячні плями (рис. 1.10). Це порівняння показало неоднозначність та непрямолінійність зв'язку між числами Вольфа та сонячною радіацією і неспівпадання у більшості випадків екстремумів в рядах висхідних та низхідних відрізків; особливо несинхронність ходу властива періодам росту сонячної активності. Тенденція до циклічності в розподілі прямої радіації має значну часову неузгодженість з циклами сонячної активності. Кореляційний аналіз цих характеристик показав, що максимальні коефіцієнти кореляції становлять 0,32-0,35, що відповідає похибці визначення

коефіцієнта кореляції, тобто варіації сонячної сталої в коливаннях наземних спостережень прямої радіації незначимі, оскільки має місце слабка кореляція тобто мала залежність між прямою сонячною радіацією та сонячною активністю, визначеною числами Вольфа.

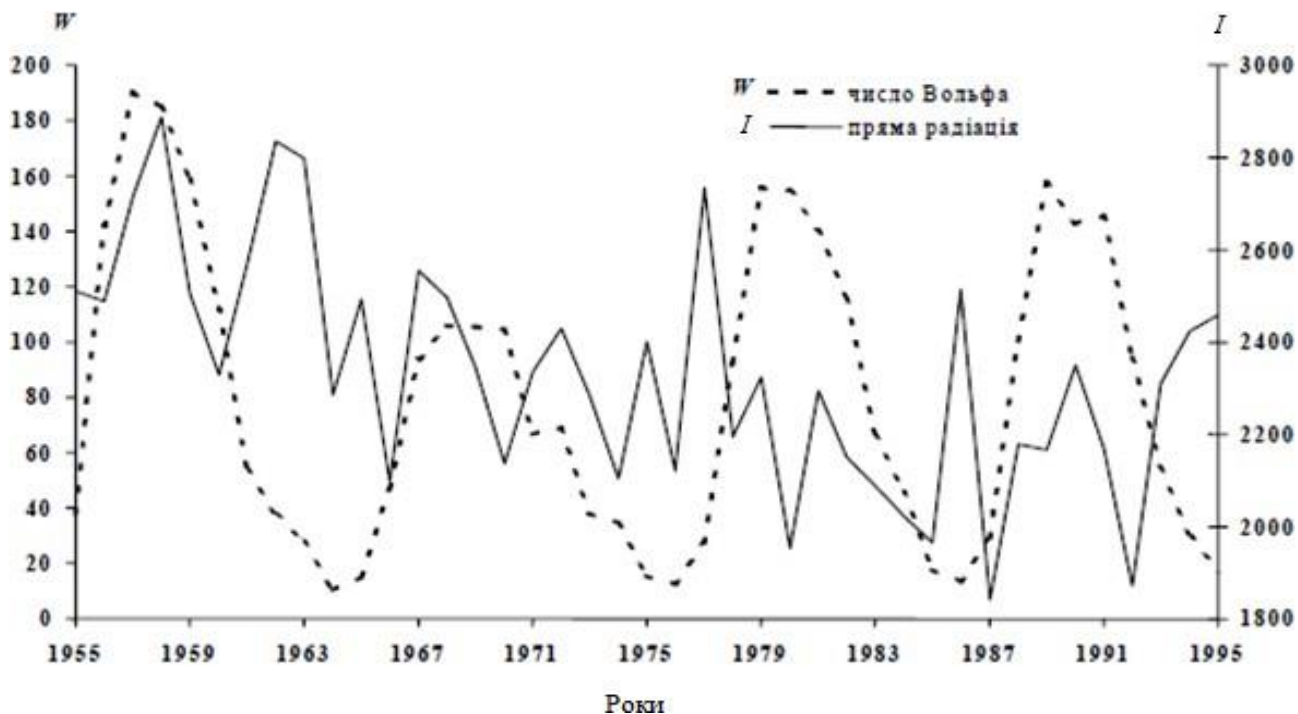


Рис. 1.10. Пряма сонячна радіація I (мДж/м²) та індекс сонячної активності W (число Вольфа) [5]

Отже, внесок сонячної активності у мінливість сонячної радіації незначний і для більшості випадків також. Після виключення змін, які спричинені впливом природних та антропогенних факторів, зв'язку між мінливістю сонячної радіації та сонячною активністю не виявлено. [5]

Сонячне опромінення - це потужність на одиницю площі, отримана від Сонця у вигляді електромагнітного випромінювання, виміряна в діапазоні довжин хвиль вимірювального приладу. Сонячне випромінювання вимірюється у ватах на квадратний метр (Вт/м²) в одиницях СІ. Сонячне опромінення часто інтегрується протягом певного періоду часу, щоб повідомити про випромінювану енергію, що випромінюється в навколишнє середовище (Джоулі на квадратний метр, Дж/м²)

протягом цього періоду часу. Це інтегроване сонячне випромінювання називається сонячною інсоляцією або інсоляцією. [46]

Сонячна інсоляція - це та кількість сонячної радіації, що надходить на одиничну площу поверхні підстильної поверхні Землі, або горизонтальної поверхні.

Виділяють наявність приземної сонячної інсоляції. Приземна сонячна інсоляція – це власне та кількість сонячної радіації, що надходить на одиничну площу поверхні підстильної поверхні Землі, або горизонтальної поверхні. Визначається вона за формулою [22]:

$$I' = I \sin h_{\theta} , \quad (1.27)$$

де I – пряма сонячна радіація, кВт/м²;

h_{θ} – висота Сонця на небосхилі у довільний момент часу.

Сонячна інсоляція - це кількість електромагнітної енергії (сонячного випромінювання), що падає на горизонтальну поверхню Землі. Рівень сонячної інсоляції, як правило, виражається в кВт·год/м²/день і являє собою кількість сонячної енергії, яка надходить на квадратний метр земної поверхні за одну добу. Також можуть використовуватися Btu (British thermal unit) або МДж, в цьому випадку перерахунок становить: 1 кВт·год/м² на добу = 317,1 Btu / ft² / добу = 3,6 МДж/м² на добу.

Перетворення необробленої енергії:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3412 \text{ Btu} = 3,6 \text{ МДж} = 859,8 \text{ ккал.} \quad [45]$$

Рівні інсоляції змінюються протягом року, найнижчі взимку та найвищі влітку. Близько до екватора різниця протягом року мінімальна, тоді як у високих широтах зима може бути часткою літніх рівнів. Дуже висока літня інсоляція, має місце у пустельних регіонах Землі і становить 7 кВт·год/м² в день.

В Додатку Б наведені дані переліку рівнів інсоляції для основних міст у кожному регіоні. [45]

На основі рівняння положення Сонця на небосхилі протягом року можна розрахувати максимальну кількість сонячної інсоляції на поверхні під певним кутом

нахилу як функцію широти та дня року. Ці розрахунки також є важливими для використання експериментальних даних із сонячних годинних реєстраторів. Наступні рисунки характеризують: обчислення добового сонячного опромінення, сонячну інсоляцію та кількість годин протягом дня, коли сонце освітлює підстильну поверхню, тобто тривалість сонячного саява.

Рис. 1.11 показує добовий хід інтенсивності прямого сонячного випромінювання, що визначається у $\text{кВт}/\text{м}^2$ протягом доби за умов ясного неба.

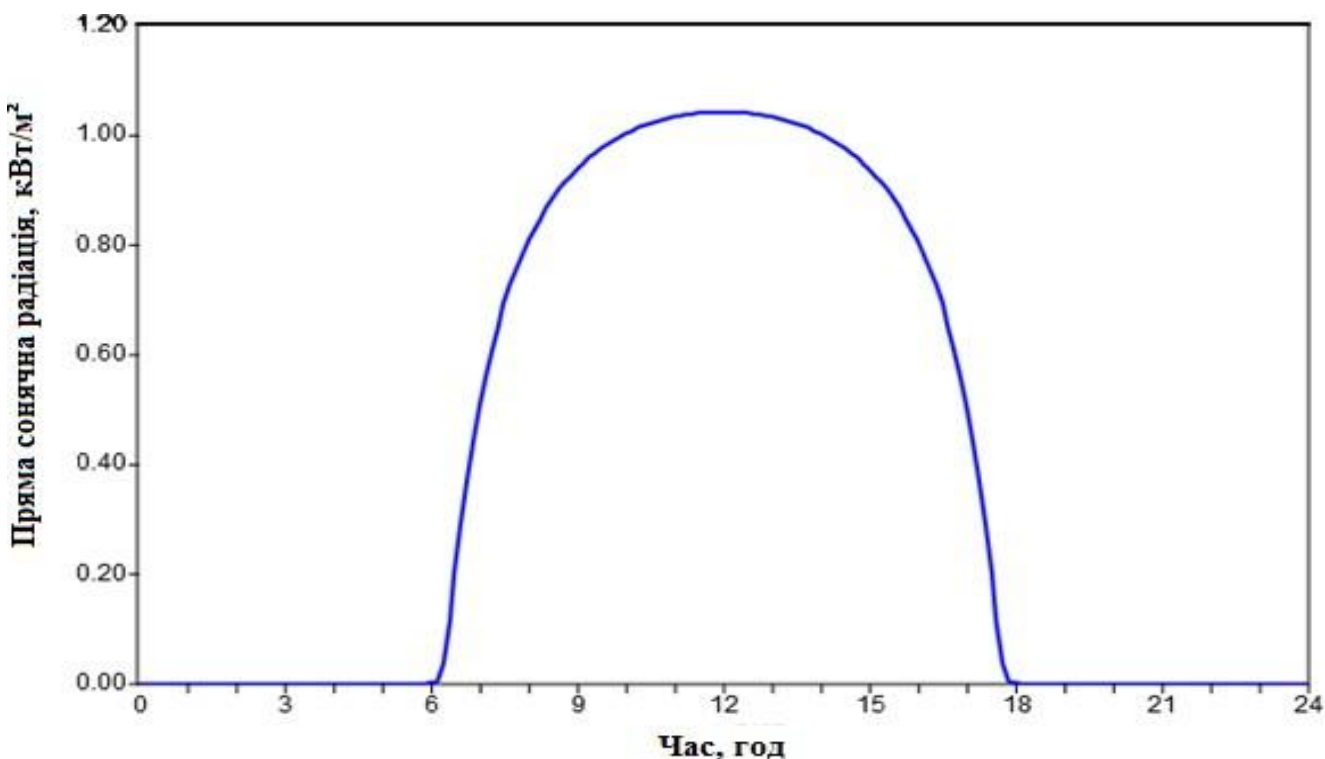


Рис. 1.11. Інтенсивність прямого сонячного випромінювання у добовому ході у $\text{кВт}/\text{м}^2$ протягом доби за умов ясного неба [22]

Інтенсивність прямого випромінювання протягом доби - це кількість енергії, яку отримує підстильна поверхня Землі за відсутності хмар. Час вимірювання потоків прямого сонячного випромінювання визначається як місцевий сонячний час.

Як видно з рис. 1.11, максимум інтенсивності прямого сонячного випромінювання протягом доби спостерігається в полудень і становить 1.00 кВт/м^2 , а мінімум – о 6 годині ранку та о 18 годині вечора, що становить 0.00 кВт/м^2 .

На рисунку 1.12 показано річний хід прямої сонячної радіації при урахуванні трьох кривих - падаючої сонячної інсоляції на одиничну площу підстильної поверхні Землі; горизонтальної сонячної інсоляції на одиничній площі підстильної поверхні Землі та модуль падіння цих потоків.

При накладанні цих кривих одна на одну, можна побачити більш – менш згаданий хід падаючої сонячної інсоляції на одиничну площу підстильної поверхні Землі, деяке відхилення від положення рівноваги має горизонтальна сонячна інсоляція на одиничній площі підстильної поверхні Землі і значні відхилення має модуль падіння цих потоків.

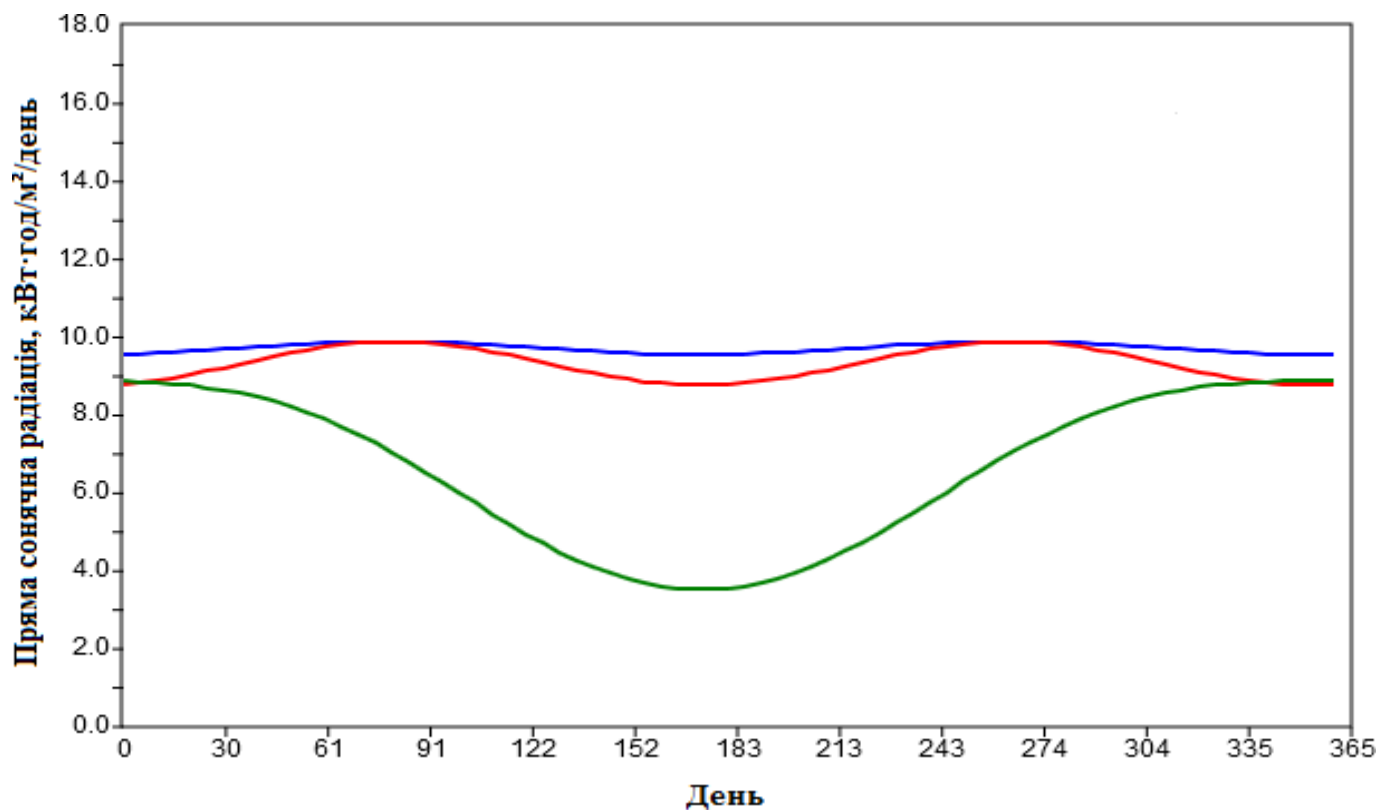


Рис. 1.12. Річний хід прямої сонячної радіації при урахуванні 3 кривих - падаюча сонячна інсоляція на одиничну площу підстильної поверхні Землі (синій

колір); горизонтальна сонячна інсоляція на одиничній площі підстильної поверхні Землі (червоний колір); модуль падіння цих потоків (зелений колір) [22]

Добова інсоляція чисельно дорівнює кількості сонячних годин на добу.

Передбачається, що модуль нахилений до екватора так, щоб він дивився на південь у північній півкулі та на північ в південній півкулі. Оскільки широта регулюється через нуль, що проходить через екватор, то модуль звернений у протилежну сторону, і графік кардинально змінюється на екваторі, оскільки модуль спрямований у зворотному напрямку.

Рисунок 1.13 показує тривалість сонячного сьйва при урахуванні сходу Сонця, заходу Сонця та період часу між сходом та заходом Сонця, що називається кількістю сонячних годин.

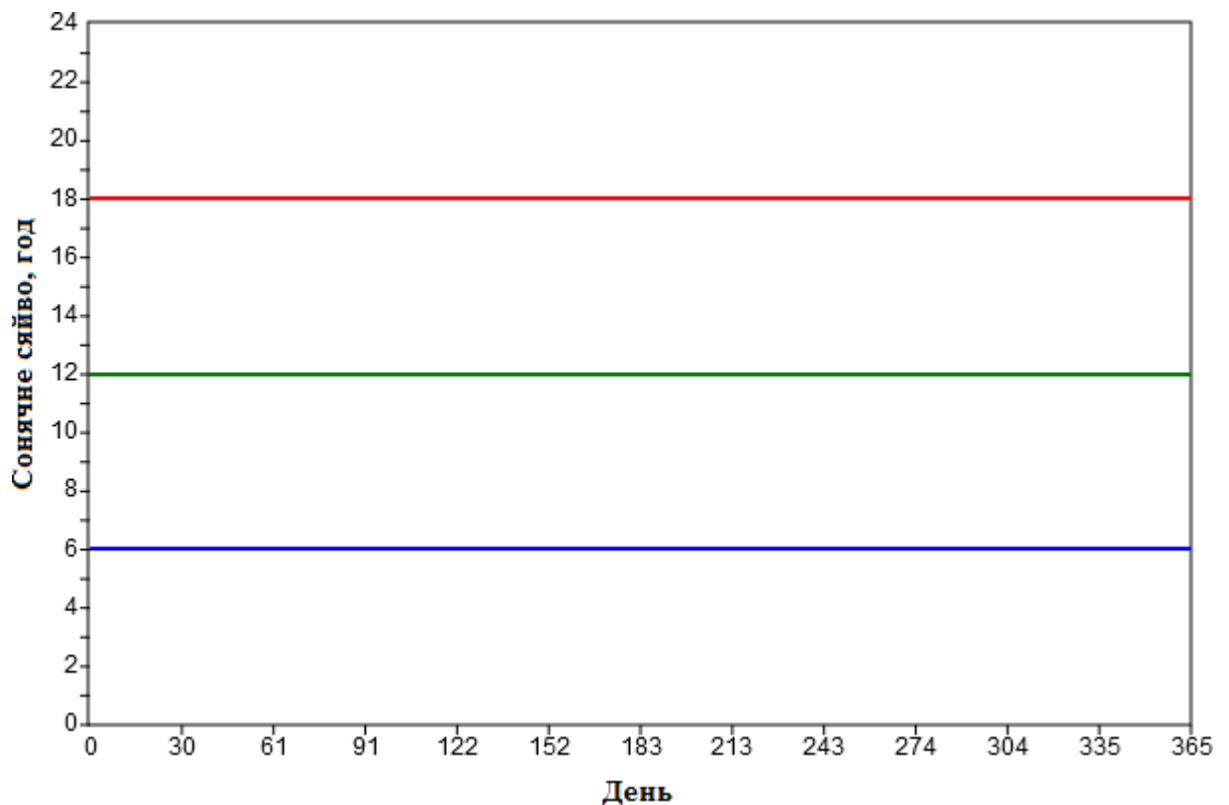


Рис. 1.13. Тривалість сонячного сьйва при урахуванні сходу Сонця (синій колір); заходу Сонця (червоний колір) та кількість сонячних годин (зелений колір) [22]

Рівняння для формування вищезазначених графіків наведені нижче. Ці рівняння обчислюються за сонячним часом, а не за місцевим часом.

Час сходу Сонця визначається за формулою[22]:

$$Sunrise = 12 - \frac{1}{15^\circ} \cos^{-1}\left(\frac{-\sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}\right), (1.28)$$

де φ – географічна широта місцевості;

δ - кут схилення Сонця.

Час заходу Сонця:

$$Sunset = 12 + \frac{1}{15^\circ} \cos^{-1}\left(\frac{-\sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}\right). (1.29)$$

Пряма складова сонячного випромінювання I_D визначається з маси повітря AM :

$$I_D = 1.353 \cdot 0.7^{(AM^{0.678})} (1.30)$$

Повітряну масу AM можна визначити за формулою:

$$AM = \frac{1}{\cos\theta}, (1.31)$$

де θ – годинний кут.

Кількість годин, які Сонце світить щодня, тобто кількість годин між сходом та заходом Сонця кожного дня - тривалість сонячного сяйва. В середньому за рік сонце світить 12 годин на день у всьому світі. У північних широтах середня інтенсивність нижча, ніж у південних широтах. [22]

Дифузне (розсіяне) сонячне випромінювання на горизонтальну поверхню (I_d) – це частина сонячного світла, яка проходить через атмосферу і споживається, розсіюється або відбивається водяною парою, частками пилу тощо. [41]

Світло поглинається, проходячи через атмосферу, і одночасно воно піддається розсіюванню. Один з механізмів розсіювання світла в атмосфері відомий як релєївське розсіювання, яке викликається молекулами в атмосфері. Релєївське розсіювання особливо ефективно для світла з короткою довжиною хвилі, оскільки воно має залежність λ^{-4} . На додаток до релєївського розсіювання, аерозолі та

частинки пилу сприяють розсіюванню падаючого світла, відомого як розсіювання Мі.

Розсіяне світло не є спрямованим, і тому воно, здається, надходить з будь-якої області неба. Це світло називається «дифузним» світлом. Оскільки дифузне світло – це насамперед «блакитне» світло, світло, яке надходить з областей неба, крім тих, де знаходиться сонце, виглядає синім. За відсутності розсіювання в атмосфері небо здавалося б чорним, а Сонце – дисковим джерелом світла. У ясний день близько 10% від загальної кількості падаючої сонячної радіації є дифузною, тобто розсіяною сонячною радіацією.

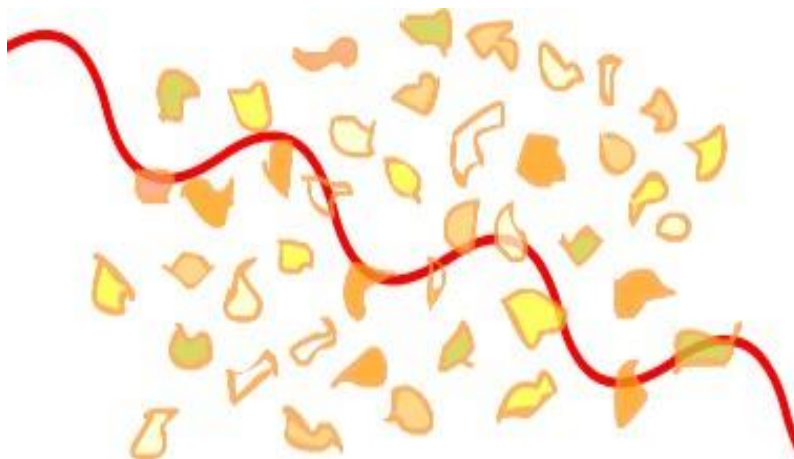


Рис.1.14. Червоне світло має довжину хвилі більшу, ніж більшість частинок, і на нього не впливає розсіювання світла у атмосфері [23]

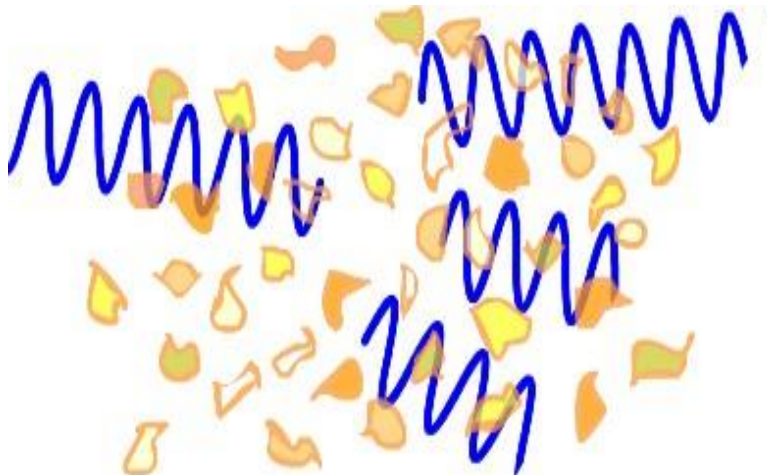


Рис.1.15. Синє світло має довжину хвилі, подібну до розміру частинок в атмосфері, і тому синє світло розсіюється у атмосфері [23]

Остаточний вплив атмосфери на падаючу сонячну радіацію обумовлений локальними коливаннями атмосфери. Залежно від типу хмарного покриву падаюча потужність сильно знижується. Приклад сильного хмарного покриву наведено на рис.1.16.

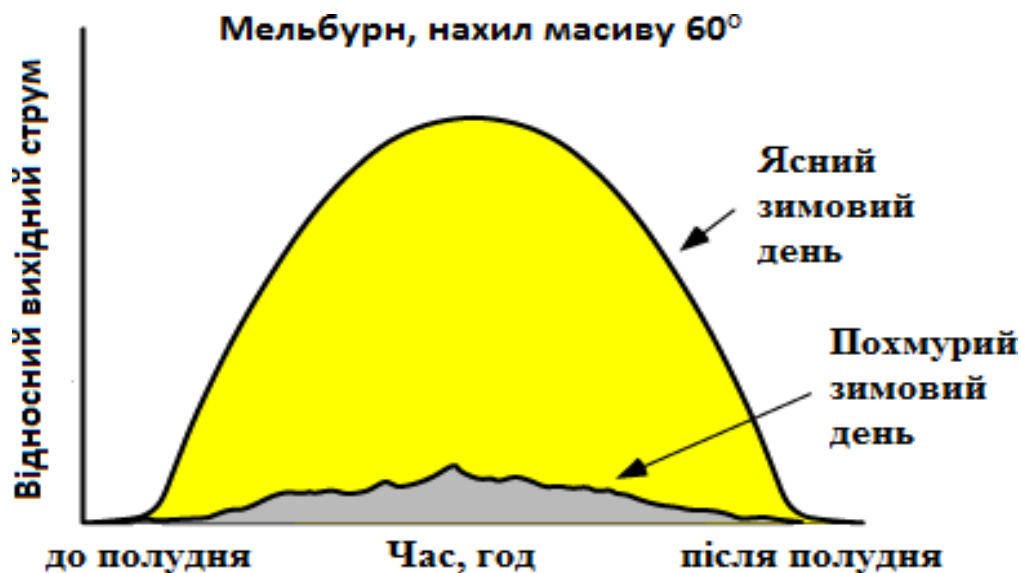


Рис.1.16. Залежність відносного вихідного струму фотоелектричного масиву в сонячний і похмурий зимовий день у Мельбурні з кутом нахилу масиву 60° [23]

Існує ряд математичних моделей, які призначені для оцінки дифузного випромінювання на горизонтальних поверхнях. Моделі, які можна визначити для оцінки дифузного сонячного випромінювання на горизонтальних поверхнях, можна класифікувати на два типи наступним чином:

- параметричні моделі;
- моделі декомпозиції.

Параметричні моделі включають в себе конкретну інформацію про метеорологічні та актинометричні умови, такі, як мутність атмосфери, сонячна радіація, хмарний покрив і характеристики вологості повітря, що є необхідними параметрами моделей.

Моделі декомпозиції зазвичай використовують лише дані, що стосуються сумарної радіації для оцінки міри розсіяної радіації. Моделі декомпозиції базуються на співвідношенні між дифузним та сумарним випромінюванням на горизонтальній поверхні (M_t - показник прозорості). Це співвідношення визначається як функція погодинного сонячного випромінювання на горизонтальній поверхні (I_H) до погодинного позаземного випромінювання (I_o). Показник прозорості (M_t) є мірою атмосферного впливу в конкретному місці. Це випадковий параметр, який змінюється залежно від пори року, кліматичних умов та географічного положення місцевості. [41]

$$M_t = \frac{I_H}{I_o} \quad (1.32)$$

Сумарною радіацією називається сума потоків прямої й розсіяної радіації, що надходить до горизонтальної ділянки земної поверхні

$$Q = I' + D. \quad (1.33)$$

Шляхом розв'язання наближених рівнянь перенесення радіації отримано таку формулу для розрахунку сумарної радіації в умовах відсутності хмар[15]:

$$Q_o = I_o \sinh \theta / I + \epsilon t c \operatorname{cosech} \theta. \quad (1.34)$$

Тут τ - оптична товщина атмосфери для інтегрального потоку ($\alpha M = \tau$), яку, за експериментальними даними О. Авасте, прийнято рівною оптичній товщині для монохроматичного току із $\lambda = 0,55$ мкм;

ε - множник, що за різних висот Сонця має такі значення [15]:

$h\theta$	60	30	15
ε	0,14	0,20	0,24

Похибка розрахунку Q_o за формулою (1.34) за $0,2 < \tau < 0,6$ менша 5 %, якщо порівняти з даними, що отримані при чисельному розв'язанні рівнянь перенесення.

Потік сумарної радіації впродовж дня змінюється за складом і залежить від деяких чинників.

Можна констатувати, що:

- перед сходом Сонця та за малих його висот сумарна радіація майже повністю складається із розсіяної. Зі збільшенням висоти Сонця частка розсіяної радіації у складі сумарної за ясного неба зменшується. Так, за $h\theta = 8^\circ$ вона становить 50 %, за $h\theta = 50^\circ$ - тільки 10-20 %;

- чим прозоріша атмосфера, тим меншою є частка розсіяної радіації у складі сумарної.

Під впливом процесів поглинання та розсіяння за ясної погоди сонячна радіація послаблюється приблизно на 20 %. Хмарність послаблює її ще на 20-30 %. Отже, до земної поверхні надходить у середньому 50- 60 % сонячної радіації, яка може бути на верхній межі атмосфери.

В Україні, під Москвою та в Естонії проводилися вимірювання потоків сонячної радіації, причому кожне вимірювання здійснювалося тільки за хмар однієї форми, коли їхня кількість під час вимірювань потоків змінювалася не більше, ніж на один бал.

У табл. 1.4 наведено відомості про безрозмірну величину

$$Q^* = Q / Q_o, \quad (1.35)$$

де Q і Q_0 - потоки сумарної радіації відповідно до наявності хмарності та у безхмарних умовах. Течія Q_0 розраховувалася за формулою (1.34). Такий потік називають можливим потоком сумарної радіації.

У табл. 1.4 Q^{-*} - середнє значення Q^* ; σ^2 - дисперсія Q^* , що характеризує мінливість величини; N - кількість записів, тобто реалізацій, потоку Q (тривалість записів від 1 до 5 год, значення бралися через 9 або 12 с зі стрічки вимірювального приладу).

Таблиця 1.4

Статистичні характеристики безрозмірного потоку сумарної радіації [15]

	Хмарність (кількість і форма)								
	10Ns	10St	10Sc	10As	10Ac	10Cu	10Cs	10Ci	Туман
Q^{-*}	0,24	0,21	0,31	0,48	0,71	0,48	0,65	0,72	0,31
σ^2	0,003	0,002	0,004	0,10	0,030	0,039	0,027	0,012	0,003
N	4	6	7	4	4	2	3	2	3

Найменші середні значення та величини дисперсії спостерігаються за низької суцільної хмарності та в туманах. Збільшення значень і дисперсій було помітно захмар середнього ярусу. Особливо великою мінливістю сумарної радіації буває при утворенні купчастої хмарності.

Підвищення сумарної радіації може спостерігатися за наявності невеликої (до 5 балів) тонкої хмарності верхнього ярусу внаслідок збільшення розсіяної радіації. У цьому випадку Q може бути більше, ніж за ясного неба.

За наявності снігового покриву потоки розсіяної та сумарної радіації більші, ніж за його відсутності. Установлено, що сумарна радіація над сніговим покривом збільшується в 1,14 раза порівняно із трав'яним покривом.

Крім добової та річної зміни величини потоків сумарної радіації наявні і певні закономірності розподілу потоків зі зміною географічної широти.

Дані актинометричних вимірювань у 340 пунктах Земної кулі свідчать, що потік сумарної радіації збільшується порівняно повільно від полюсів до широти 50° ,

а потім дуже швидко до субтропічних і тропічних широт, де спостерігається максимум Q . В екваторіальній зоні сумарна радіація дещо менша, ніж у субтропіках переважно за рахунок великої хмарності нижнього ярусу та ярусу вертикального розвитку хмар в екваторіальній зоні. У той же час і в межах однієї широтної зони можуть бути значні коливання (по довготі) середньорічних значень Q . Діапазон змін середніх річних значень Q на всій Земній кулі становить близько $450 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{доба})$, або $314 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$. Середній річний потік розсіяної радіації змінюється із широтою та при переході від одного пункту до іншого в більш значних межах, але зміна D не перевищує $35\text{-}70 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$.

Взимку в Україні сумарна радіація змінюється від 251 до 419 МДж/($\text{м}^2 \cdot \text{сезон}$). Мінімальні значення - $63\text{-}84 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{місяць})$ - спостерігаються у грудні, у січні - помітне збільшення Q до $147 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{місяць})$.

У лютому - незначні коливання величин потоків сумарної радіації у зв'язку з переважанням хмарної погоди. Сумарна радіація змінюється від 155 до $188 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{місяць})$. Навесні характер хмарності змінюється: відбувається перехід від зимових шаруватих форм до літніх - купчастих. За рахунок зменшення хмарності з північного заходу на південний схід помітне збільшення сум радіації від 1257 до $1508 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$. Переважання купчастої хмарності та нерівномірність прогрівання поверхні, що сприяє утворенню таких хмар, обумовлює строкатість розподілу потоків сумарної радіації у квітні - травні (від 608 до $691 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{місяць})$). Влітку сумарна радіація розподіляється на території України більш-менш однорідно й коливається від $628,5$ до $921 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$ з півночі на південь. Річні суми сумарної радіації змінюються на території від 3855 до $4986 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$. [15]

На рис.1.17 показаний розподіл сумарної сонячної радіації.

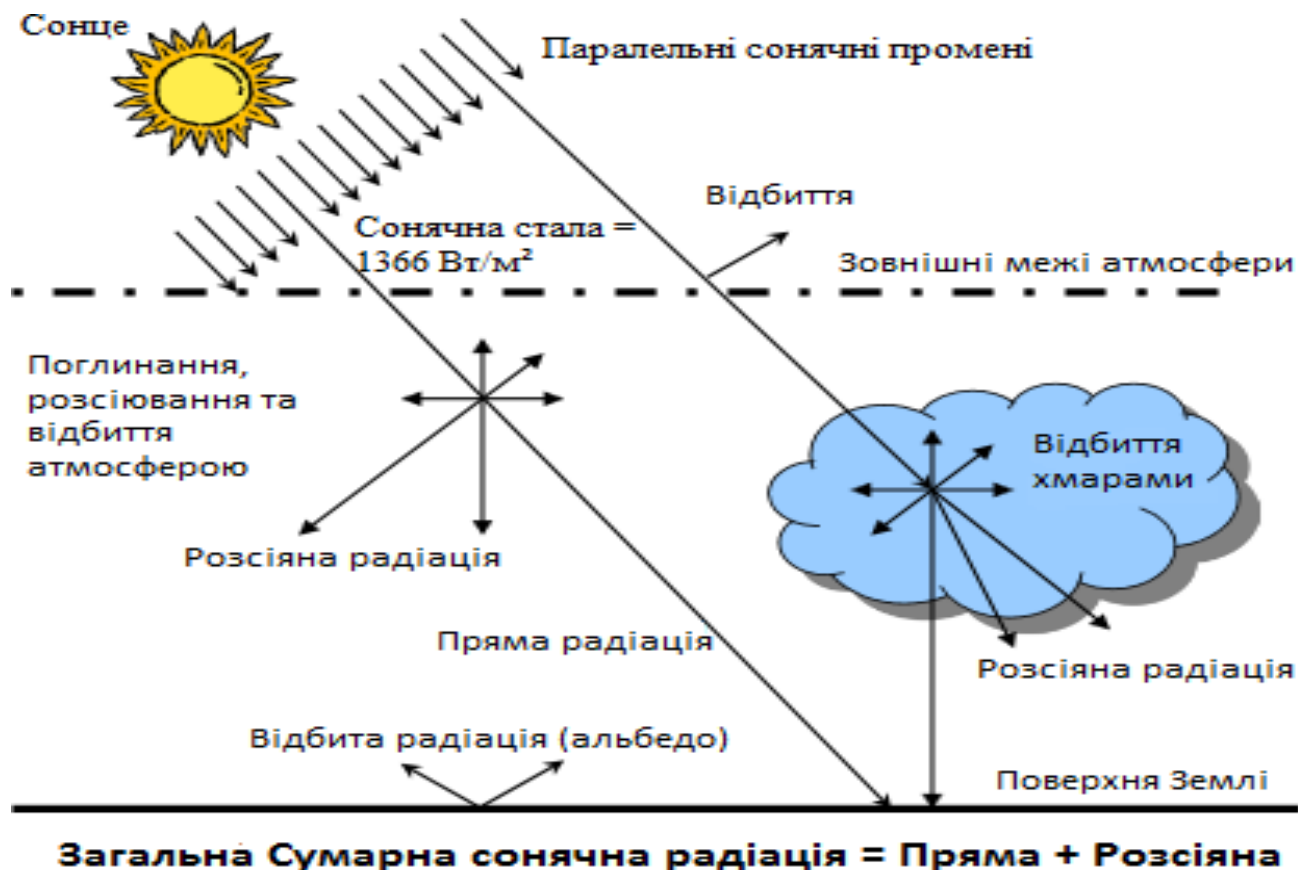


Рис.1.17. Розподіл сумарної сонячної радіації [35]

Сумарне сонячне випромінювання на горизонтальній поверхні (I_H) – це сума горизонтального прямого (I_b) та дифузного (I_d) випромінювання [41]:

$$I_H = I_d + I_b. (1.36)$$

Сумарне сонячне випромінювання на горизонтальних поверхнях або сумарну сонячну радіацію на горизонтальних поверхнях можна виміряти за допомогою піранометра, що вимірює сумарну сонячну радіацію з усіх напрямків. Також це прилад для вимірювання розсіяної сонячної радіації. Сумарну сонячну радіацію на горизонтальну поверхню можна класифікувати наступним чином:

- дифузне сонячне випромінювання - розсіяна сонячна радіація (I_d);
- сонячне випромінювання прямого пучка променів – пряма сонячна радіація (I_b).

Як правило, моделі сумарного випромінювання на горизонтальних поверхнях можна класифікувати на дві групи: ізотропні та анізотропні моделі. Вони

відрізняються розподілом небосхилу на регіони з нормальною і підвищеною інтенсивністю дифузного випромінювання, а також визначають значення прямого сонячного випромінювання. Ізотропні моделі припускають рівномірність розподілу дифузної та прямої інтенсивності сонячного випромінювання на верхній межі атмосфери. Анізотропні моделі включають відповідні модулі, що представляють зони підвищеного дифузного та прямого сонячного випромінювання. Разом ці моделі із визначеними у них прямим та дифузним сонячним випромінюванням характеризують та оцінюють сумарне сонячне випромінювання на горизонтальних поверхнях.[41]

1.1.3. Сонячне випромінювання на похилу поверхню та оптимальні кути нахилу сонячного колектора

Сумарне сонячне випромінювання, що падає на похилу поверхню (I_β), має 3 складові – променеве випромінювання ($I_b\beta$), відбите випромінювання (I_r) та дифузне випромінювання ($I_d\beta$). Частка падаючого випромінювання, що відбивається землею, називається відбитим випромінюванням I_r . [41]

$$I_\beta = I_d\beta + I_b\beta + I_r. \quad (1.37)$$

Загальне добове позаземне випромінювання на нахилу поверхню, звернену на південь, становить [40]

$$I_{o\beta} = \frac{24}{\pi} I_o \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right) \right] \cdot [\cos(\varphi - \beta) \cos\delta \sin\theta + \theta \sin(\varphi - \beta) \sin\delta], \quad (1.38)$$

n – номер дня в році;

φ – кут широти;

β – кут нахилу поверхні;

δ – кут схилення;

θ – годинний кут.

Величина радіації, яку приймає сонячний колектор, залежить від багатьох факторів, таких як широта місця розташування, кут схилення (кутове положення

Сонця в сонячний полудень відносно площини екватора), кут нахилу, годинний кут сходу Сонця та азимутальний кут. За словами Бенганема кути орієнтації і кути нахилу мають значний вплив на величину сонячного випромінювання, що досягає поверхні колектора. [30]

Було проведено багато досліджень для визначення оптимального кута нахилу сонячного колектора. Вчений Хонсберг запропонував такі кути нахилу: $\varphi + 15^\circ$ для оптимального, $\varphi - 15^\circ$ для максимального та φ для рівномірного виробництва енергії. Це - нормальні показники кута нахилу сонячного колектора для придатних для розвитку сонячної енергетики регіонів Землі, у тому числі і України. Але існують певні винятки. Деякі інші дослідницькі роботи пропонують два значення оптимального кута нахилу:

перше - у вологому субекваторіальному та екваторіальному кліматичних поясах, де спостерігається максимальний радіаційний баланс на земній кулі та на узбережжі тропічного поясу, де часті опади, у тому числі і тропічні циклони, і взимку у субтропічному поясі, де панують вологі помірні повітряні маси, – знак «мінус»;

друге - у середині континенту посушливого тропічного кліматичного поясу і влітку для субтропічного, у якому в цей період року спостерігається вплив посушливих тропічних повітряних мас, де й спостерігається максимальний потік сонячної радіації на земній кулі за рахунок мінімальної хмарності на небосхилі - у тропічному та субтропічному кліматичних поясах – знак «плюс».[30]

Значення φ – географічна широта місцевості, на якій розташована сонячна панель.

В системі, де тепла рідина повинна нагріватися, математичне моделювання показує, що для максимальних витрат кут нахилу сонячного колектора становить 90° . Ця специфікація не підходить для сонячного колектора як в області низької, так і високої широти для максимального збору сонячної енергії. Отже, необхідний оптимальний кут нахилу сонячного колектора повинен бути менше 90° .

Коли сонячні промені потрапляють на рівну поверхню під косим кутом, промені більш розкидані. Це означає, що потужність променя розподіляється на більшій площі. На рисунку 1.18 показано взаємозв'язок між випромінюванням на горизонтальній поверхні та випромінюванням на нахиленій поверхні.

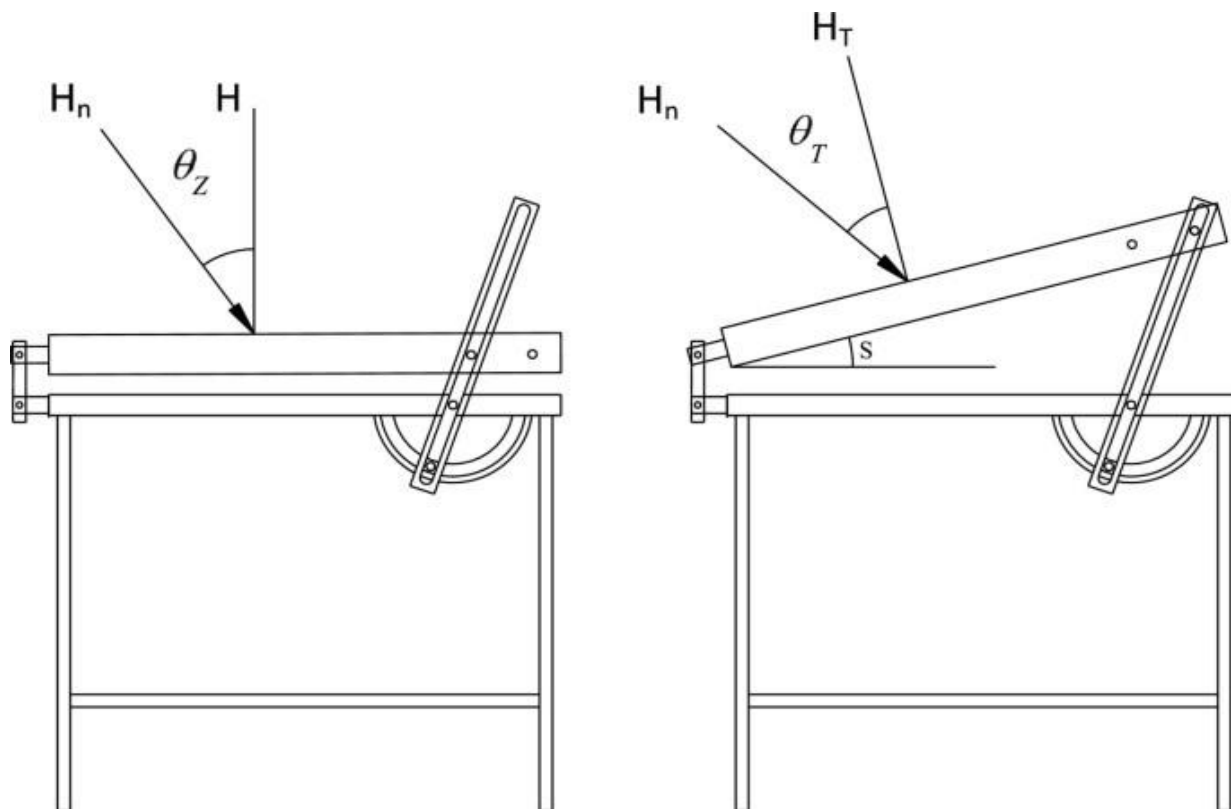


Рис. 1.18. Випромінювання на горизонтальних та нахилених поверхнях [30].

Відношення нормального випромінювання на нахиленій поверхні (H_T) до горизонтальної поверхні (H) подано через θ_z (кут між променем Сонця та вертикаллю), θ_T та H_n [30]:

$$R_b = \frac{H_T}{H} = \frac{H_n \cos\theta_T}{H_n \cos\theta_z} = \frac{\cos(\varphi-s)\cos\delta \cos\theta + \sin(\varphi-s)\sin\delta}{\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\theta} \quad (1.39)$$

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360}{365}(284 + d)\right) \quad (1.40)$$

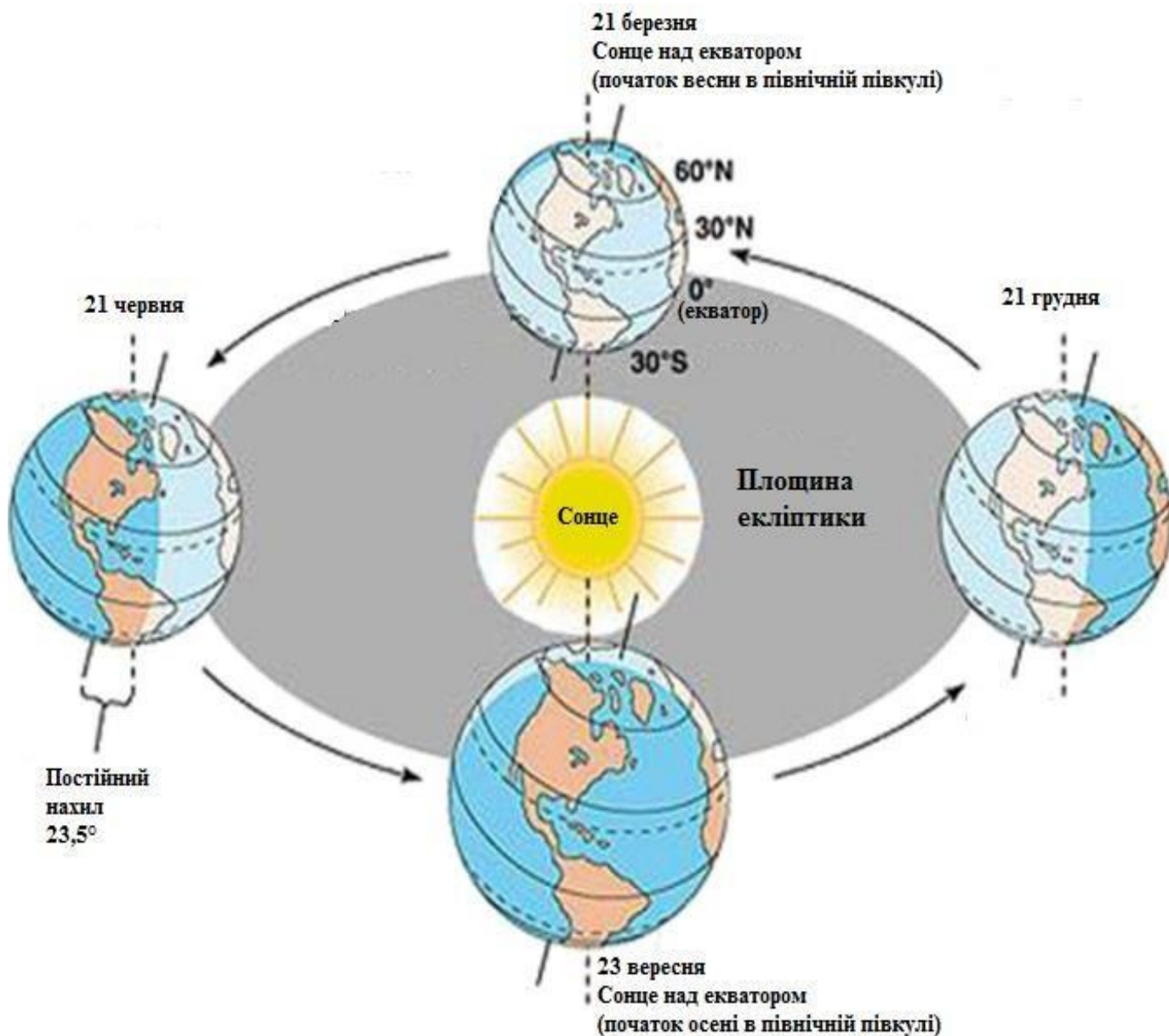


Рис.1.19. Положення Землі в різні пори року [30]

Максимальна потужність сонячного колектора виникає, коли поверхня нормальна до падаючого сонячного випромінювання; однак це не завжди можливо з фіксованим сонячним колектором, оскільки взаємне розташування Землі до Сонця змінюється. Поза земної атмосфери в будь-якій точці простору енергія, що виділяється Сонцем (висотна інсоляція та відповідна їй сонячна стала), майже постійна. Однак на землі така ситуація змінюється внаслідок обертання Землі

навколо своєї осі, зміни положення Землі в просторі, як показано на рис.1.19, і земної атмосфери, яка включає гази, хмари та пил.

Також кілька кутів нахилу сонячних колекторів були протестовані за допомогою програми, написаної на основі рівнянь (1.39) та (1.40). У додатках В і Г містяться дані, змодельовані для розташування колектора в широтах 1° і 14° . Кут нахилу сонячного колектора в кожному місці в додатку В дорівнює географічній широті $\varphi + 25^\circ$, тоді як кут нахилу сонячного колектора в додатку Г дорівнює широті розташування $\varphi - 25^\circ$. Важливо зазначити, що додатній кут нахилу в північній півкулі означає, що колектор нахилений до півдня, тоді як від'ємний кут нахилу в північній півкулі означає, що колектор нахилений до півночі.

На рисунках 1.20 і 1.21 представлені графіки середньомісячного сонячного випромінювання в різні місяці року для регіонів, розташованих на широті 6° і 13° . На графіках показано різні досліджені кути нахилу.

Середньомісячне сонячне випромінювання на горизонтальній поверхні сонячного колектора для цього моделювання становить 430 Вт/м^2 . Це позначено пунктиром на рисунках 1.20 та 1.21. У багатьох публікаціях щодо оптимального кута нахилу сонячного колектора переважають $\varphi + 15^\circ$ та $\varphi + 10^\circ$. З рисунків 1.20 та 1.21 можна приблизно зробити висновок, що з листопада до середини січня кут нахилу, отриманий від $\varphi + 25^\circ$, створює більшу інтенсивність сонячного випромінювання в сонячному колекторі, ніж кути нахилу $\varphi + 15^\circ$ і $\varphi + 10^\circ$.

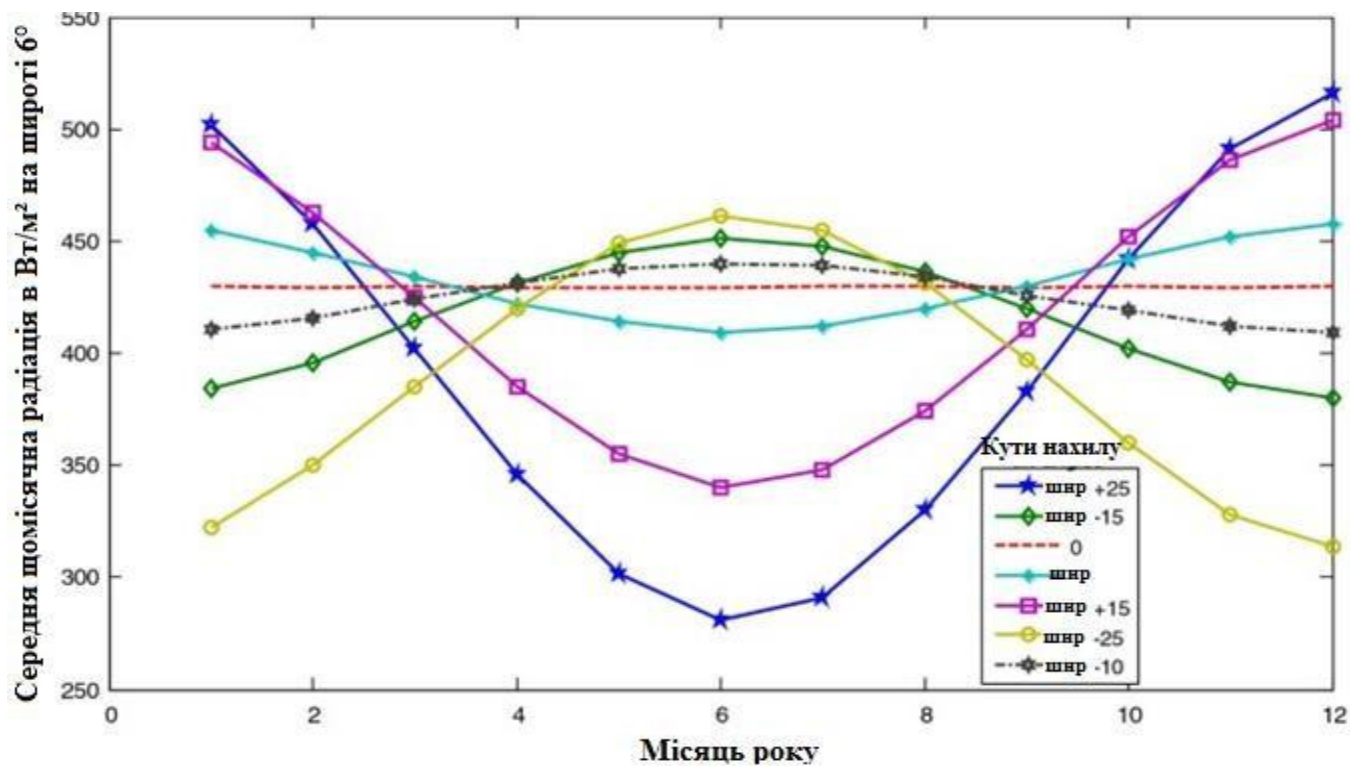


Рис.1.20. Середньомісячна сонячна інтенсивність на нахиленому сонячному колекторі на географічній широті 6° [30]

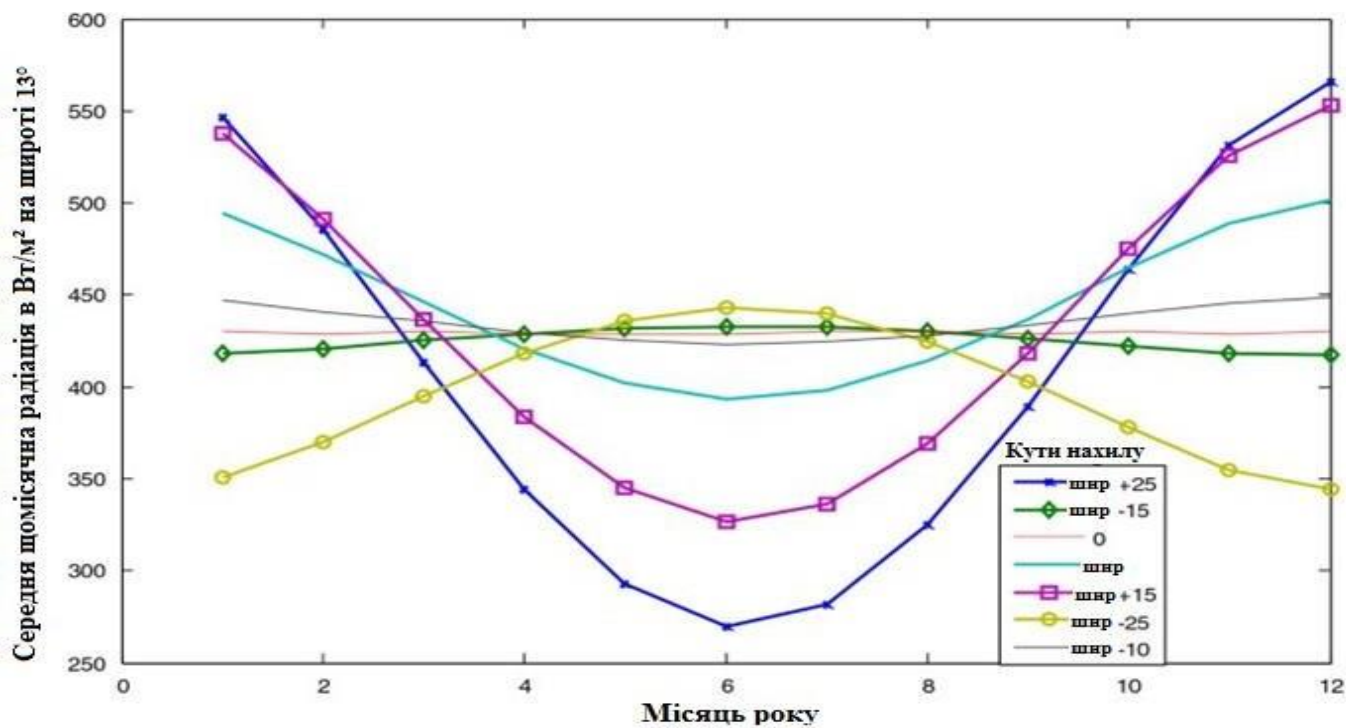


Рис.1.21. Середньомісячна сонячна інтенсивність на нахиленому сонячному колекторі на широті місця 13° [30]

Спостереження також показують, що кут нахилу $\varphi + 15^\circ$ має кращі показники з середини січня по березень та з середини вересня до середини жовтня. Дані також показують, що відповідний кут нахилу для перших 2 тижнів квітня та останніх 2 тижнів липня становить $\varphi - 15^\circ$. Після перших 2 тижнів квітня до останніх 2 тижнів липня відповідний кут нахилу для максимального сонячного випромінювання в сонячному колекторі становить $\varphi - 25^\circ$. Близько останнього тижня березня та середини серпня жоден з досліджених кутів нахилу не давав випромінювання вище середнього випромінювання на горизонтальному сонячному колекторі. Однак для підтримки потоку теплової рідини в колекторі рекомендованим кутом нахилу є широта розташування сонячного колектора.

Вищевказані рекомендації щодо кута нахилу сонячного колектору ідеально підходять для системи, ефективність якої залежить від миттєвої отриманої теплової енергії, а не від середньої теплової енергії, отриманої за певний період часу. Сонячний колектор з великою площею поверхні буде важко нахилити на рекомендований кут; у цьому відношенні такий колектор може бути постійно нахилений на кут широти свого розташування. Важливим зауваженням з рисунків 1.20 та 1.21 є те, що коли сонячний колектор нахилений на постійний кут без періодичного нахилу для відстеження положення Сонця в певні місяці року, отримане сонячне випромінювання на нахилений поверхні менше, ніж на горизонтальній поверхні. За цієї умови нахил сонячного колектора є непродуктивним.

Потік, що генерується з нахиленого сонячного колектора, необхідний для ефективного моніторингу його роботи. Отримані результати кута нахилу сонячного колектора можна узагальнити наступним чином: для періодичного відстеження сонячного колектора протягом року рекомендуються такі кути нахилу: $\varphi + 25^\circ$ для листопада, грудня та січня; $\varphi + 15^\circ$ для лютого, вересня та жовтня; $\varphi - 15^\circ$ для серпня; $\varphi - 25^\circ$ для травня, червня та липня; та φ для березня та квітня. Ці рекомендації підходять для сонячних колекторів із пристроями нахилу. Кути нахилу

$\varphi + 25^\circ$ і $\varphi - 25^\circ$ не є загальноприйнятими в літературі; однак, як показують результати, ці кути нахилу сонячного колектору актуальні для періодичного відстеження сонячної енергії, навіть якщо ця енергія незначна. Сонячне випромінювання на нахиленій поверхні збільшується із широтою. Інформація про оптимальні кути нахилу сонячного колектора на похилій поверхні в залежності від географічної широти місцевості подано в таблиці 1.5.[30]

Таблиця 1.5

Оптимальний кут для сонячних панелей в залежності від широти місцевості[30]

Широта місцевості	Кут нахилу
0-15 °	15 °
15-25 °	Кут нахилу рівний широті
25-30 °	+/- 5 ° до широти
30-35 °	+/- 10 ° до широти
35-40 °	+/- 15 ° до широти
Більше 40 °	+/- 20 ° до широти

Оптимальний кут нахилу сонячного колектора спробували дослідити вчені Індонезійського наукового інституту[26]. Сонячне випромінювання вимірювали на кожному напрямку з інтервалом кута нахилу 10 ° пристроєм, показаним на рис.1.22.

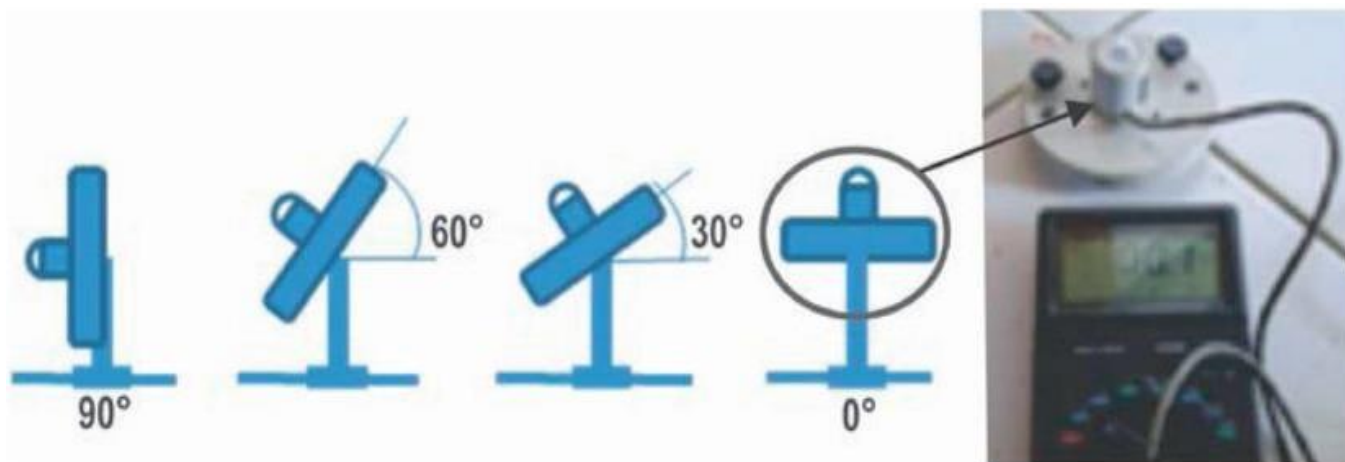


Рис.1.22. Пристрій для експерименту та піранометр [26]

Вимірне сонячне випромінювання завжди було найбільшим на східній поверхні вранці та західній поверхні вдень. Таким чином, поверхня, звернена на північ, отримує більше сонячного випромінювання, ніж на південь у місяці, коли Сонце знаходиться на півночі. О 09.10 та 09.40 ранку сонячне випромінювання, отримане на східній поверхні, було максимальним, коли кут нахилу становив 40°. Об 11.20 опівдні оптимальний кут нахилу становив 0° (горизонталь) або 10° на півночі. В той час, як вдень оптимальний кут нахилу на західній поверхні становив 30° о 13.40, 50° о 14.40 та 60° о 16.00.

Вимірні дані добре збігаються з розрахованими за формулою [26]:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{-\sin\delta\cos\varphi\cos\gamma + \cos\delta\sin\varphi\cos\gamma\cos\theta + \cos\delta\sin\gamma\sin\theta}{\sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos\theta} \quad (1.41)$$

Оптимальний кут нахилу, розрахований за допомогою рівняння (1.41) для 25 березня, показаний в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Оптимальний кут нахилу, розрахований за допомогою рівняння (1.41) у різних напрямках 25 березня 2011 року, °[26]

Час	09.10	09.40	11.20	13.40	14.40	16.10
Північ	9	9	8	9	9	10
Схід	43	35	10	-25	-40	-63
Південь	-9	-9	-8	-9	-9	-10
Захід	-43	-35	-10	25	40	63

Знаки мінус (-) означають, що напрямки кутів нахилу колектора повинні бути протилежні. Наприклад: о 13.40 оптимальний кут нахилу для поверхні, що виходить на схід, - 25°. Це означає, що колектор повинен виходити на захід, а не на схід з кутом нахилу 25°, щоб отримати більше випромінювання.

Порівнявши оптимальний кут нахилу, розрахований за допомогою рівняння (1.41), з експериментальними даними вчених Індонезійського наукового інституту,

можна зробити висновок, що рівняння (1.41) справедливо для отримання оптимального кута нахилу поверхні для отримання максимального сонячного випромінювання.

Вважаючи, що рівняння (1.41) вірне, наступним кроком є пошук оптимального кута нахилу колектора. Для колектора, встановленого з орієнтацією на північ (рис.1.23) оптимальний кут нахилу колектора варіюється від 0 до 40°. Таким чином, колектор потребує регулювання щодня.

Крім того, колектор має змінити орієнтацію на південь з жовтня до початку березня, де кут змінюється від 0 до 30°. Часто регулювати цей кут нахилу нелегко, а іноді й неможливо, оскільки колектор зазвичай встановлюється на стаціонарній опорі. В цьому випадку необхідно знайти інший спосіб встановлення колектора.

Використовуючи отримані дані, середній оптимальний кут нахилу має обчислюватися для колектора, спрямованого на схід, а не на північ вранці (07:00 до 12.00) та на захід вдень (13.00 - 17.00). Оптимальний кут нахилу поверхні за весь рік, спрямованої вранці на схід та ввечері на захід, показаний на рис. 1.24.



Рис. 1.23. Оптимальний кут нахилу поверхні на 7,2° південної широти

з орієнтацією на північ [26]



Рис. 1.24. Оптимальний кут нахилу сонячного колектора, встановленого в м. Сурабая (Індонезія) з орієнтацією вранці на схід та ввечері на захід [26]

Через симетрію оптимальний кут нахилу буде вдень таким же, як і вранці, але орієнтований в протилежному напрямку, тобто на захід. Колектор, у якого встановлена сонячна панель на схід вранці та на захід ввечері (рис. 1.24), має оптимальний кут нахилу майже однаковий протягом року, тобто 36 - 39,4°. Це перевага у порівнянні з колектором, встановленим на північ або південь. Для колектора, що виходить на північ, потрібне регулювання від 0 – 40° (12 березня - 30 вересня) і зміна орієнтації на південь з регулюванням кута від 0 – 30° (1 жовтня - 11 березня).

Отже, оптимальний кут нахилу можна отримати за допомогою рівняння (1.41), щоб максимізувати сонячне випромінювання, отримане на колекторі. Необхідними параметрами є широта, час, день та орієнтація поверхні. Для колектора, встановленого в м. Сурабаї (Індонезія), оптимальний кут нахилу протягом 12

березня - 30 вересня змінюється між $0 - 40^\circ$ (орієнтація на північ) і протягом 1 жовтня - 11 березня знаходиться між $0 - 30^\circ$ (орієнтація на південь).

Іншим варіантом є встановлення двох колекторів, тобто одного, спрямованого на схід для використання вранці і одного - на захід ввечері. Оптимальний кут нахилу для цих колекторів становить $36 - 39,4^\circ$.

Використання цих кутів нахилу сонячної панелі демонструє ефективне управління витратами часу, енергії та коштів, необхідних для збору даних актинометричних величин, для отримання сонячної енергії, на основі якої створюється та оцінюється геліопотенціал, тобто потенціал сонячної енергії на певній території, у певному регіоні, державі, материку, континенту та на всій земній кулі в цілому і визначається придатність для розвитку геліоенергетики як одного з видів альтернативних джерел енергії та видів енергетики загалом на даних територіях.

1.1.4 Розсіяна сонячна радіація. Індекс прозорості та індекс хмарності

Розсіяна або дифузна сонячна радіація – це сонячна енергія, яка поглинається атмосферою і лише після цього у розсіяному вигляді досягає поверхні Землі.

Розсіяна радіація - це радіація, що надходить до земної поверхні від усього небосхилу, окрім диску Сонця й навколосонячної зони радіусом 5° , у результаті розсіяння прямої радіації в атмосфері. Також розсіяна сонячна радіація – це потік сонячної радіації, що надходить від небосхилу до спостерігача. Кількість розсіяної радіації, що надходить до одиничної горизонтальної поверхні за одиницю часу, називається потоком, або течією розсіяної радіації і позначається через D (Вт/м²). Оскільки першоджерелом розсіяної радіації є пряма сонячна радіація, то потік D залежатиме від факторів, які визначають I , тобто[15]:

- а) висоти Сонця (чим більше h_θ , тим більша D);
- б) прозорості атмосфери (чим більша прозорість, тим менша D);

в) хмарності.

Для розсіяної радіації характерні такі залежності[15]:

1. Чим більше атмосфера насичена різними домішками, що розсіюють сонячну радіацію, тим більша частка сонячної радіації розсіюється, тобто розсіяна радіація зростає зі збільшенням мутності атмосфери. За заданої прозорості атмосфери течія D пропорційна I , тобто збільшення висоти Сонця (зменшення m) супроводжується зростанням потоку розсіяної радіації; відношення D/I залежить тільки від прозорості атмосфери; відношення D/I' збільшується зі зменшенням висоти Сонця та прозорості атмосфери.

2. Потік розсіяної радіації значно збільшується за наявності світлих і відносно тонких хмар (наприклад, хмар верхнього ярусу - C_i , C_s), які є хорошим розсіювальним середовищем. Особливо великим є вплив хмар, що освітлюються Сонцем збоку (висококупчасті хмари A_c); тут має місце збільшення розсіяної радіації у 8-10 разів порівняно з її надходженням за ясного неба. Тільки за щільної суцільної хмарності (хмари нижнього ярусу) і випаданні опадів розсіяна радіація стає меншою, ніж за ясного неба. У високих широтах, де переважає значна хмарність і спостерігаються малі висоти Сонця, D може досягати $697,8 \text{ Вт/м}^2$.

3. Величина потоку розсіяної радіації залежить від характеру земної поверхні, в першочергу від її відбивної здатності. Це пов'язано з тим, що радіація, яка відбивається від поверхні, вдруге розсіюється в атмосфері та частина її знову потрапляє до поверхні, збільшуючи первинний потік розсіяної радіації. Особливо помітним є збільшення розсіяної радіації за снігового покриву, який відбиває до 80-90 % прямої та розсіяної радіації. Чим меншою є висота Сонця, тим більший потік розсіяної радіації за рахунок повторного розсіяння. Наприклад, сніговий покрив збільшує потік розсіяної радіації на 65 %, коли Сонце біля обрію і на 12 % - за висоти Сонця 50° . [15]

На рис. 1.25 зображено залежність величини розсіяної радіації (у відносних одиницях) від висоти Сонця та альbedo земної поверхні. Показано, що розсіяна

радіація влітку значно менша, ніж узимку. Основна частка розсіяної радіації припадає на видиму область сонячного спектра. В інфрачервоній частині спектра близько 96 % розсіяної радіації припадає на інтервал 0,7-1,7 мкм, а на радіацію із $\lambda > 2,27$ мкм - менше 1%.

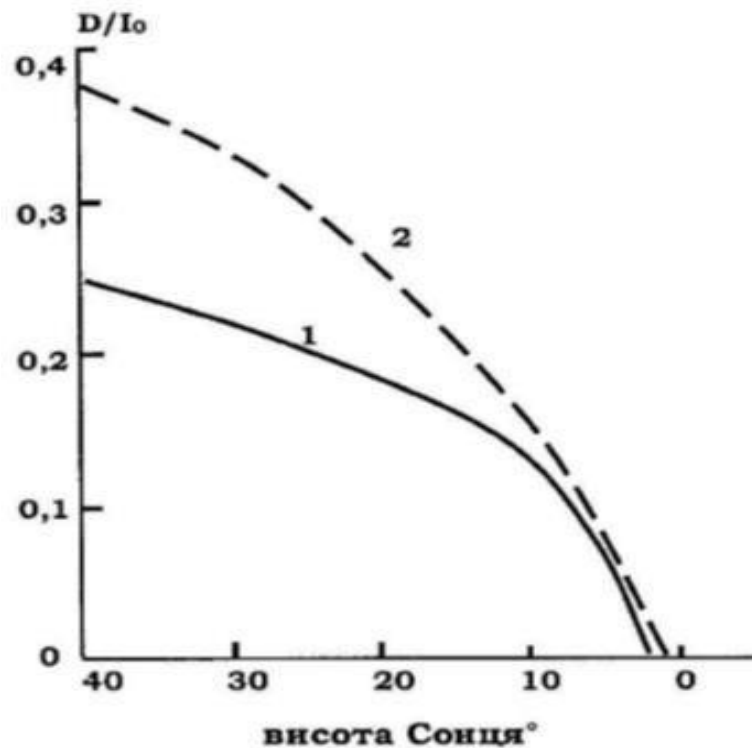


Рис. 1.25. Потік розсіяної радіації:

1 і 2 - за спостереженням у Тарту влітку та взимку відповідно [15]

4. Зі збільшенням висоти місця н. р. м. розсіяна радіація за ясного небосхилу зменшується внаслідок зменшення товщі шарів атмосфери. У цьому випадку вона збільшується тільки за наявності хмар.

Розподіл енергії у спектрі розсіяної радіації відмінний від розподілу енергії у спектрі прямої сонячної радіації. Максимум енергії у спектрі розсіяної радіації припадає на коротші довжини хвиль, приблизно на 0,425-0,450 мкм. Коливання спектрального складу розсіяної радіації вельми суттєві та спричинені зміною прозорості атмосфери.

Зв'язати течію розсіяної радіації з потоком прямої дозволяє таке міркування. Якщо до земної поверхні надходить потік I , то втрата прямої сонячної енергії в

атмосфері дорівнюватиме різниці $I_o - I$. В ідеальній атмосфері вся ця радіація переходить у розсіяну радіацію. За симетричної форми індикатриси молекулярного розсіювання світла до земної поверхні надходить половина всієї кількості розсіяної радіації. Отже, надходження розсіяної радіації на горизонтальну поверхню становитиме

$$D = b (I_o - I) \sinh \theta. \quad (1.42)$$

Множник b в ідеальній атмосфері - $1/2$, у реальних умовах, коли частина потоку I_o поглинається, близький до $1/3$.

Добові та річні зміни розсіяної радіації за відсутності хмар рівнобіжні й паралельні зміні прямої радіації. Але вранці розсіяна радіація з'являється раніше прямої. Її максимум настає о 12-13 год, а в момент закінчення присмерку (наявності розсіяної радіації за відсутності прямої) обертається на нуль.

У річній зміні максимум розсіяної радіації за ясного неба спостерігається в липні, мінімум - у січні. За суцільної хмарності річна зміна розсіяної радіації має такий самий хід, як і за ясного неба. За мінливої хмарності добові й річні зміни розсіяної радіації порушуються й ускладнюються.

Суми розсіяної радіації залежать від висоти Сонця та тривалості світлої частини доби та хмарності. Вони збільшуються зі зменшенням широти та від зими до літа.[15]

Максимальні значення дифузного випромінювання, як правило, виникають протягом часу, коли існують розриви в хмарах. Дифузне випромінювання від частково похмурого неба, як правило, значно вище, ніж дифузне випромінювання від чистого неба та похмурого неба. Таким чином, неправомірним науковим процесом є спроба розрахувати середньомісячне дифузне випромінювання шляхом лінійної інтерполяції між хмарним небом та значеннями дифузного випромінювання чистого неба. Типова погодинна кількість сонячного світла, що створює найкращі умови дифузного опромінення, становить приблизно від 0,3 до 0,5 годин. На диво

високі рівні сумарного випромінювання можуть виникати в умовах дуже високих хмар, але випромінювання переважає розсіяне.[36]

Для кількісного визначення та опису різних величин прямої та дифузної частин, вводяться дві нерозмірні величини, а саме індекс хмарності k_d та індекс прозорості k_t , що визначаються наступним чином[28]:

$$k_t = \frac{g}{g_{in}}, k_d = \frac{g_d}{g} \quad (1.43)$$

де g - падаюча радіація на горизонтальну поверхню;

g_d - дифузний компонент;

g_{in} - віртуальне випромінювання, що потрапляє на поверхню за відсутності атмосфери (без послаблення).

В умовах чистого неба пряма (променева) радіація, g_{bh} потрапляючи в горизонтальну площину, буде послаблюватися внаслідок різного розсіювання та поглинання. Існує безліч одночасних явищ, що сприяють цьому згасанню.

Вони детально описані в рівнянні (1.44), але достатньо описати це послаблення за допомогою одного коефіцієнта передачі r_α в діапазоні від 0 до 1. Отже, буде

$$g_{bh} = g_{in} \cdot r_\alpha \quad (1.44)$$

Підставивши в рівняння (1.43), отримуємо[28]

$$k_t = \frac{g}{g_{in}} = \frac{g_{in} \cdot r_\alpha + g_d}{g_{in}} \quad (1.45)$$

$$k_t = r_\alpha + \frac{g_d}{g_{in}} \quad (1.46)$$

Індекс прозорості k_t - це сума двох величин, і ці величини кожна окремо представляють нижню межу хмар. Крім того, прозорість за відсутності хмар ніколи не може бути нижчою за величину, яка представляє коефіцієнт послаблення як функцію непрозорості та товщини повітря, пройденого сонячним променем.

Індекс хмарності k_d враховує наявність таких величин:

- коефіцієнта згасання або послаблення;
- дифузного компонента;
- прямої (променевої) радіації;
- падаючої радіації на горизонтальну поверхню;
- індекса прозорості;
- віртуального випромінювання, що потрапляє на поверхню за відсутності атмосфери (без послаблення).

За формулою k_d має такий вигляд [28]:

$$k_d = \frac{g_d}{g} = \frac{g - g_{bh}}{g} = 1 - \frac{g_{in}}{g} r_\alpha \quad (1.47)$$

Отже,

$$k_d = 1 - \frac{c_\alpha}{k_t} \quad (1.48)$$

де r_α - коефіцієнт згасання (послаблення).

При $r_\alpha = 0,7$

$$k_d = 1 - \frac{0,7}{k_t} \quad (1.49)$$

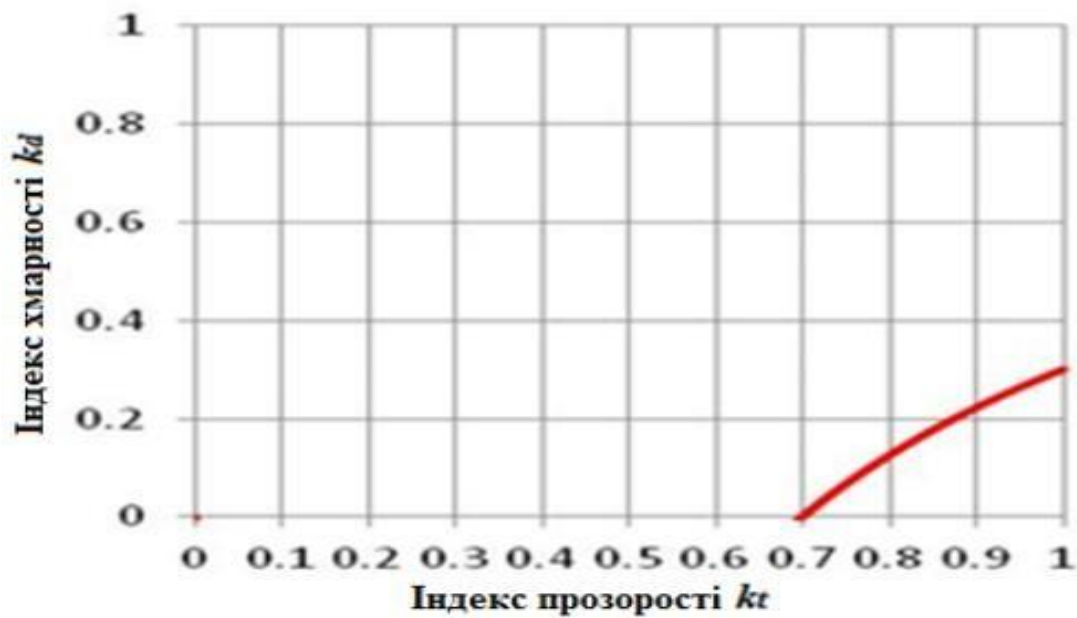


Рис.1.26. Можливі значення індексу хмарності при ясному стані неба з коефіцієнтом послаблення повітря $r_\alpha = 0,7$ [28].

На підставі рівняння (1.48) можна стверджувати, що індекс хмарності повинен знаходитись на кривій, зображеній на рисунку 1.26.

Посилаючись на умови чистого неба, варто зазначити, що, говорячи про земну атмосферу, максимальне значення для r_α , тобто мінімальне затухання, обчислюється за формулою [28]:

$$r_\alpha = \exp(-\delta_R \cdot m_{Amin} \cdot T_{Lmin}) \quad (1.50)$$

m_{Amin} - мінімальна величина маси повітря, коли Сонце в zenіті;

T_{Lmin} - нижня межа мутності Лінке. Це параметр, що описує непрозорість повітря, що виникає у випадку низької присутності забруднювача в дуже ясний і сухий день;

δ_R - коефіцієнт пропорційності.

У цьому відношенні можна приблизно поставити $m_{Amin} = 1$; $T_{Lmin} = 1,5$ та $\delta_R = 0,09$, щоб отримати верхню межу для r_α , отриманої від $r_{amax} = 0,83$. Іншими словами, права нижня область на рис. 1.27 не може бути досягнута на планеті Земля, можливо, на Марсі, оскільки вона буде:

$$k_d \stackrel{> 1}{\leq} \frac{c_{atm}}{k_t} \quad (1.51)$$

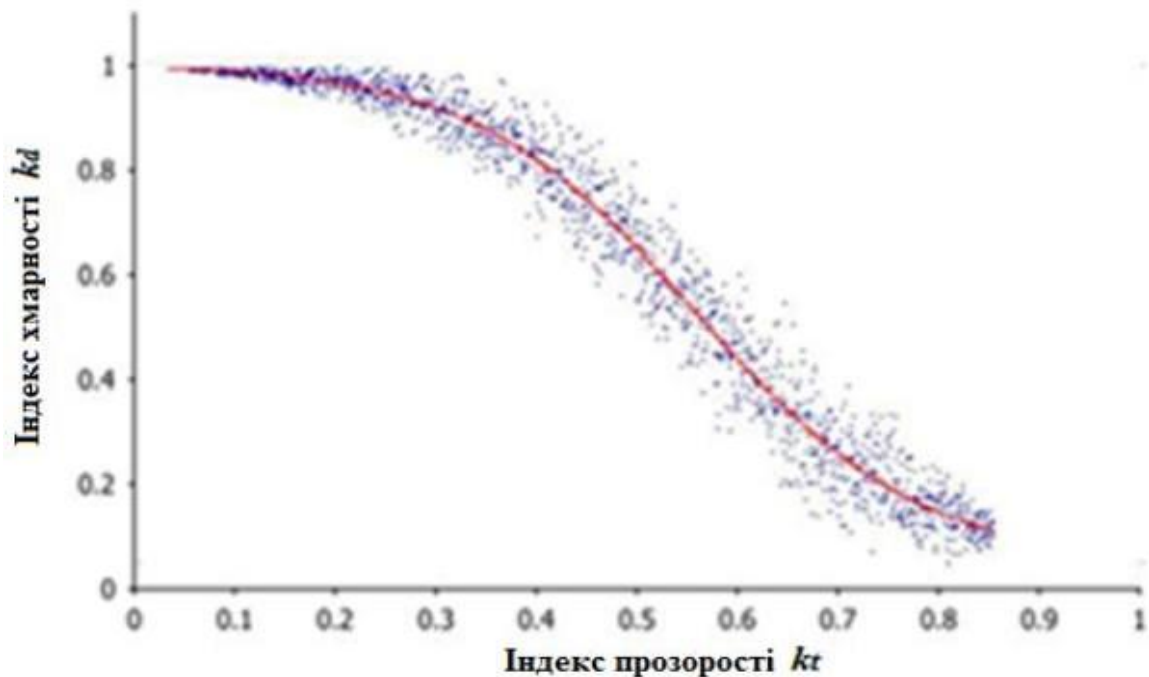


Рис. 1.27.Індекс хмарності як функція індексу прозорості. Типова поведінка[28]

Безумовно, r_α залежить від висоти Сонця, оскільки це функція товщини пройденої атмосфери. Ефект є більш вираженим у вищих широтах, оскільки Сонце зазвичай нижче, наприклад, опівдні.

У випадку, коли $r_\alpha < 0,5$, сіра зона на рис.1.28 представляє недосяжну область у цьому місці згідно з (1.51).



Рис. 1.28. Поза зоною недосяжності (сірою) у випадку $r_\alpha < 0,5$ [28].

Ці міркування мають чітке експериментальне підтвердження, як це чітко проілюстровано на рис.1.29, де показані дані, зібрані на станції посадки пшениці в Пасерні, Швейцарія. Цифра показує тисячі замірів протягом року та вплив погодних умов, що викликає велике поширення k_d-k_t на поверхні. У будь-якому випадку з деяких даних видно, що існує зона (внизу праворуч), яка не доступна експериментально.

Подібні експериментальні дані змушують різних дослідників, наприклад, Скартвейта [28], плутати фізичне обмеження з можливим функціональним зв'язком між ясністю та хмарністю та запропонувати деякі малоймовірні емпіричні кореляції із дивними «хвостами», як показано на рисунку 1.30.

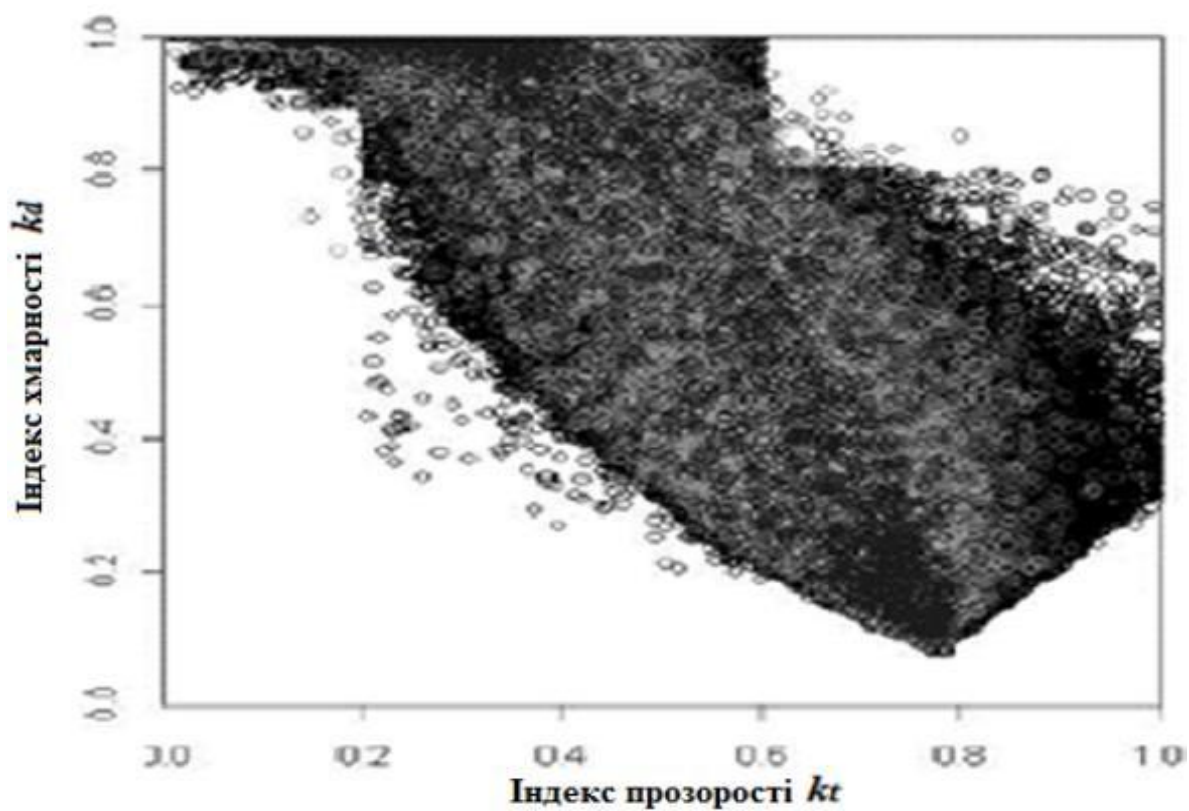


Рис. 1.29.Поза зоною недосяжності. Експериментальні докази[28].

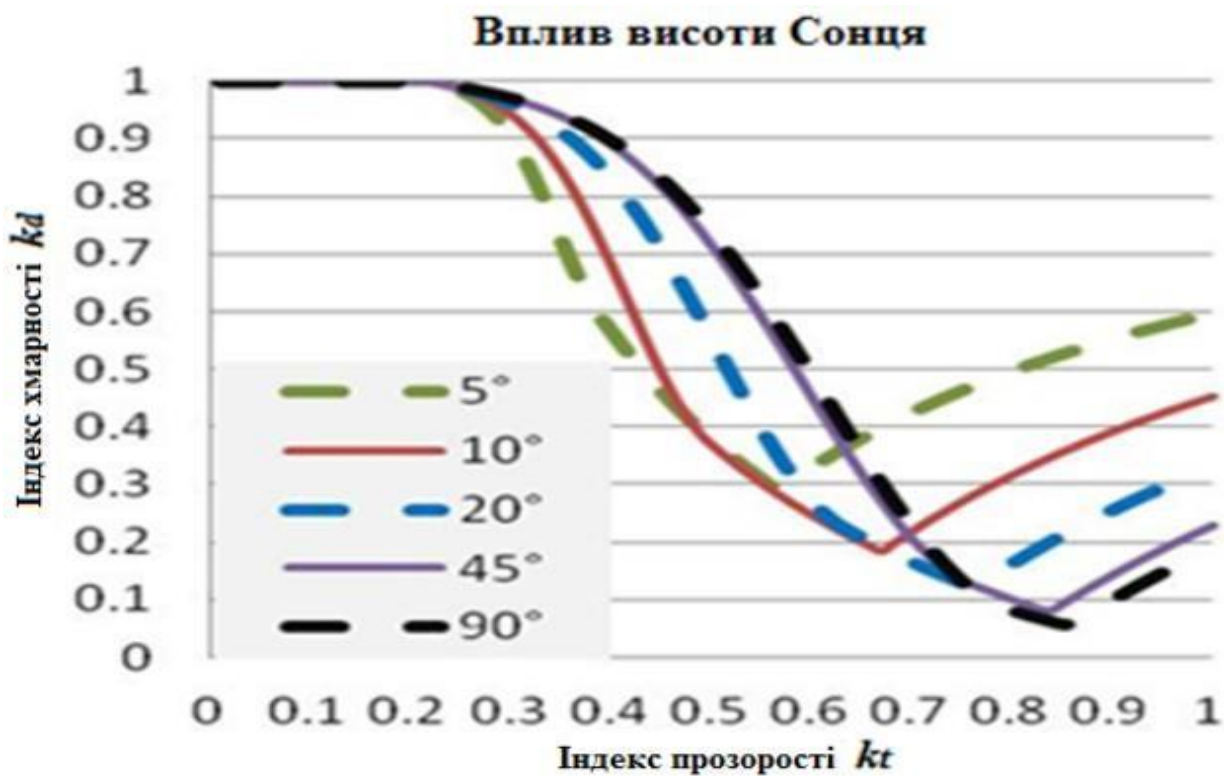


Рис. 1.30. Модель дифузної фракції Скартвейта. Вплив висоти Сонця [28].

Рис. 1.31 показує, що «хвости» насправді є межами, що відповідають даним висотам Сонця, тому виникають деякі сумніви щодо моделювання індексу хмарності Скартвейта.

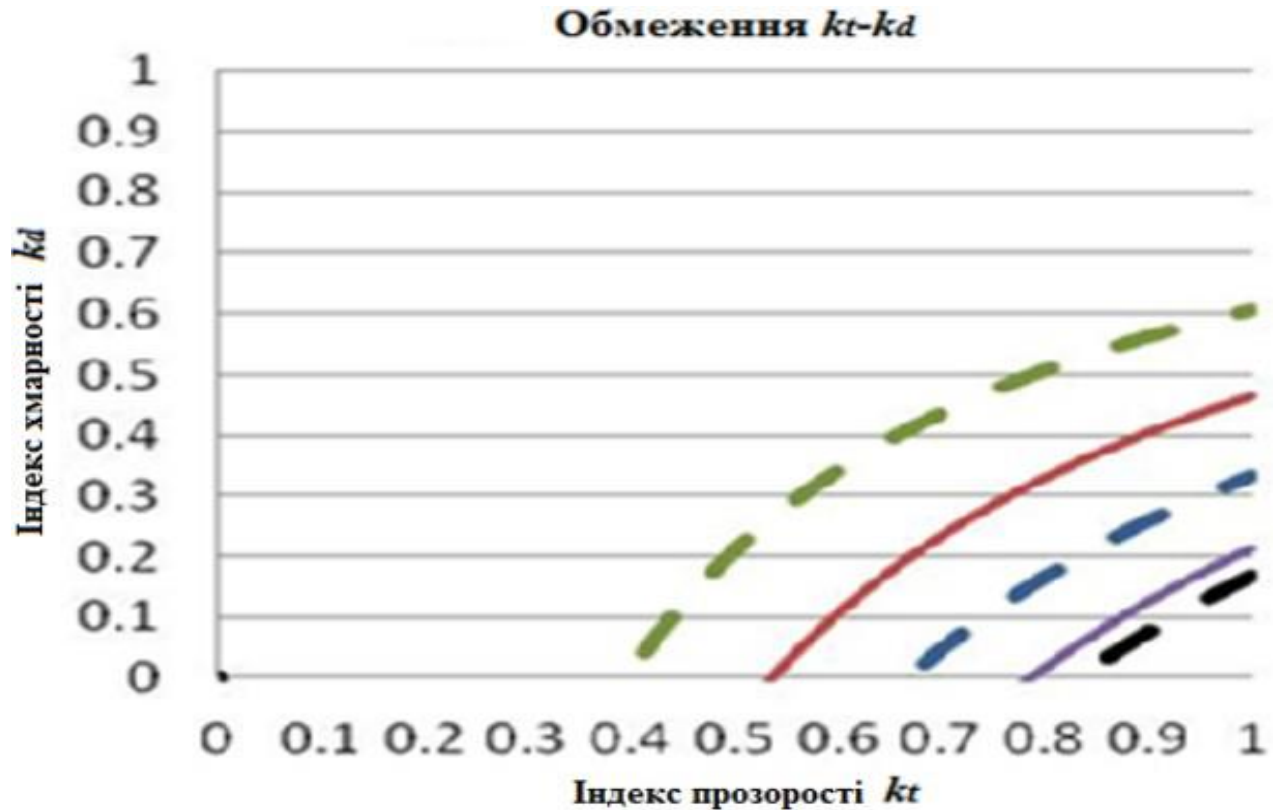


Рис. 1.31.Крива обмеження з рівняння (1.48). Та сама величина кута висоти Сонця, що й на рис.1.30 [28].

Обмеження на рис.1.31стосуються тих самих значень кута, що і на рис.1.30, значення мутності за Лінке $T_L = 1,5$ (дуже ясне і сухе небо). Скартвейт розробляє свою модель переважно на основі даних, зібраних у Норвегії і підкреслює низьке значення мутності.Вираз для δ_R як функція m_A , визначається за формулою [28]:

$$\delta_R = 6.5567 + 1.7513m_A - 0.1202m_A^2 + 0.006m_A^3 - 0.00013m_A^4 \quad (1.51)$$

Повітряна маса у свою чергу виражається при моделюванні атмосфери як простої сферичної оболонки за наступною формулою [28]:

$$m_A = \sqrt{(r \cdot \cos\varphi)^2 + 2r + 1} - r \cdot \cos\varphi \quad (1.52)$$

де r – радіус Землі;

φ – кут географічної широти.

Хоча насправді сигмовидна k_d-k_t зупиняється в якійсь точці в правій нижній частині діаграми розсіювання через описані вище обмеження, експериментальні точки навколо цієї межі є наслідком мінливості деяких атмосферних або ґрунтових характеристик протягом періоду спостереження (зазвичай дуже тривалого).

Можливими параметрами є альbedo землі, хмари та різні коефіцієнти пропускання, пов'язані як з прямою, так і з дифузною радіацією. Нарешті, наявність хмар є найважливішим стохастичним фактором при моделюванні компонента сонячної радіації; це перше крокове дослідження проводиться з припущенням ясного безхмарного неба.

Отже, якщо такі фізичні елементи, як фактори пропускання (прямі та дифузні), характеристики розсіювання прямі та зворотні, альbedo землі (також ефект снігу), альbedo хмар та інші елементи будуть введені для побудови кореляції k_d-k_t , засновані на параметричних методах, то це призведе до більшої гнучкості на шляху "універсальної моделі". Тобто моделі, здатної адаптуватися до будь-якого місця та метеорологічних умов, моделі, корисної для прогнозування ефективності роботи геліоустановки або для сприяння проектуванню великих сонячних полів із наявними на них ефективно працюючими сонячними панелями як для потреб комунального господарства, так і енергетики загалом. [28]

Сонячні колектори

Відновлювана енергія, отримана від Сонця, дуже важлива через те, що вона є безкоштовною та екологічно чистою. Важливість детальних знань про сонячне випромінювання, отримане від Сонця на об'єкті, при проектуванні та виборі сонячних приладів не можна переоцінити. Для того, щоб оптимізувати сонячну інсоляцію на сонячних колекторах, необхідно використовувати метод визначення кутів нахилу сонячних батарей у будь-який момент часу, що є важливим для збільшення ефективності роботи колекторів та приєднаних до них пристроїв.

Положення Землі щодо Сонця змінюється з часом; зміна повинна контролюватися оптимально, щоб збільшити кількість енергії, яку отримують сонячні пристрої.

Сонячний колектор – це пристрій, який збирає та/або концентрує сонячне випромінювання. Ці пристрої в основному використовуються для активного сонячного опалення і дозволяють нагрівати воду. Ці колектори зазвичай встановлюються на даху і повинні бути дуже міцними, оскільки вони піддаються різним погодним умовам. [42]

В Європі сонячна щорічна радіація становить від 500 до 1800 кВт·год/м².

Сонячний колектор в основному являє собою плоску коробку і складається з трьох основних частин: прозорої кришки, трубок, що несуть теплоносій, і ізолюваної задньої пластини. Сонячний колектор працює за принципом парникового ефекту; сонячне випромінювання, що падає на прозору поверхню сонячного колектора, передається через цю поверхню. Зсередини сонячного колектора зазвичай передається енергія, що міститься в сонячному колекторі, затримується і, таким чином, нагріває теплоносій, що міститься в трубах. Трубки зазвичай виготовляються з міді, а задня панель пофарбована в чорний колір для поглинання сонячного випромінювання. Сонячний колектор зазвичай утеплений, щоб уникнути втрат тепла.

Сонячні колектори перетворюють сонячне випромінювання в тепло і передають це тепло середовищу (рідині або повітрю). Тоді сонячне тепло можна використовувати для підігріву води, для опалення або охолодження систем або для опалення басейнів.

Сонячні технології охолодження вимагають високих температур, і не всі типи сонячних колекторів здатні їх виробляти. Колектори базуються на технологіях, які можуть подавати гарячу воду при відносно високій температурі (90 - 150 °C). Поглиначем, як правило, є лист металу з високою теплопровідністю, такий як мідь або алюміній, із щільними вбудованими або прикріпленими трубками. Його поверхня покрита для максимального поглинання променистої енергії та мінімізації

випромінювання. Ізольована коробка зменшує втрати тепла із тильної сторони або з боків колектора. Скляні листи дозволяють світлу проходити через поглинач, але також ізолюють простір над поглиначем, щоб запобігти надходженню прохолодного повітря в цей простір.



Рис.1.32. Об'єднаний сонячний водонагрівач [44]

Відокремлені (або вакуумні) трубки – це сонячні батареї, побудовані для зменшення конвективних та теплопровідних втрат (вакуум – теплоізолятор). Доступні різні типи конструкцій: ·

- теплові труби або прямий потік; ·
- всі скляні трубки;
- з концентратором або без нього.

Використовуються вони за необхідності високої температури рідини.

Скляні відокремлені трубки є ключовим компонентом сонячних колекторів. Кожна відокремлена трубка складається з двох скляних трубок. Зовнішня трубка виготовлена з надзвичайно міцного прозорого боросилікатного скла, яке здатне

протистояти ударам граду діаметром до 25 мм. Внутрішня трубка також виготовлена з боросилікатного скла, але покрита спеціальним селективним покриттям, яке має відмінне сонячне поглинання тепла та властивості мінімального відбиття тепла.



Рис.1.33. Теплові трубки [43]

Колектор має сильно ізольовану 2-дюймову скловату, щоб утримувати тепло. На відміну від плоских пластин, ці ґратки настільки добре ізольовані, що їм не потрібний антифриз при нормальній роботі – температура ґратки не падає нижче 10 °С навіть у дуже холодну погоду.



Рис. 1.34. Колектор вакуумних трубок[43]

Сонячне випромінювання поглинається селективним покриттям на внутрішній поверхні скла, але запобігає його повторному випромінюванню за допомогою внутрішньої оболонки із срібним покриттям, оптимізованої для інфрачервоного випромінювання. Це працює так само, як одностороннє дзеркало. Це дуже ефективно. 93 % енергії сонячного світла, потрапляючи на поверхню трубки, поглинається, тоді як лише 7 % втрачається через відбиття та повторне випромінювання. Наявність вакуумної стінки запобігає будь-яким втратам при проведенні тепла або конвекції – так само, як у термосі. Через це система працюватиме навіть за дуже низьких температур, на відміну від традиційних плоских колекторів.

Тепло, що передається на кінчик теплової труби, у свою чергу передається в мідний колектор, в якому циркулює вода для нагрівання ємності для гарячої води. Якщо в літній день трубку помістити під прямі сонячні промені, температура наконечника може досягати 250 °С – тому система легко нагріває балони з гарячою водою до 60 °С навіть у прохолодну погоду. [43]

Після проведення низки досліджень із сонячним колектором та регуляцією потоку теплової рідини в сонячних колекторних трубах, отримуються такі висновки щодо теплової рідини, що використовується в сонячному колекторі:

- сильно в'язка теплова рідина зменшить тепловіддачу в сонячному колекторі;
- для ефективної передачі тепла від сонячного колектора необхідна теплова рідина з низькою питомою теплоємністю;
- для ефективної передачі тепла від сонячного колектора необхідна теплова рідина з відносно високою теплопровідністю. [30]

В основі роботи фотоелектричних перетворювачів лежить добре відоме явище фотоефекту – принцип вибивання електронів з металів (із напівпровідникових матеріалів) квантами сонячного світла, - відкритому ще в позаминулому столітті Г. Герцем та дослідженому О. Г. Столетовим. Слід зазначити, що науковою базою для створення перших сонячних батарей стала розробка теорії й технології напівпровідникових матеріалів і структур з р-п переходом. Для просторового розведення зарядів, а значить і виникнення електричного струму, необхідна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровіднику. Таке поле існує в електронно-дірковому р-п переході, в контакті метал-напівпровідник, в контакті двох різних напівпровідників (гетеропереході).

Для ефективної роботи сонячних елементів необхідне дотримання ряду умов [18]:

- оптичний коефіцієнт поглинання активного шару напівпровідника повинен бути достатньо великим, щоб забезпечити поглинання значної частини енергії сонячного світла в межах товщини шару;
- електрони і дірки, що генеруються при освітленні мають ефективно збиратися на контактних електродах з обох сторін активного шару;
- сонячний елемент повинен мати значну висоту бар'єру в напівпровідниковому переході;
- повний опір, включений послідовно з сонячним елементом (виключаючи опір навантаження), повинен бути малим для того, щоб зменшити втрати потужності (за рахунок перетворення в тепло Джоуля) в процесі роботи;

- структура тонкої плівки повинна бути однорідною по всій активній області сонячного елемента, щоб виключити закорочування і вплив шунтувальних опорів на характеристики елемента.

Енергетичні характеристики сонячних фотоперетворювачів у першу чергу визначаються властивостями напівпровідникових матеріалів та конструктивними особливостями фотоелементів (сонячних елементів).

На основні фотоелектричні параметри сонячних елементів, такі як вольт-амперна характеристика (ВАХ) і спектральна чутливість, впливають і оптичні, і електрофізичні властивості напівпровідника. Тільки детальний аналіз дозволяє визначити, чим викликана недостатньо висока ефективність даного фотоелемента.

Для практичного використання напівпровідникової сонячної енергетики для живлення навіть малогабаритної радіоапаратури одного сонячного елемента замало – у нього недостатня напруга та загальна вихідна потужність. Тому із окремих сонячних елементів збирають сонячні батареї (фотомодулі). Типова батарея номінальною потужністю 50 Вт складається із 36 послідовно з'єднаних сонячних елементів 100×100 мм. Така батарея в робочій точці розвиває 17 В при струмі 3 А при освітленні 100 мВт/см^2 . З'єднуючи такі фотомодулі, можна створювати електричні станції різної потужності, від декількох кіловатт до декількох мегаватт. Вихідна потужність сонячного елемента може бути підвищена також за рахунок збільшення площі сонячного елемента, однак кремнієві елементи з більшою площею (150×150 чи 200×200 мм) ще не так поширені [14].

Можна виділити такі переваги сонячних фотоенергетичних систем[7]:

- доступність і невичерпність сонячного випромінювання в якості джерела енергії; -
- теоретично повна екологічна безпека для навколишнього середовища (існує мала імовірність нагрівання атмосфери над фотоелектростанцією);
- економічність процесу використання фотоелектричних перетворювачів;
- зниження витрат на гаряче водопостачання і опалювання до 85% (сонячна енергія безкоштовна);

- мінімальний рівень планового технічного обслуговування та висока надійність (близько 25-50 років для якісних фотоелементів, із втратою по потужності до 80% від початкової);
- автономність;
- висока надійність;
- економія органічних видів палива (мазуту, нафти, газу);
- скорочення викидів двоокису вуглецю;
- відсутність проміжних фаз перетворення енергії.

Розповсюдження сонячних установок серед населення і промисловості позитивно впливає на енергетичну безпеку України.

Незважаючи на переваги сонячних фотоелектричних систем, їм притаманна й низка недоліків:

- залежність від погоди, часу доби та пори року, і як наслідок необхідність акумуляції енергії;
- порівняно висока вартість конструкції на сьогоднішній день (до 3-5 \$/1Вт потужності всієї системи), але цей показник постійно знижується, враховуючи широке впровадження сонячних колекторів у сучасному світі;
- необхідність періодичного очищення поверхні від пилу та атмосферних опадів.

Хоча існує деякий ряд недоліків, переваги від процесу отримання сонячної електроенергії значно більше і вони мають більш якісний і кількісний характер, що було оцінено світовими виробниками сучасних технологій та оптоелектроніки. Зараз у світі існує близько 700 компаній виробників сонячних панелей для промислового і побутового секторів. Підводячи підсумки, можна сказати, що оптимальним з точки зору отримання максимального вироблення електроенергії за допомогою сонячних батарей є комбіноване використання поєднаних фотоелектричних перетворювачів на базі слідкуючих (трекерних) систем із додатковими встановленими дзеркалами, що збільшують оптичний потік на активну поверхню. Це дозволить отримати

максимальне використання енергетичного ресурсу сонячних панелей і як наслідок з економічної точки зору – зменшити строк їх окупності [7].

На українському ринку широке поширення отримали моделі сонячних колекторів таких виробників, як Buderus, Rehau, Viessmann, Vaillant, Wolf (всі — Німеччина), ThermoSolar (Німеччина-Словаччина), Chromagen (Ізраїль), Ferroli, Immergas (обидві — Італія), Rucelf (Китай), Solver (Польща), «Аванте», «Атмосфера», «Ітнелкон України» (бренд «Зелена енергія»), «СІНТЕК» (SintSolar), «Техно-АС» (усі — Україна).

1.3 Сонячна енергетика та її перспективи в Україні

У теперішній час людство усвідомлює, що єдиним реалістичним засобом для досягнення стійкого розвитку і уникнення катастрофічних змін клімату, є швидкий і глобальний перехід до відновлюваних енергетичних технологій. Використанню відновлюваних джерел енергії відводиться центральна роль в досягненні стійкості клімату і завдання переходу до них стоїть перед урядами усіх країн світу. Конференція зі зміни клімату 2015 року в Парижі стала переломним моментом для використання відновлюваних джерел енергії. Аргументи на їх користь ніколи не були настільки сильними. В результаті був вироблений глобальний план, метою якого стало подвоєння їх частки в загальносвітовому виробництві енергії до 2030 року. Втілення в життя цього плану має високе значення для досягнення енергетичної системи, виробництво якої не супроводжується викидами двоокису вуглецю та протягом найближчих 50 років зменшить виклики глобальній енергетичній безпеці та ризику для навколишнього середовища і здоров'я людини.

Однак це не означає, що подвоєння відбудеться в кожній країні. Прогнози для багатьох країн показують, що попит на енергію підвищується швидше, ніж перехід до відновлюваних джерел енергії. Темпи зростання і використання потенціалу відновлюваних джерел завжди будуть відрізнятися, через відмінності національних умов. У 2010 році частка відновлюваних джерел енергії в

енергоспоживанні у 40 країнах варіювала від 1 % до близько 50 %, по відношенню до традиційних джерел, навіть до 90 %, якщо додатково розглядалося використання біопалива. Реалізація усіх варіантів плану приведе до збільшення частки відновлюваних джерел енергії від 20 до 70 % у більшості країн до 2030 року.

Перехід до відновлюваних технологій має першорядне значення для врегулювання кліматичних проблем. [19]

Світові та регіональні тенденції вказують на те, що незабаром попит на енергію покриватиметься широким впровадженням відновлюваних джерел енергії. Однак погодні та кліматичні джерела енергії характеризуються значною просторовою та часовою мінливістю. Одним із рішень для подолання невідповідності попиту та пропозиції, що забезпечується відновлюваною енергією, є гібридизація двох або більше джерел енергії в єдину електростанцію (наприклад, вітро-сонячна, сонячна-гідро- або сонячно-вітро-гідроелектростанція). Функціонування гібридних джерел енергії базується на взаємодоповнювальній природі відновлюваних джерел.

За останні роки змінилися відновлювані джерела енергії (Variable Renewable Energy Sources - VRES). Вони повинні стати конкурентоспроможною та екологічно чистою альтернативою та постачати електроенергію до ізольованих, центральних і національних електромереж навколо світу. Тож протягом останніх років проводилось багато досліджень, які зосередилися на інтеграції мереж VRES.

Професор Стенфордського університету Марк Якобсон і його колега Марк Делуччі з університету Берклі представили кілька рішень, які необхідно застосовувати для сприяння процесу інтеграції відновлюваних джерел енергії VRES [34]:

- взаємозв'язок просторово розподілених генераторів;
- використання додаткових або / та розвантажуваних генераторів у гібриді конфігурації;
- застосування реагування на попит та на гнучкі навантаження;

- розгортання накопичувачів енергії;
- великі розміри та потужність енергетичних установок;
- використання концепції транспортного засобу в електромережі - використання електричних транспортних засобів як захист атмосфери Землі і решти складових довкілля від забруднення їх продуктами згорання палива бензинових та дизельних фракцій автомобілів і транспорту в цілому;
- прогнозування генерації VRES.

Також необхідно враховувати і поняття про поєднання джерел VRES, які виявляють взаємодоповнюючий характер їх експлуатації. По-перше, це гібридизація джерел енергії (таких як сонячний вітер, вітро-гідроенергія тощо), а по – друге - використання просторового розподілу генераторів для згладжування вихідної потужності заданого VRES. Обидва поняття ґрунтуються на взаємодоповнювальному (у різній мірі) характері відновлюваних джерел енергії.

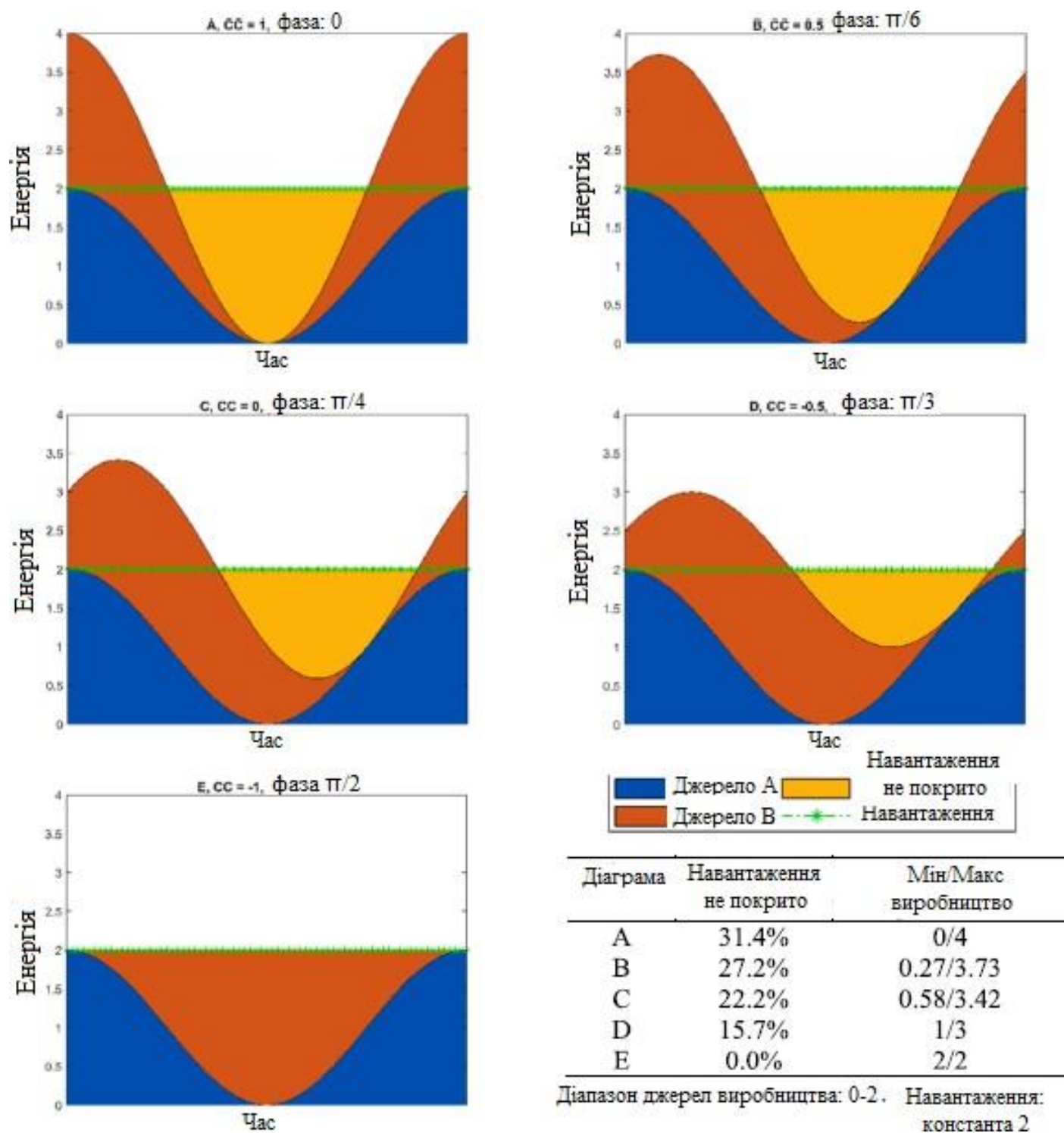


Рис.1.35. Концепція взаємодоповнення, що пояснюється за допомогою синусоїдального сигналу. CC - коефіцієнт кореляції [34]

Взаємодоповнення може бути як в часі, так і просторі, та спільно в обох фізичних величинах. Графічні пояснення наведені на рис. 1.35 і 1.36. На обох

рисунках функції синуса з різними фазовими кутами були використані для "моделювання" теоретичної та ідеалізованої експлуатації відновлюваних джерел енергії. У цих конкретних випадках, часова область (горизонтальна вісь) не має значення і може бути будь-якою, що відноситься до секунд, годин, місяців або років.

На рис. 1.35 представлено п'ять різних ситуацій (діаграми А-Е), коли відновлювані джерела демонструють різні рівні комплементарності (виражені тут як коефіцієнт кореляції). Для цієї ідеалізованої ситуації використовуються лише джерела, представлені на діаграмі Е, які здатні задовольнити навантаження, тоді як в інших випадках можна побачити або надлишкове, або недостатнє виробництво електроенергії.

Рішення, яке потрібно прийняти для подолання проблеми надлишкового, або недостатнього виробництва електроенергії альтернативними джерелами, представлені на діаграмах В-Д. У випадку, представленому на графіку А, обидва джерела досягають генерації «0» одночасно, отже, може розглядатися лише енергія зберігання, або просторовий розподіл генераторів як показано на рис. 1.36.

Ліва діаграма на рис. 1.36– ідеальна просторова та тимчасова взаємодоповнюваність між джерелами енергії. Права діаграма - ідеальне доповнення одного і того ж джерела, розташованого на двох різних місцях "А" та "В", добра взаємодоповнюваність між джерелами "1" і "2" у місці "В" та відсутність взаємодоповнюваності між джерелами "1" та "2" у місці "А", а також між "1" та "2" місць "А" та "В".

На рисунку 1.36 представлено два випадки, і вони показали, що незважаючи на те, що VRES просторово розподілені, їх виробництво може все одно дотримуватись тих самих схем, що призведе до того, що навантаження не буде покриті.

Тим не менше, поєднання просторового розподілу та часового взаємодоповнення може покращити загальну надійність системи.

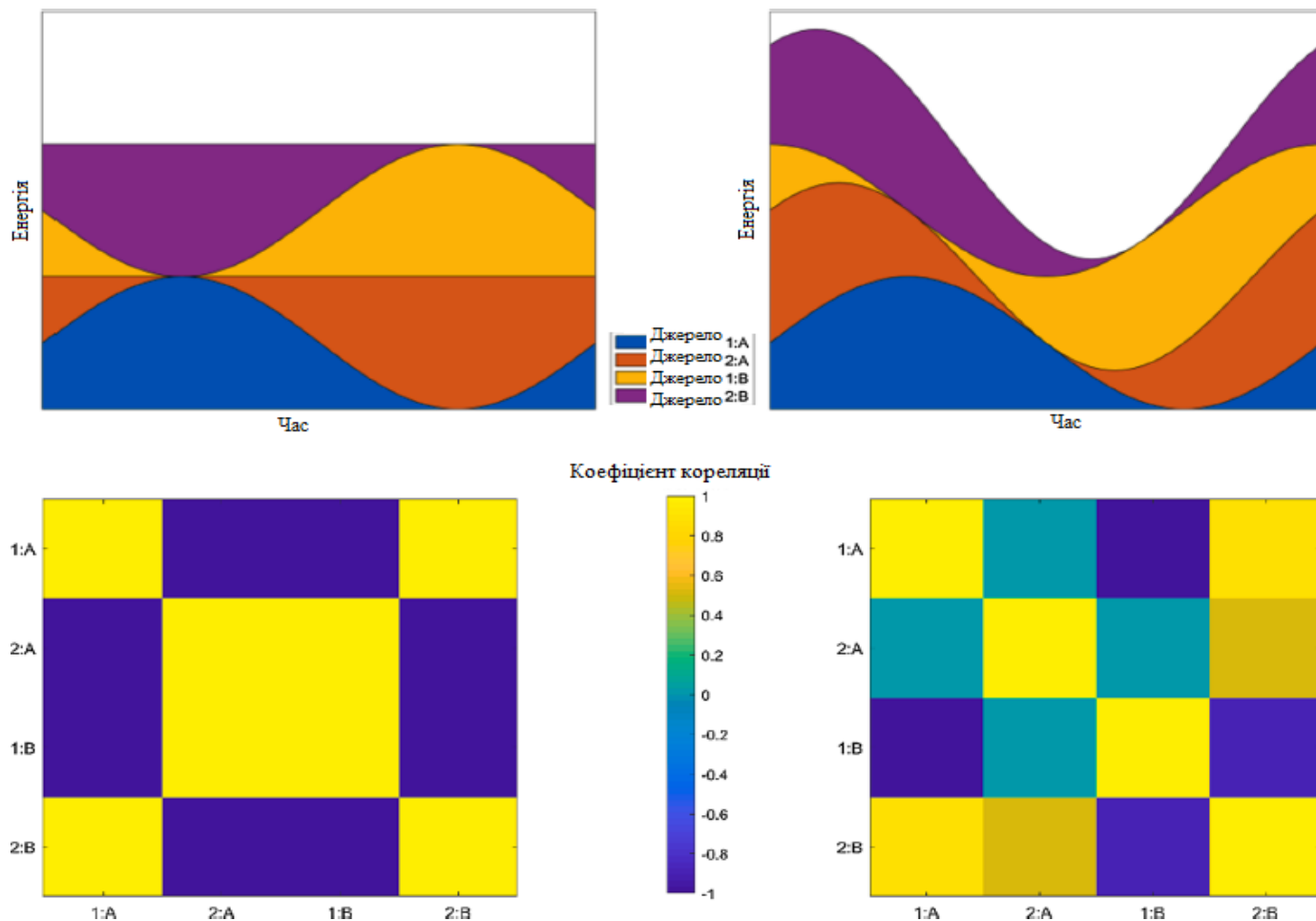


Рис.1.36. Концептуальна візуалізація просторової та часової взаємодоповнюваності: показник “1:A” джерело енергії “1” в місці “A” тощо. [34]

На підставі наведених рисунків виділяють наявність таких видів взаємодоповнюваності [34]:

- Просторова взаємодоповнюваність - може спостерігатися між одним або кількома типами джерел енергії. Це ситуація, коли енергетичні ресурси доповнюють один одного над певним регіоном. Дефіцит одного VRES в регіоні доповнюється його одночасною наявністю в регіоні у.
- Часова доповнюваність - може спостерігатися між двома або більше джерелами енергії в тому ж регіоні. Це розуміється як явище, коли VRES демонструють періоди доступності, які є додатковими у часовій області. Як приклад можна навести щорічні показники доступності вітру та сонячної енергії в Європі, де для

першого достатньо осені - зими, тоді як для другого - весни-літа. Приклад часової взаємодоповнюваності для одного джерела наведено в таблиці 1.7. У цій таблиці представлені характеристики різних типів взаємодоповнення.

Таблиця 1.7

Характеристика різних типів енергетичного взаємодоповнення [34]

Тип комплементарності	Кількість розглянутих джерел	Кількість розглянутих місць / регіонів	Фактор, що зумовлює наявність комплементарності
Часовий	≥ 2	$= 1$	Різна доступність у часі
Просторовий	≥ 1	≥ 2	Різна доступність у просторі
Просторово/ часовий	≥ 1	≥ 2	Доступність у часі та просторі

- Просторово-часова взаємодоповнюваність - (взаємодоповнюваність у часі і просторі) розглядається для одного або декількох джерел енергії, чия взаємодоповнювальна природа досліджується одночасно у часі та просторі. Хорошим прикладом є бразильська енергосистема та її гідроенергетика ресурсів, що призводить до взаємозв'язку південного сходу та північно-північно-східних підсистем.

Обмеженість енергетичних ресурсів, які можуть використовуватись людством, зумовлює велику зацікавленість в проблемі практичного використання відновлювальних джерел енергії, зокрема, сонячної та вітрової. [4]

Сонячне випромінювання, яке часто називають сонячним ресурсом або просто сонячним світлом, є загальним терміном електромагнітного випромінювання, яке випромінює Сонце. Сонячне випромінювання може бути зафіксовано та перетворено в корисні форми енергії, такі як тепло та електрика, за допомогою різноманітних технологій. Однак технічна доцільність та економічна робота цих технологій у певному місці залежить від наявного сонячного ресурсу. [50]

Таблиця 1.8

Річний потенціал сонячної енергії, 10^{12} МВт·с[54]

Регіон	Північна Америка	Латинська Америка та Каріби	Західна Європа	Центральна і Східна Європа	Колишній Радянський Союз	Середній Схід та Північна Африка
Мінімум	181,1	112,6	25,1	4,5	199,3	412,4
Максимум	7 410	3 385	914	154	8 655	11 060

Продовження таблиці 1.8

Регіон	Південна Африка	Тихоокеанська Азія	Південна Азія	Центральна Азія	Країни Океанії
Мінімум	371,9	41,0	38,8	115,5	72,6
Максимум	9 528	994	1 339	4 135	2 263

Велика кількість сонячної енергії робить її дуже привабливим джерелом отримання електроенергії. У Програмі розвитку ООН за всесвітньою оцінкою енергії 2000 року встановлено, що річний потенціал сонячної енергії становить $(1\ 575 - 49\ 837) \cdot 10^{12}$ МВт·с. (табл.1.8). Це у декілька разів більше, ніж загальне споживання енергії в світі, яке у 2012 році становило $559,8 \cdot 10^{12}$ МВт·с. [32, 53]

Дані наведені для земельної ділянки за ясного неба.

Кількісне відношення глобального сонячного потенціалу до світового споживання первинної енергії:

- співвідношення потенційного і поточного споживання при $402 \cdot 10^{12}$ МВт·с на рік: 3,9 (мінімум) до 124 (максимум);

- коефіцієнт потенційного та прогнозованого споживання до 2050 року при $(590 - 1050) \cdot 10^{12}$ МВт·с : 1,5–2,7 (мінімум) до 47–84 (максимум);

- коефіцієнт потенційного та прогнозованого споживання на 2100 рік при $(880 - 1900) \cdot 10^{12}$ МВт·с : 0,8–1,8 (мінімум) до 26–57 (максимум).

У 2011 році Міжнародна енергетична агенція повідомила, що "розробка доступних, невичерпних і чистих технологій сонячної енергії матиме великі довгострокові переваги. Це збільшить енергетичну безпеку країн через залежність від місцевого, невичерпного і переважно незалежного від імпорту ресурсу, посилить сталий розвиток, зменшить забруднення, знизить витрати на глобальне потепління та зменшить ціни на природне паливо. Ці переваги є глобальними, тому додаткові витрати на стимулювання їхнього розвитку повинні розглядатися як інвестиційні кошти, що мають бути витрачені за призначенням та широко розповсюджені". [31]

Моделювання ефектів сонячного опромінення відіграє важливу роль у різних сферах застосування. Використовується напівпараметричний комбінований «сірий ящик» (grey-box) та рейковий (spline) метод управління даними, які можна використовувати для моделювання систем, в яких сонячний коефіцієнт залежить від положення Сонця. Вводиться коефіцієнт сонячного посилення, тобто поглинена частка виміряного сонячного опромінення, що оцінюється як безперервна непараметрична функція положення Сонця. Метод перевірений в двох тематичних дослідженнях - на моделі внутрішньої температури житла в Ольборзі, Данія, та моделі температури зворотного потоку сонячного колекторного поля в м. Солрод, Данія. Показано, що сонячний приріст (коефіцієнт як функція положення Сонця) здатний врахувати структурні коливання сонячного коефіцієнта, які можуть виникнути внаслідок таких факторів, як затінення перешкод та орієнтація вікна або поглинача світла. В обох випадках рейкова сонячна батарея значно покращила точність моделі та значною мірою зменшила структурні помилки. Крім того, форма функції дала уявлення про динаміку системи та локальні характеристики вхідної сонячної енергії.

Крім даних моделей, сонячний коефіцієнт посилення може використовуватися в інших моделях управління даними, наприклад, у моделях лінійної регресії.

Сонячне опромінення є головним фактором, що визначає виробництво тепла сонячної теплової електростанції (ТЕЦ), тому надзвичайно важливо детально врахувати ефекти сонячної радіації при моделюванні температури зворотного струму, а також температури виходу сонячного теплового поля. На частину відбитого опромінення, і тим самим на приріст сонячної енергії, значною мірою впливає кут падіння на сонячні панелі. Крім того, положення Сонця впливає на сонячний коефіцієнт завдяки можливим затіненням предметів навколо колекторів. Нарешті, на сонячний коефіцієнт впливають бруд або сніг на панелях. [24]

Необхідною умовою широкого використання енергії Сонця є аргументоване оцінювання її потенціалу, кінцевим результатом якого є комплекс об'єктивних кількісних характеристик, які відображають мінливий режим надходження цього виду енергії та межі їх можливих варіацій у просторі і часі. Кліматичне обґрунтування розташування та експлуатації об'єктів геліоенергетики повинно враховувати, в першу чергу, просторові та часові особливості розподілу енергії Сонця в конкретному місці і визначити необхідні умови і характеристики оптимального режиму функціонування геліоенергетичних пристроїв.

Для отримання кадастрових оцінок сонячної енергії до вихідної метеорологічної інформації застосовуються загальні вимоги, а саме:

- об'єктивна оцінка їх репрезентативності;
- оцінка точності характеристик як режимних, так і отриманих на їх основі шляхом розрахунку;
- оцінка меж їх можливих варіацій.

Стосовно оцінки потенціалу сонячної енергії у відповідності з природою цього джерела необхідно враховувати закономірні коливання сонячної радіації астрономічного характеру (обертання Землі навколо Сонця, коливання сонячної сталої) та стохастичні зміни геофізичного характеру (варіації хмарності, прозорості атмосфери, вологості, аерозольної мутності).

Оцінювання геліоенергетичних ресурсів проводиться за багаторічними спостереженнями характеристик сонячної радіації. Важливими показниками радіаційного режиму, які широко використовуються в геліоенергетиці, є тривалість сонячного сьйва та хмарність, оскільки негативним чинником у роботі геліоустановок є переривчастість у надходженні сонячної радіації, за рахунок чого витрачається значна частина енергії. Не менш важливою характеристикою є хмарність, мінливість якої протягом дня викликає нерівномірність роботи геліоустановок, особливо сонячних концентраторів, що сприймають прямі сонячні промені. У дні з мінливою хмарністю значна кількість сонячної енергії витрачається на подолання інерційності установок, яка коливається в досить широких межах: від кількох десятків хвилин до декількох годин.

Для визначення геліоенергетичних ресурсів використовуються:

- суми прямої та сумарної радіації, їх мінливість за різні проміжки часу в умовах ясного та хмарного неба;
- тривалість сонячного сьйва (багаторічні показники, просторово-часовий розподіл); її мінливість; безперервна тривалість сонячного сьйва вище вказаного рівня; можлива, справжня тривалість сонячного сьйва, що дорівнює технічно зазначеному рівню або перевищує його; число днів без Сонця;
- повторюваність хмарності різних градацій.

З використанням цих характеристик отримано ряд прикладних показників ресурсів сонячної енергії, а саме:

- тривалість роботи геліоустановок із визначеною добовою сумою сумарної радіації;
- кількість енергії, засвоєної та виробленої геліоустановкою. Ця характеристика включає добові суми сумарної радіації вище зазначеного робочого рівня з урахуванням їх повторюваності;

- об'єм акумулювання сонячної енергії, який визначається за допомогою інтегральних та різницево-інтегральних кривих розподілу добових сум прямої та сумарної радіації.

Одним із важливих елементів методологічних питань оцінювання ресурсів сонячної радіації є визначення характеристик перерозподілу сонячної радіації під час надходження на похилі поверхні. Перерозподіл потоків прямої, розсіяної та сумарної радіації у процесі надходження на нерухому приймальну поверхню геліоустановок розраховується за формулами сферичної геометрії. Зокрема, для визначення потоку прямої сонячної радіації на похилу поверхню S_s використовується залежність [4]:

$$S_s = S_m [\cos\alpha (\sin\varphi \sin\delta + \cos\delta \cos\varphi \cos\theta) + \sin\alpha \{ \cos A_n [\operatorname{tg}\varphi (\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\theta) - \sin\delta \sin\varphi] + \sin A_n \cos\delta \sin\theta \}], \quad (1.53)$$

де S_m – пряма радіація, що надходить на нормальну до сонячних променів поверхню;

α – кут нахилу приймальної поверхні;

φ – широта місцевості, де розміщується об'єкт;

δ – схилення сонця;

θ – часовий(годинний) кут сонця;

A_n – азимут проекції нормалі на горизонтальну поверхню.

Не менш важливо визначити коефіцієнт переходу K_s від потоку сонячної радіації на горизонтальну поверхню до її значень на похилій поверхні:

$$K_s = \frac{\Sigma S_n}{\Sigma S'}, \quad (1.54)$$

де ΣS_n – годинні або добові суми прямої радіації на поверхню, розміщену під кутом до горизонту;

$\Sigma S'$ – аналогічні значення на горизонтальній поверхні.

Потік розсіяної та відбитої радіації, що надходить на похилу поверхню, визначається виразом

$$D_n = D_z \cos^2 \alpha / 2, (1.55)$$

$$R_n = R_z \sin^2 \alpha / 2, (1.56)$$

де D_n та R_n – розсіяна та відбита радіація на похилій поверхні,
 D_z та R_z – їх значення на горизонтальній поверхні.

Для розрахунку добових сум сумарної радіації на похилу поверхню ΣQ_n використовується формула Б.А.Айзенштата[4]:

$$\Sigma Q_n = \Sigma S_n + \cos^2 \alpha / 2 \Sigma D_z + \sin^2 \alpha / 2 \Sigma R_z, (1.57)$$

де Q_z – сумарна радіація на горизонтальну поверхню.

Таблиця 1.9

Оптимальна добова сума сумарної радіації (МДж/м²) на похилу поверхню
 південної орієнтації за середніх умов хмарності [4]

Станція	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ковель	14,56	18,77	20,92	19,68	17,82	13,87
Бориспіль	15,30	19,88	22,45	21,34	18,72	15,21
Полтава	14,79	19,24	21,59	10,93	18,54	13,97
Одеса	16,90	20,95	23,96	23,93	21,70	22,29

У табл. 1.9 наведено середні добові суми сумарної радіації в Україні для оптимального кута нахилу приймальної поверхні геліоустановки. З півночі на південь території України спостерігається їх збільшення (вдвічі у зимові місяці та на 12-20 % у літні).

У табл. 1.10 наведена тривалість роботи геліоустановок із різною робочою добовою сумою сумарної радіації. З півночі на південь збільшується тривалість роботи геліопристроїв. Так, для установки, яка розташована на Поліссі і починає працювати за добової суми сумарної радіації 12 МДж/м², тривалість роботи варіює від 9 днів у вересні до 22 днів у червні, а в цілому за період (квітень-вересень) становить 109 днів. На Південному березі Криму цей показник збільшується до 160 днів. Тривалість роботи геліоустановки з робочою добовою сумою сумарної радіації

понад 20 МДж/м² зростає від 40 днів на Поліссі до 99 днів на Південному березі Криму.

Взимку просторовий розподіл повторюваності безперервної тривалості сонячного сьйва понад 6 годин характеризується досить значною мінливістю (менше 16% на півночі та більше 32% на півдні, узбережжі Чорного та Азовського морів, рис. 1.37).

Таблиця 1.10

Тривалість (дні) роботи геліоустановок з різною добовою сумою сумарної радіації [4]

Станція	Робоча добова сума сумарної радіації, МДж/м ²	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ковель	> 12	16	21	22	21	20	9
	>20	3	11	10	7	9	
Бориспіль	> 12	18	26	27	27	24	16
	>20		16	21	18	11	1
	>32				0,3		
Полтава	> 12	12	24	26	26	22	14
	>20	6	13	14	14	6	2
	>32		1	1			
Одеса	> 12	22	25	28	29	25	24
	>20	7	16	24	24	18	3
	>32			0,3	0,2		
Карадаг	> 12	22	27	28	29	28	26
	>20	9	18	22	22	19	9
	>32			1	1	0,5	

□ – кількість сонячної енергії, яка надходить (МДж/м² /сезон);

■ – кількість потенційної вироблюваної енергії (МДж/м²/сезон) [4]

Просторовий розподіл сонячної енергії наступний: 27-30% у північних районах, 32-36% у центральних, 32-40% у східних та більше 40% на півдні, узбережжі Чорного та Азовського морів.

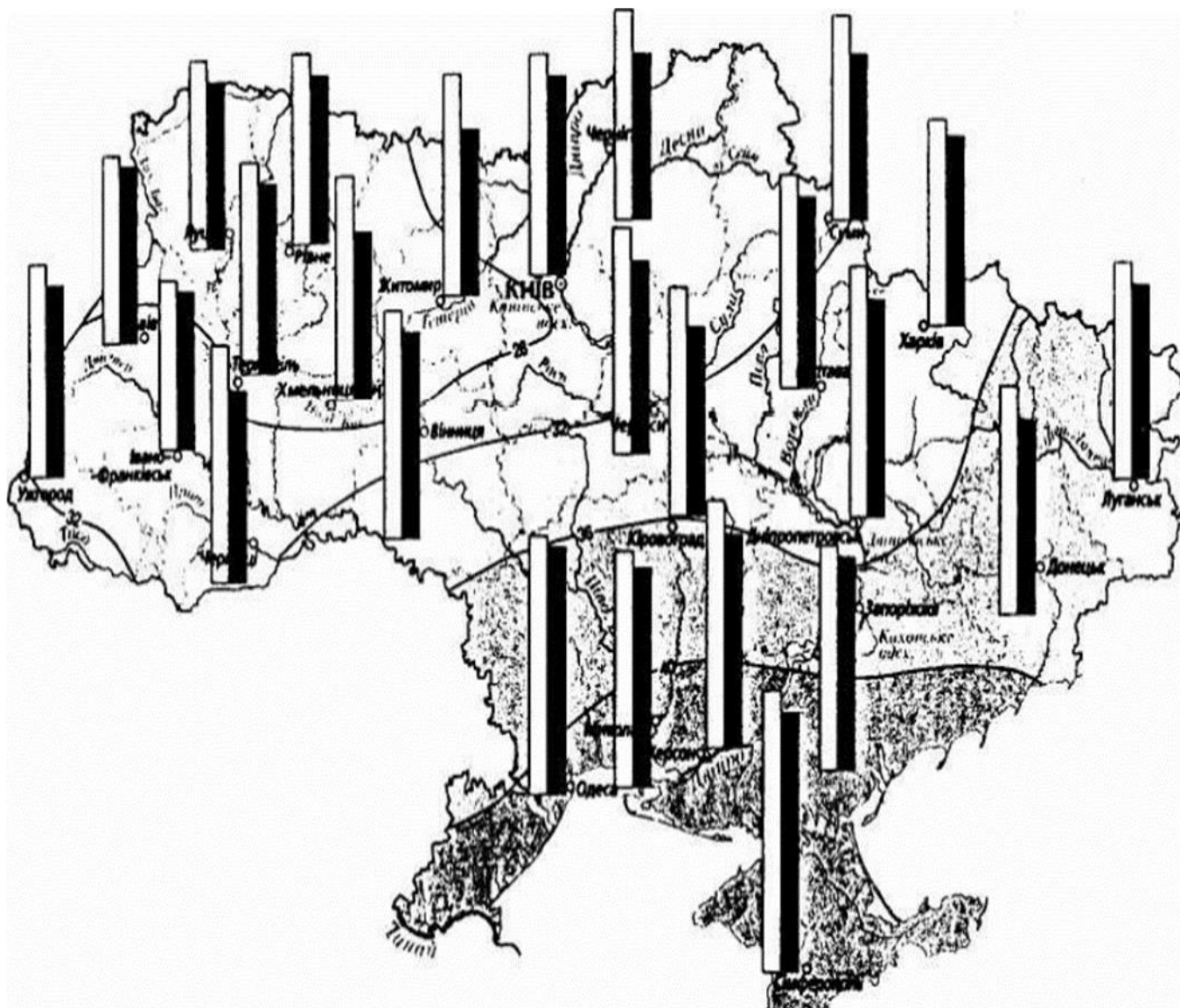


Рис. 1.38. Геліоенергетичні ресурси (літо):

-28- – повторюваність безперервної тривалості сонячного сяйва;

□ – кількість сонячної енергії, яка надходить (МДж/м² /сезон);

■ – кількість потенційної вироблюваної енергії (МДж/м²/сезон) [4]

Кількість сонячної енергії, що надходить влітку, дорівнює 1400-1500 МДж/м² у Передкарпатті та Українських Карпатах, 1550-1800 МДж/м² на півночі України. У східних та центральних районах загальний потенціал сонячної енергії у цей сезон становить 1850-1950 МДж/м², збільшуючись у південних районах та в Криму до 2000-2150 МДж/м².

Районування території України за потенціалом сонячної енергії проводилось на основі кліматичного узагальнення актинометричних та метеорологічних спостережень із застосуванням статистично-ймовірнісного методу. Комплекс спеціалізованих показників районування розроблявся таким чином, щоб вони відображали як багаторічний режим надходження сонячної радіації, так і її мінливість.

Показники районування такі:

- сума прямої та сумарної радіації за квітень-вересень та за рік; їх коефіцієнт варіації;
- показник структури опромінення (співвідношення між прямою та сумарною радіацією);
- структура повторюваності добових сум сумарної радіації.

Крім того, для районування використано ряд критеріїв, що визначають вплив на потенціал сонячної енергії тривалості сонячного сяйва та хмарності:

- безперервна тривалість сонячного сяйва (понад 6 год), яка достатня для рентабельної роботи геліоустановок;
- коефіцієнт стійкості ясної погоди; погода вважається дуже сприятливою, якщо цей коефіцієнт більше 50%;

- критерії доцільності використання сонячної енергії; оптимальність її використання забезпечується у тому випадку, коли річна кількість ясних та напів'ясних днів більше 200.

У Додатку Д наведено результати районування та оцінка потенціалу сонячної енергії. Районування території України за комплексом показників потенціалу сонячної енергії, тривалості сонячного сьйва та хмарності, а також із врахуванням ландшафтних особливостей перерозподілу сонячної енергії дає підстави для наступних рекомендацій щодо її використання та раціонального розміщення об'єктів геліоенергетики:

1. Найбільш доцільне використання сонячної енергії, а отже, і розміщення геліоустановок, на Південному березі Криму, на Причорноморській та Приазовській низовинах, у долинах Закарпаття. Найбільш сприятливий період їх роботи – квітень-вересень, а на Південному березі Криму – квітень-жовтень, коли переважає ясна погода (0 – 2 бали кількості хмарного покриву на небосхилі), а добові суми сумарної радіації становлять 13,2-32,5 мДж/м².

2. Велика повторюваність хмарних днів в Українських Карпатах викликає значне послаблення сонячної радіації. Це свідчить про недоцільність розміщення систем сонячного теплопостачання у цих районах. У той же час висока потужність сонячної радіації за ясного неба забезпечує успішну роботу локальних геліоустановок обмеженої дії.

3. Результати досліджень режиму надходження сонячної радіації, тривалості сонячного сьйва та хмарності у виділених районах дають змогу зробити висновок про економічну доцільність використання сонячної енергії у квітні-вересні. Тому на перспективу, щоб забезпечити потреби в енергії протягом року, слід планувати використання геліоенергоустановок у комплексі. [4]

Прогнозування сонячної енергії стає важливим для успішної інтеграції мереж в Україні. Точні прогнози можуть допомогти при встановленні показників потужності за день, дозволяючи їх збільшувати та зменшувати неточність.

Сонячна енергія зростає в геометричній прогресії в Україні, переходячи з кількості менше 1 ГВт до 2018 року на 5 ГВт на початку 2020 року. Недавнє зростання було зумовлене скороченням витрат на технологію перетворення фотоелектричної енергії. [47]

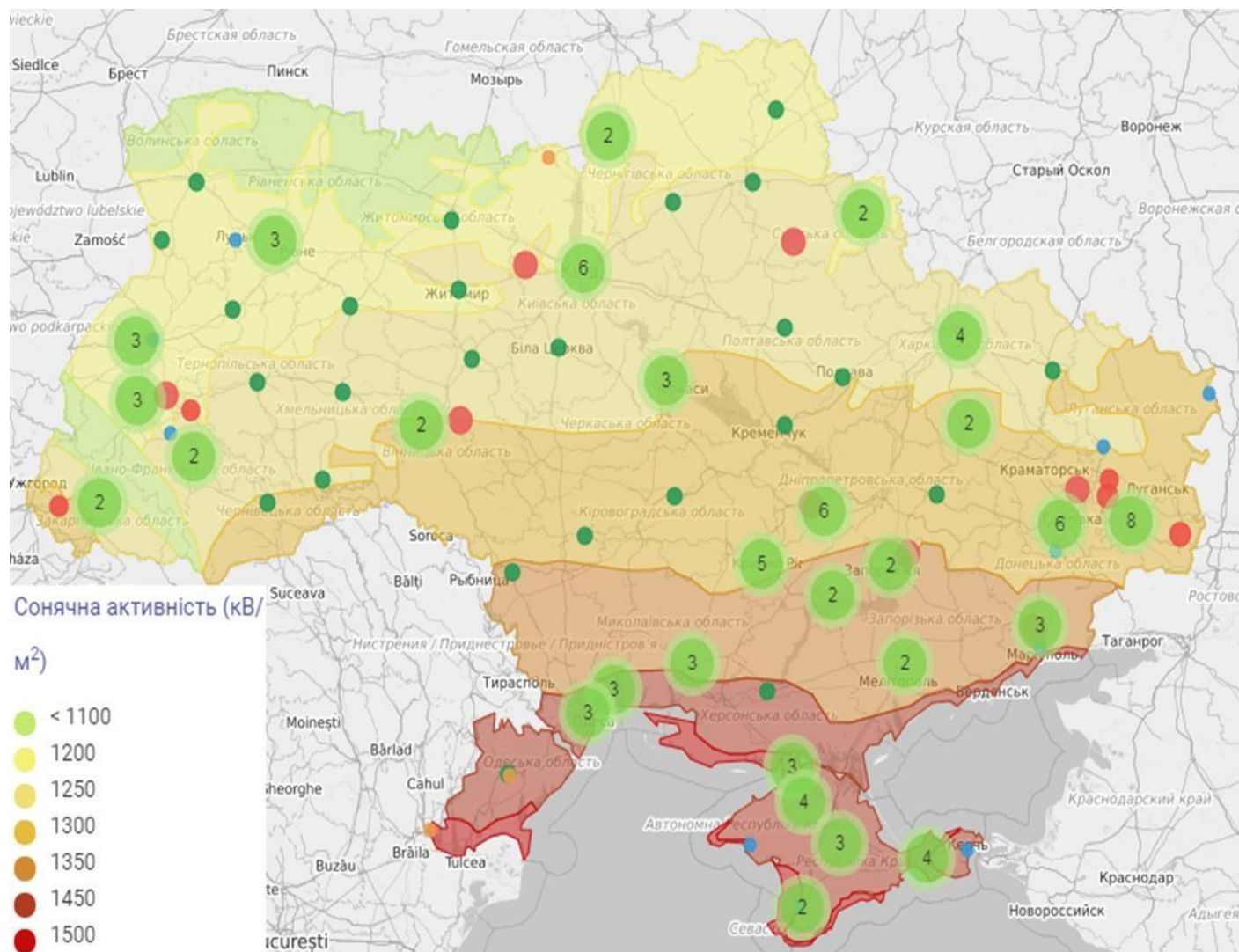


Рис.1.39. Карта сонячного потенціалу та геліоустановок (УКРЕНЕРГО) [52]

Найвні сонячні ресурси в Україні значні, особливо на півдні, де щорічне сонячне опромінення може перевищувати 1500 кВт·год/м². У південних регіонах також менше снігового покриву взимку, в середині зими сніговий покрив становить менше 50% днів. Хмари є домінуючим фактором зміни виробництва сонячної

енергії, в Україні спостерігається широкий спектр хмарних систем, включаючи фронтальні системи, конвективні хмари тощо.

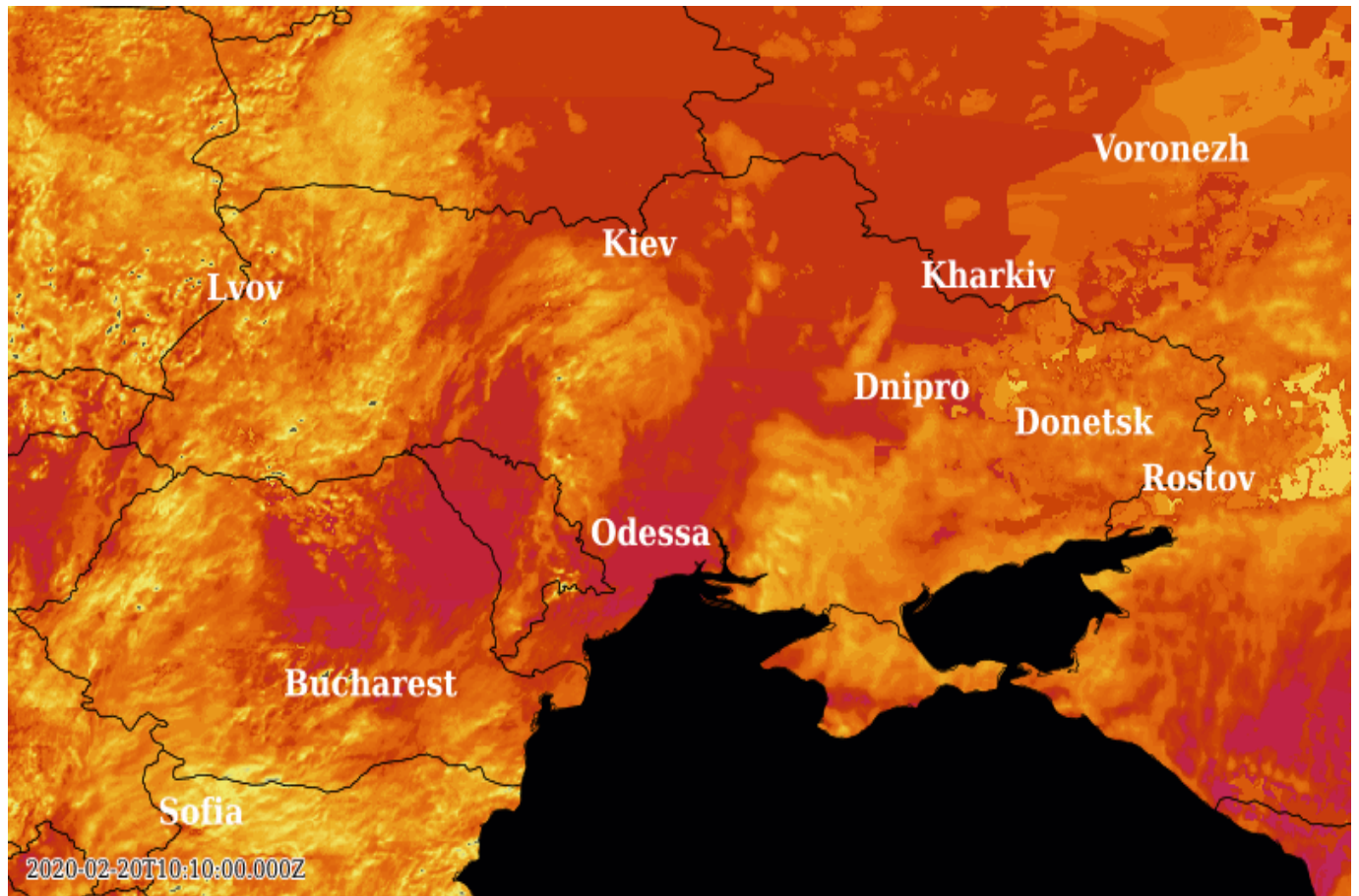


Рис.1.40. Карта сонячного опромінення над Україною опівдні 20 лютого 2020 року, що показує вплив хмар на наявний сонячний ресурс. [47]

Найважливішими атрибутами успішного та точного прогнозування сонячної енергетики в Україні є:

- 1) використання цілого ряду різних моделей погоди;
- 2) вдосконалення апаратури для створення найбільш точних погодних моделей та вивчення їх системних похибок;
- 3) точне моделювання потужності на основі технічних характеристик геліоустановок та використання даних минулих місяців або років. [47]

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ДАНИХ

Потенціал сонячної енергії України, як проілюстровано в п.1.3, зростає в південному напрямку. Тому для дослідження потоків сонячної радіації був обраний регіон Півдня України, обмежений прямокутником з вершинами 48° пн.ш. 29° сх.д., 48° пн.ш. 39° сх.д., 45° пн.ш. 30° сх.д., 45° пн.ш. 38° сх.д. з кроком 2° по довготі та 1° по широті. Всього - 22 вузли, т.я. дані з меншим кроком мають дуже велику кореляцію та практично не змінюються (рис.2.1).

В результаті для періоду календарного літа 1981 – 2020 рр. та вище вказаних вузлів були отримані середньодобові значення:

- прямої сонячної радіації, що надходить на підстильну поверхню, $\text{кВт}/\text{м}^2$;
- дифузної сонячної радіації, що надходить на підстильну поверхню, $\text{кВт}/\text{м}^2$;
- сумарної сонячної радіації, що надходить на підстильну поверхню, $\text{кВт}/\text{м}^2$;
- приземного атмосферного тиску, Па;
- кількості опадів, см;
- загальної кількості хмарного покриву на небосхилі, бали;
- тривалості сонячного саява, год.

Дані отримані з Центру обробки даних атмосферних досліджень NASA в м. Ленглі [37,38], Європейського центру середньострокових прогнозів погоди - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) в м. Рідінг поблизу Лондона [27]; проекту Climate4impact [33] та MINES ParisTech / TRANSVALOR S.A. в м. Софія-Антіполіс, Франція [51].

NASA завдяки своїй дослідницькій програмі Наука про Землю вже давно підтримує супутникові системи та дослідження, надає дані, важливі для вивчення клімату та

кліматичних процесів. Ці дані включають довгострокові усереднені кліматичні оцінки метеорологічних величин та поверхневих потоків сонячної енергії.

Крім того, середні добові значення метеорологічних та актинометричних величин наводяться у форматі часових рядів[37].

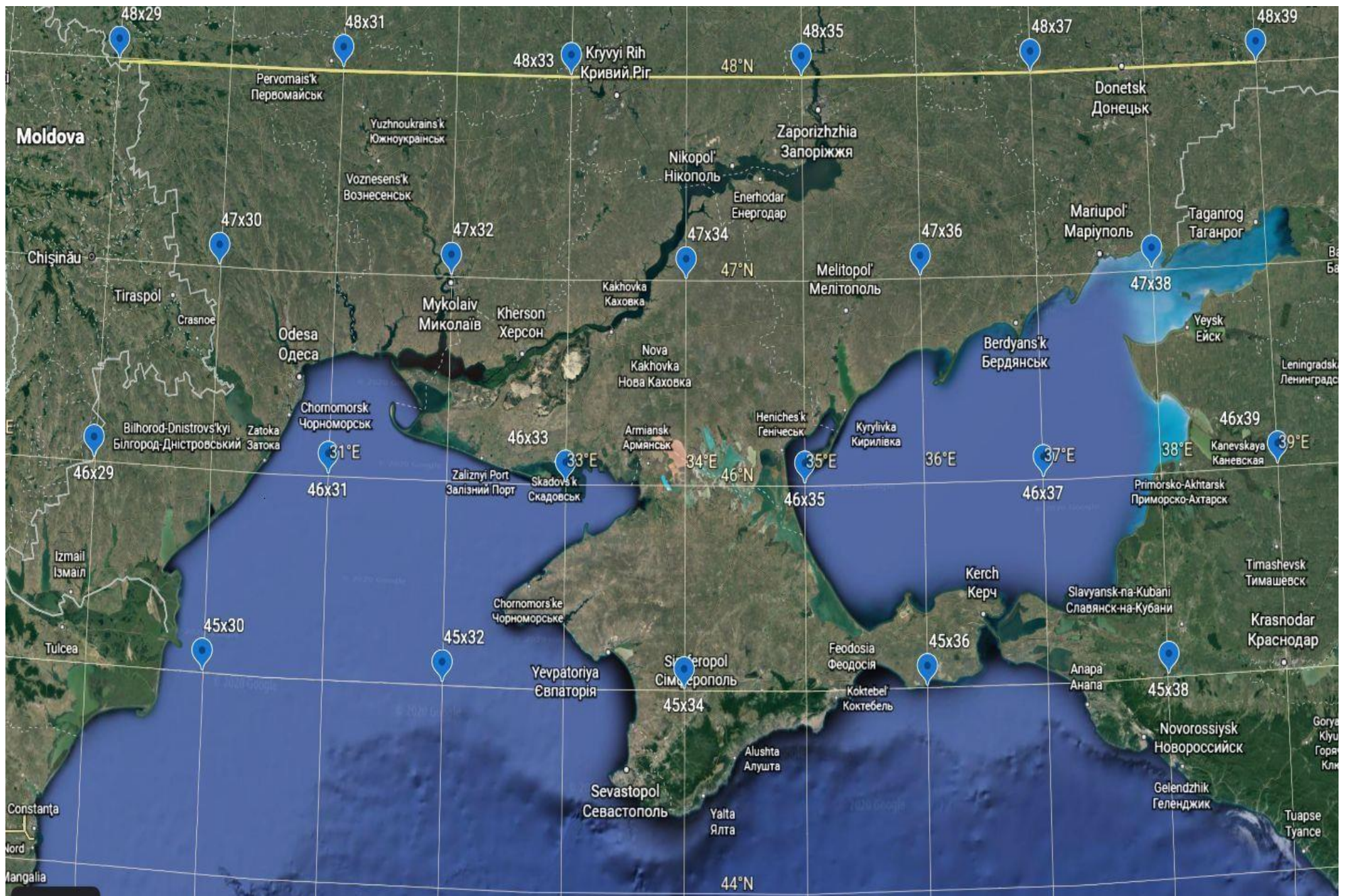


Рис.2.1. Досліджуваний регіон Півдня України, де  - вузол

Супутникові дані є достатньо точними для того, щоб забезпечити надійною інформацією про сонячні та метеорологічні ресурси регіони, де наземні спостереження є рідкісними або взагалі відсутні.

Актинометричні параметри отримані з архіву третьої версії програми NASA GEWEX/SRB та різних версій проекту NASA CERES FLASHFlux. Мета проекту NASA GEWEX/SRB полягає у визначенні потоків сонячної радіації, що надходять на підстильну поверхню, верхню межу атмосфери (TOA) та атмосферних короткохвильових (SW) та довгохвильових (LW) потоків з великою точністю.

Метеорологічні параметри отримані на основі моделі NASA GMAO MERRA-2 та GEOS 5.12.4 FP-IT. Версія 5.12.4 GEOS має таку ж роздільну здатність сітки, що і MERRA-2.

Сучасний ретроспективний аналіз для досліджень та застосувань - Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, версія 2 (MERRA-2) містить дані, починаючи з 1980 року. Він був введений для заміни первинного набору даних MERRA через досягнення системи асиміляції, що дозволяють отримати сучасну позаспектральну радіацію та мікрохвильові спостереження разом із наборами даних GPS-радіотіні. Він також використовує спостереження за озоновим профілем NASA, що розпочалися наприкінці 2004 р. Просторова роздільна здатність залишається приблизно такою ж (приблизно 50 км у широтному напрямку), як у MERRA.

MERRA-2 - це перший довгостроковий глобальний повторний аналіз даних, який отримав космічні спостереження за аерозолями та представив їх взаємодію з іншими фізичними процесами в кліматичній системі. MERRA-2 включає зображення крижаних покривів над (скажімо) Гренландією та Антарктидою.

Сумарна сонячна радіація (що включає також наявність хмарного покриву), взята з архіву супутникових спостережень - це сума дифузної та прямої радіації на горизонтальну поверхню. З точки зору спостереження, на горизонтальній поверхні знаходиться те випромінювання, яке залишається від променя Сонця, заблокованого

тіньовою смугою або відстежуючим диском. Для вимірювання дифузної радіації в нашому випадку затіняють піргеліометр, що обертається за Сонцем, смугою або диском, блокуючим пряму радіацію від Сонця. Подібним чином, з точки зору спостереження, величина прямої радіації сонячного променя, що потрапляє на перпендикулярну поверхню, як правило, вимірюється за допомогою піргеліометра, що відстежує положення Сонця протягом дня [37].

Піргеліометр — абсолютний прилад для вимірювання прямої сонячної радіації, що падає на поверхню, перпендикулярну сонячним променям. Принцип дії заснований на вимірюванні кількості тепла, що утворюється при поглинанні сонячного випромінювання. У сучасних піргеліометрах в якості сенсора використовуються термобатарей — ряд послідовно з'єднаних термоелементів (напівпровідникові елементи, що використовують термоелектричні явища) [12].

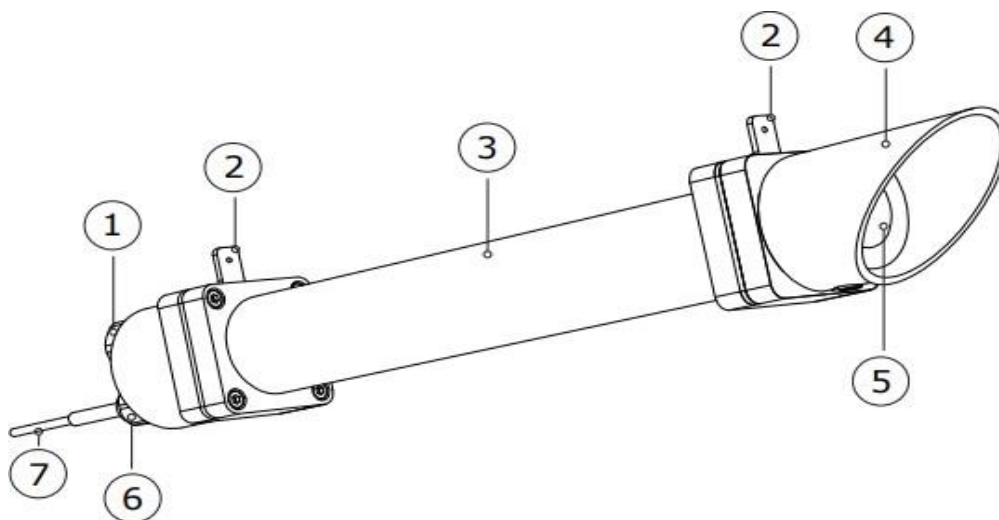


Рис.2.2. Малюнок піргеліометра: (3) корпус прибора, (4) захисний ковпачок, (5) вікно з обігрівачем, (2) приціл, (1) індикатор вологості, (7) кабель [12]

Середньодобовий приземний атмосферний тиск взятий безпосередньо з мережі MERRA-2 і представляє оцінку атмосферного тиску на висоті 2 м над підстильною поверхнею, усереднений за глобальною сіткою $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

Дані по кількості опадів взяті безпосередньо з моделі асиміляції MERRA-2 і представляють оцінку середньодобового значення для відповідної комірки сітки $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

Як і у випадку з актинометричними даними, інформація про кількість хмарного покриву на небосхилі спочатку генерується проектом "Внесок сонячного випромінювання" (SRB) на глобальній сітці $1^\circ \times 1^\circ$, а потім повторно масштабується до $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ шляхом копіювання значення 1° до чотирьох сіток по $0,5^\circ$ в межах однієї сітки 1° [37].

Дані по тривалості сонячного саява взяті з моделі ERA5. ERA5 надає погодинні оцінки великої кількості кліматичних параметрів атмосфери, суші та океану. Дані охоплюють Землю в 30-кілометровій сітці і визначають параметри атмосфери за допомогою 137 рівнів від поверхні до висоти 80 км. ERA5 включає інформацію про невизначені дані в зменшеному просторовому та часовому діапазоні [27].

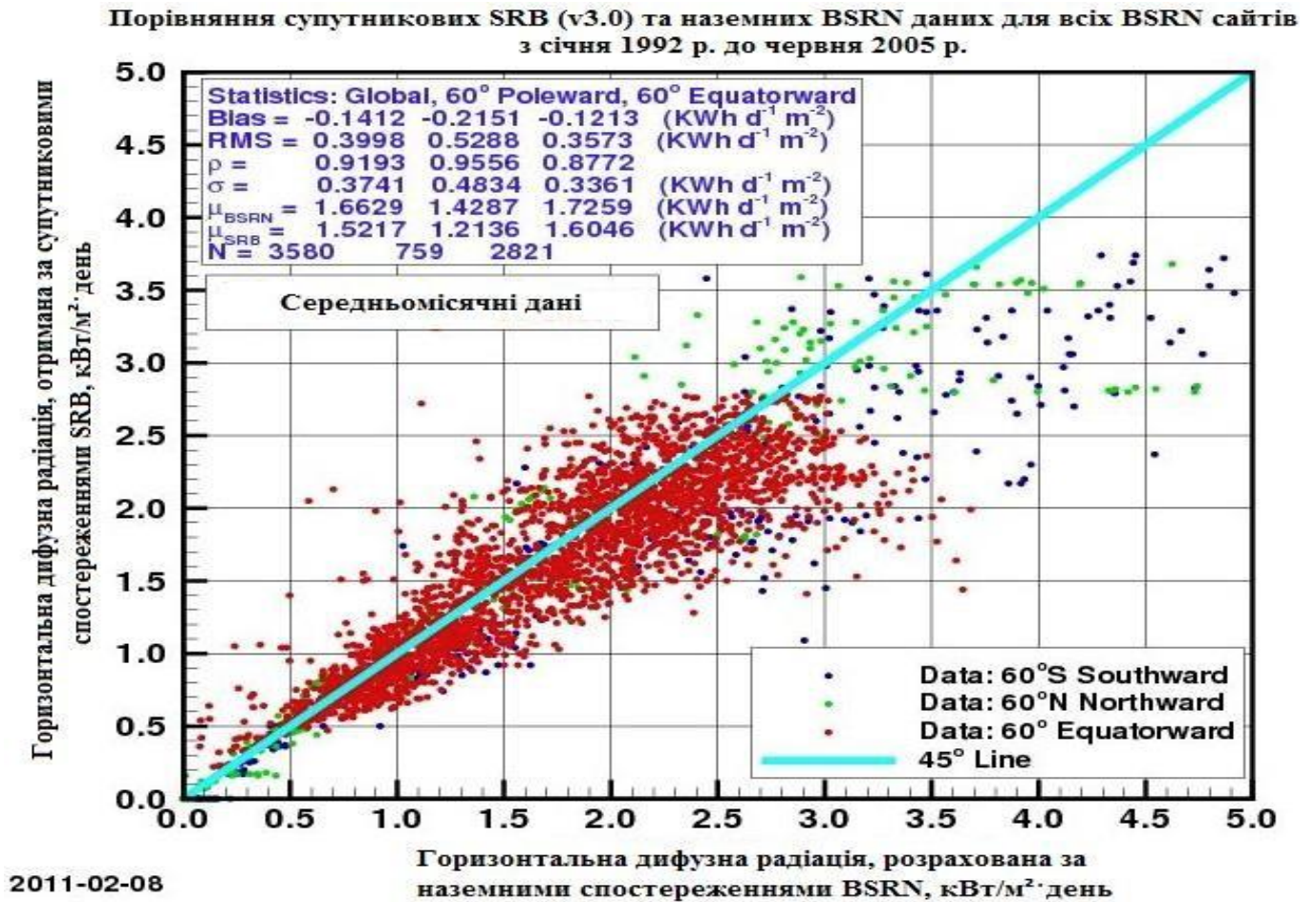


Рис.2.3. Діаграма розсіювання середньомісячної горизонтальної дифузноїрадіації, розрахованої на основі наземних спостережень BSRN та відповідноїрадіації, отриманої за супутниковими даними SRB версії 3.0[39].

На рис.2.3 наведено діаграму розсіювання середньомісячної горизонтальної дифузноїрадіації, розрахованої на основі наземних спостережень BSRN та відповідноїрадіації, отриманої за супутниковими даними SRB версії 3.0. Тут *Bias* - це різниця між математичним очікуванням (μ) відповідних значень сонячноїрадіації для SRB і BSRN; *RMS* - це середньоквадратична різниця між відповідними значеннями SRB і BSRN; ρ - коефіцієнт кореляції між значеннями SRB і BSRN; σ - дисперсія різниці SRB-BSRN; *N* - кількість пар SRB-BSRN, порівнянних для кожної широтної області [39].

Діаграма розсіювання показує дуже велику кореляцію, а, отже, залежність між даними, розрахованими на основі наземних спостережень, та супутниковими даними.

Відсутність даних оцінювалась шляхом інтерполяції найближчих часових відрізків та метеостанцій, якнайближче розташованих до визначених вузлів.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ ІНДЕКСУ ПРОЗОРСТІ АТМОСФЕРИ ТА ІНДЕКСУ ХМАРНОСТІ

Потік сонячної радіації на верхню межу атмосфери.

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери розрахована за формулою Пейджа – Прескотта [21]:

$$H_0 = \left(\frac{I_0}{R^2} \right) \cdot \left[1 + 0.33 \cos\left(\frac{360D_n}{365} \right) \right] \cdot \left(\cos\varphi \cos\delta \sin\theta + \frac{2\pi\theta_2}{360} \sin\varphi \sin\delta \right), (3.1)$$

де H_0 - сонячна радіація на верхню межу атмосфери, кВт/м²·день;

R^2 – квадрат відстані від Землі до Сонця за конкретний день року, розрахований за формулою (1.4)[15] та виходячи з формули[11]:

$$1/R^2 = 1 + 0.033 \cos \left(2\pi \frac{D_n}{365.25} \right); \quad (3.2)$$

I_0 – сонячна стала, 1.367кВт/м²;

D_n - день року, починаючи з 1 січня;

φ – кут географічної широти місцевості, °;

δ – кут схилення Сонця, °, визначається як [21]:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360(284 + D_n)}{365} \right] \quad (3.3)$$

θ_2 –годинний кут заходу Сонця, °, визначається як [21]:

$$\theta_2 = \cos^{-1}(-\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta) \quad (3.4)$$

Для конкретного місяця максимальну тривалість світлового дня S_0 можна визначити за формулою [21]:

$$S_0 = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta). \quad (3.5)$$

Дані розрахунку сонячної радіації на верхню межу атмосфери для кожного вузла Півдня України за календарне літо 1981 – 2020 рр. занесені до таблиць Е.1 – Е.22 Додатку Е.

Енергетичні втрати сонячної радіації в хмарній атмосфері

Виходячи із закону Буге-Ламберта-Бера, ослаблення сонячного випромінювання, яке проходить через всю товщу атмосфери, зменшується за експоненціальним законом. Втрати сонячної енергії в атмосфері, що обумовлені хмарністю, розраховувалися за формулою, що слідує із рівняння Ангстрема[21]:

$$ELC = \frac{1 - HS}{H_0 S_0}, \quad (3.6)$$

де ELC – енергетичні втрати в хмарній атмосфері (EnergyLossesintheClouds);

H - сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню, кВт/м²;

S - тривалість сонячного сяйва, год;

H_0 - сонячна радіація на верхню межу атмосфери, кВт/м²·день;

S_0 - тривалість дня, год.

Загальна хмарність оцінювалася ступенем ясності неба B (Brightness) як безрозмірна величина (1- n), де n -показник хмарності в десятих частках від одиниці.

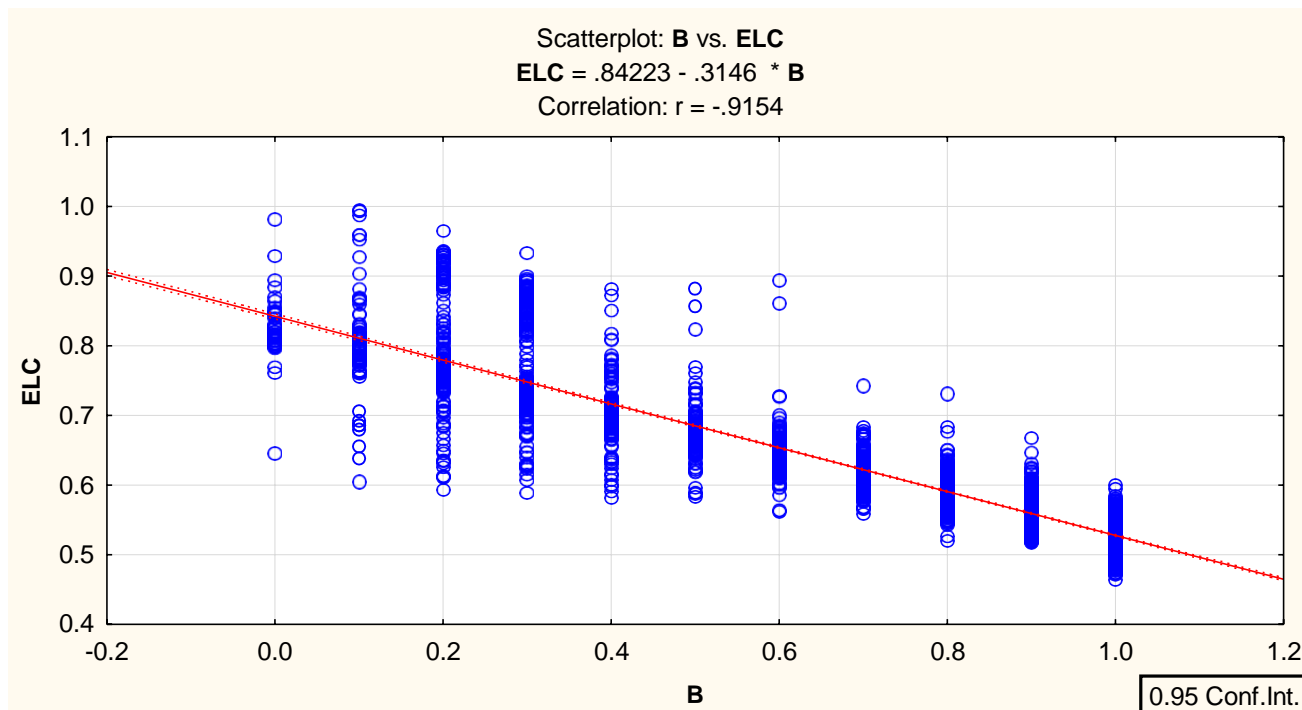


Рис.3.1. Залежність енергетичних втрат сонячної радіації від ступеня ясності неба

Проведена оцінка енергетичних втрат в хмарній атмосфері від ступеня ясності неба. Залежність $ELC = f(B)$ (рис.3.1) виявилася практично лінійною з коефіцієнтом кореляції 0.92. Енергетичні втрати зменшуються практично удвічі із зростанням ступеня ясності неба від 0 до 1.0.

Енергетичні втрати, що обумовлені хмарністю протягом календарного літа за період 1981 – 2020 рр. представлені для кожного вузла Півдня України (Додаток Е).

Індекс прозорості атмосфери

Середньодобовий індекс прозорості атмосфери розрахований за період календарного літа 1981 – 2020 років для кожного вузла Півдня України за наступним співвідношенням[28]:

$$K_t = \frac{H_s}{H_0}, \quad (3.7)$$

де K_t -середньодобовий індекс прозорості атмосфери;

H_s - табличне (вхідне) значення прямої сонячної радіації,кВт/м²;

H_0 - сонячна радіація на верхню межу атмосфери,кВт/м².

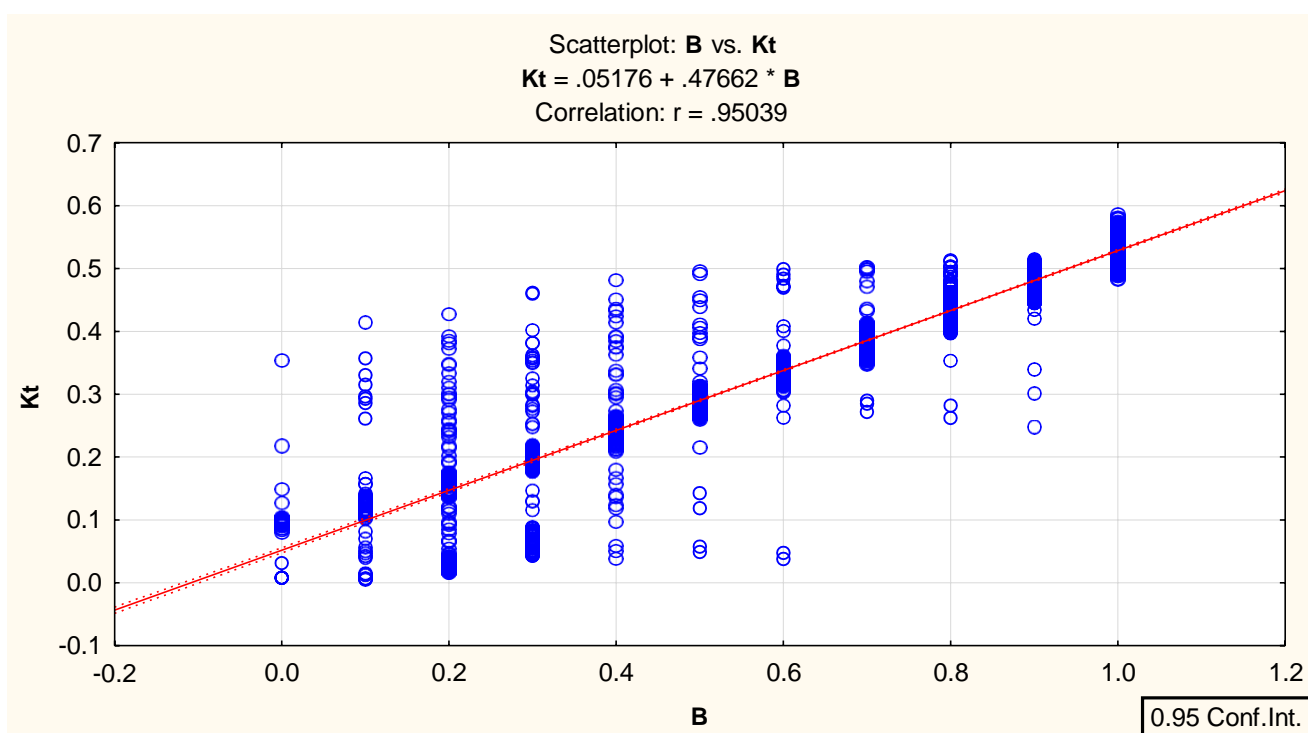


Рис.3.2. Залежність середньодобового індексу прозорості атмосфери від ступеня ясності неба

Середньодобовий індекс прозорості атмосфери має явно виражену лінійну зростаючу залежність від ступеня ясності неба (рис.3.2). Коефіцієнт парної кореляції (0.95) вказує, що статистична залежність між цими параметрами близька до функціональної.

Середньодобові індекси прозорості атмосфери розраховані для кожного вузла Півдня України за календарне літо 1981 – 2020 рр., які представлені в таблицях Ж.1 – Ж.22 Додатку Ж.

Середньомісячні значення індексу прозорості атмосфери розраховані для кожного місяця літа окремо та за весь літній сезон (Додаток 3). Індекс прозорості атмосфери за літній сезон осереднений за період 1981 – 2020 рр. склав 0.36.

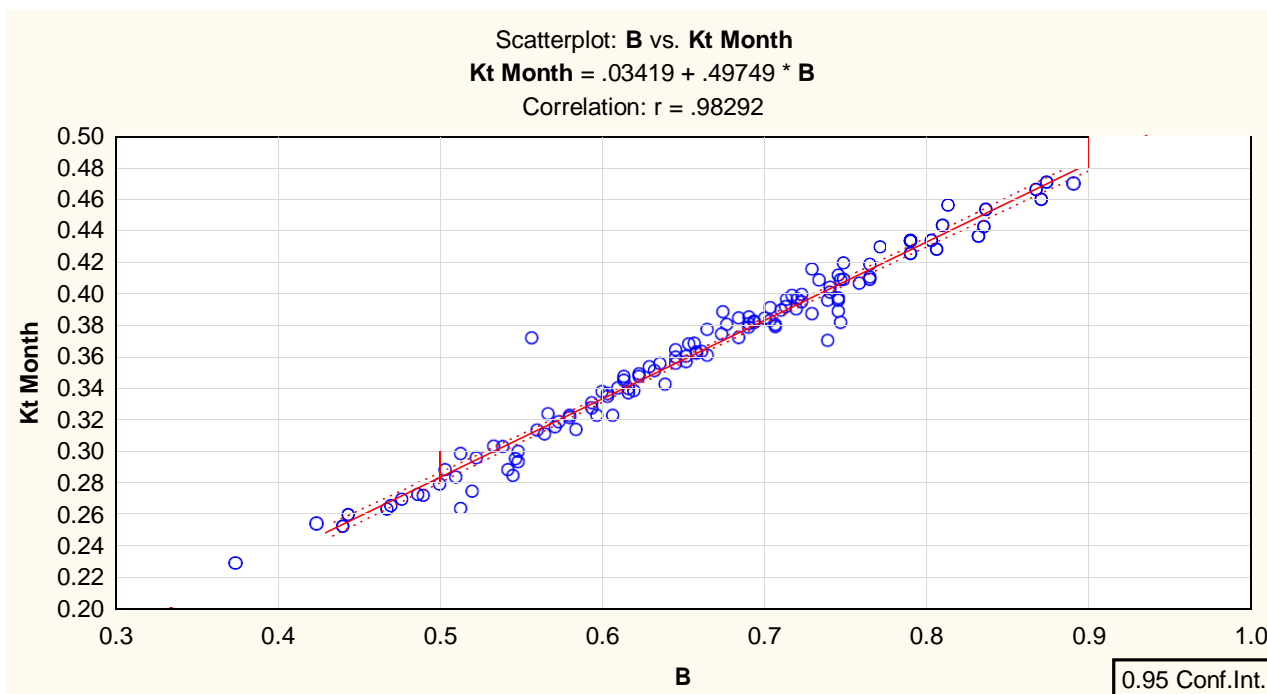


Рис.3.3. Залежність середньомісячного індексу прозорості атмосфери від ступеня ясності неба

Середньомісячний індекс прозорості атмосфери також має явно виражену лінійну зростаючу залежність від ступеня ясності неба (рис.3.3). Кореляційний зв'язок між досліджуваними параметрами виявився дуже сильним (0.98), це дозволяє зробити припущення, що між індексом прозорості атмосфери та ступенем ясності неба існує лінійний функціональний зв'язок.

Оцінка прямої сонячної радіації за ступенем ясності неба

В залежності від ступеня ясності неба розраховано значення прямої сонячної радіації за вищевказані періоди для кожного вузла Півдня України, виходячи з

отриманої нелінійної регресійної залежності між прямою радіацією та ступенем ясності неба:

$$H_S = H_0 * [2.65(1 - n)^2 - 2.14(1 - n)^3], \quad (3.8)$$

де H_S – значення прямої сонячної радіації, кВт/м²;

H_0 - сонячна радіація на верхню межу атмосфери, кВт/м²;

Відносна похибка E (Додаток Ж) розрахункового значення прямої сонячної ($H_S^{calculat}$) радіації визначалася на основі порівняння з емпіричними значеннями ($H_S^{empirical}$), отриманими із супутникових спостережень, за наступною формулою

$$E = \frac{H_S^{empirical} - H_S^{calculat}}{H_S^{empirical}} \cdot 100\%, \quad (3.9)$$

Дані результатів відносної похибки у залежності від загальної кількості хмарного покриву на небосхилі занесені до таблиць Ж.1 – Ж.22Додатку Ж.

Визначена середня відносна похибка прямої сонячної радіації при відповідній хмарності.Згідно з проведених розрахунків, можна зробити висновок, що для всіх вузлів Півдня України протягом календарного літа 1981-2020 рр. середня відносна похибка склала близько 20 %. Загалом відносна похибка має тенденцію зменшуватися із збільшенням ступеня ясності неба.

Індекс хмарності

Середньодобовий індекс хмарності K_d розрахований для кожного вузла Півдня України за період календарного літа 1981 – 2020 років за формулою [28]:

$$K_d = \frac{D}{H} \quad (3.10)$$

де K_d -середньодобовий індекс хмарності;

D -розсіяна сонячна радіація, кВт/м²;

H - сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню,кВт/м².

На рис.3.4представлена залежність середньодобового індексу хмарності атмосфери від ступеня ясності неба. Кореляція між цими параметрами дуже сильна

(0.91). Середньодобовий індекс хмарності атмосфери зменшується із зростанням ступеня ясності неба.

Дані розрахунку середньодобового значення індексу хмарності для кожного вузла Півдня України періоду календарного літа 1981 -2020 років занесені до таблиць Ж.1 – Ж.22 Додатку Ж.

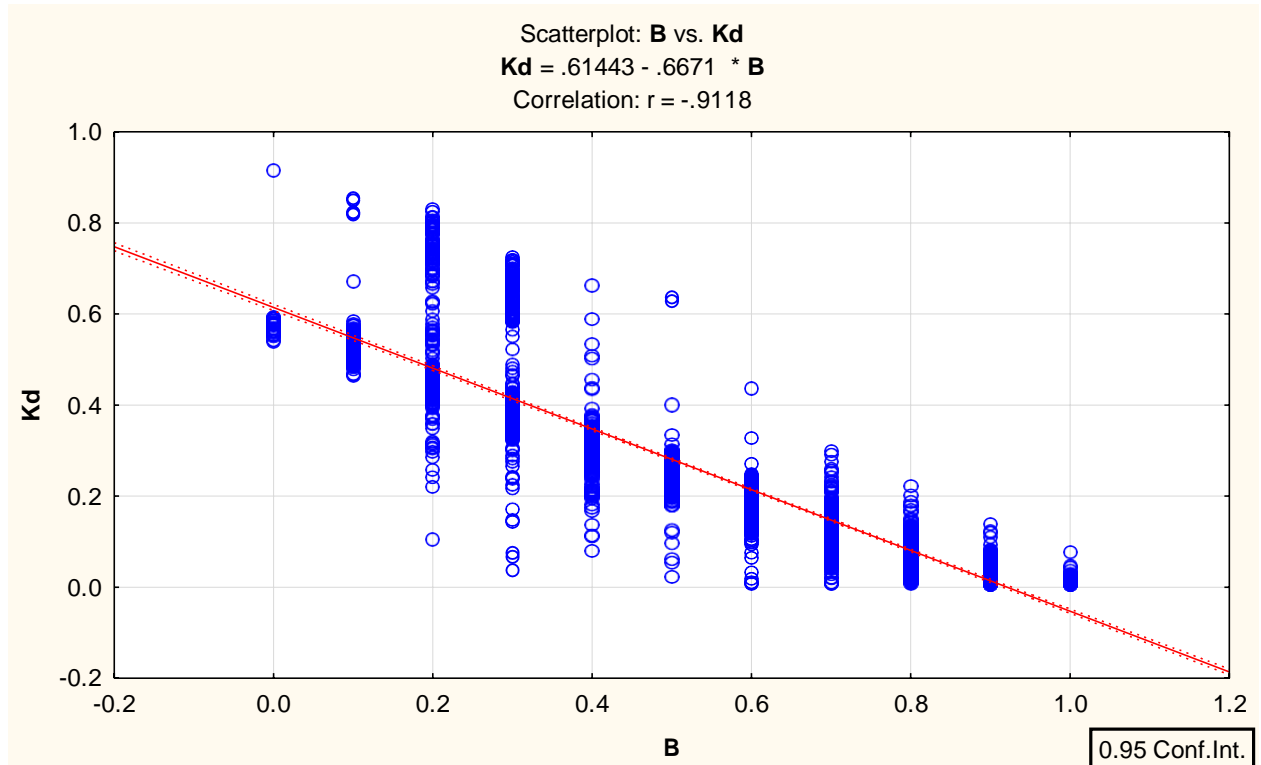


Рис.3.4 Залежність середньодобового індексу хмарності атмосфери від ступеня ясності неба

На рис.3.5 представлена залежність середньомісячного індексу хмарності атмосфери від ступеня ясності неба. Залежність між досліджуваними параметрами дуже велика (0.93). Середньомісячний індекс хмарності атмосфери зменшується із зростанням ступеня ясності неба.

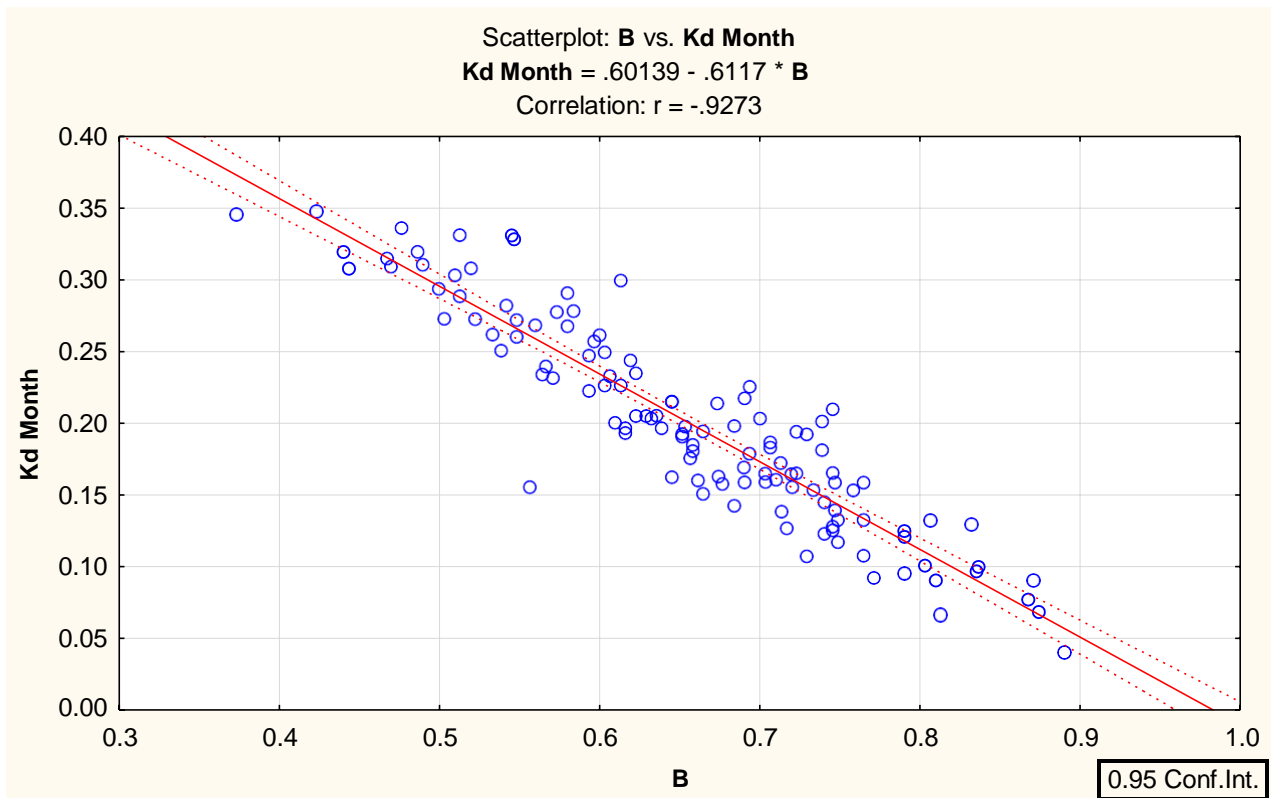


Рис.3.5 Залежність середньомісячного індексу хмарності атмосфери від ступеня ясності неба

Середньомісячні значення індексу хмарності для кожного місяця календарного літа окремо та за весь літній період, розраховані для всіх вузлів сітки Півдня України (Додаток К). Індекс хмарності для літа за весь період 1981 – 2020 рр. склав 0.2.

Порівняння індексу прозорості атмосфери та індексу хмарності

Знайдена залежність як для середньодобових, так і для середньомісячних значень індексу хмарності та індексу прозорості атмосфери для кожного вузла Півдня України за період календарного літа 1981 - 2020 рр. (Додаток Л).

Для середньодобових значень даної залежності індексу хмарності та індексу прозорості атмосфери має місце дуже велика кореляція із відповідним коефіцієнтом $r=0.9$ (рис.3.6). Чим більше значення індексу прозорості атмосфери, тим менше значення індексу хмарності, а отже чим більша прозорість атмосфери, тим менша

хмарність і тим більший внесок саме прямої сонячної радіації та менший розсіяної у сумарну сонячну радіацію. Причому більшість значень на діаграмі розсіювання знаходиться в довірчому інтервалі нормальної довірчої ймовірності у межах 95% рівня забезпеченості. Саме у межах цих значень можна провести уявний еліпс розсіювання на відповідній діаграмі.

Для середньомісячних значень залежності індексу хмарності та індексу прозорості атмосфери теж має місце дуже велика кореляція із відповідним коефіцієнтом $r=0.9$ і аналогічно попереднім результатам, чим більше значення індексу прозорості атмосфери, тим менше значення індексу хмарності. Отже, для середньомісячних значень даної залежності, також аналогічно попереднім результатам, чим більша прозорість атмосфери, тим менша хмарність і тим більший внесок саме прямої сонячної радіації та менший розсіяної у сумарну сонячну радіацію.

Також як для кожного вузла окремо, так і для всіх вузлів загалом на території Півдня України за календарне літо 1981-2020 років із врахуванням загальної кількості хмарного покриву на небосхилі знайдені відповідні кожному балу даної хмарності значення середньодобового індексу прозорості атмосфери та індексу хмарності. Як для кожного вузла окремо, так і для всіх вузлів загалом знайдені середні значення індексу прозорості атмосфери та індексу хмарності у відповідності до кожного балу загальної кількості хмарного покриву на небосхилі (Додатки М та Н).

Крім цього, як для кожного вузла Півдня України, так і для всіх вузлів в цілому, створена залежність індексу хмарності та індексу прозорості атмосфери у залежності від загальної кількості хмарного покриву на небосхилі за період календарного літа 1981 - 2020 років та залежність середніх значень даних індексів від загальної кількості хмарного покриву на небосхилі за вказаний період часу на території Півдня України.

Дані залежності подані у вигляді діаграм розсіювання різних типів:

- перший (Рис.3.6 – Рис.3.16)– звичайні 2Dдіаграми розсіювання, які створені окремо для кожного балу хмарності в залежності від індексу хмарності та індексу прозорості атмосфери;

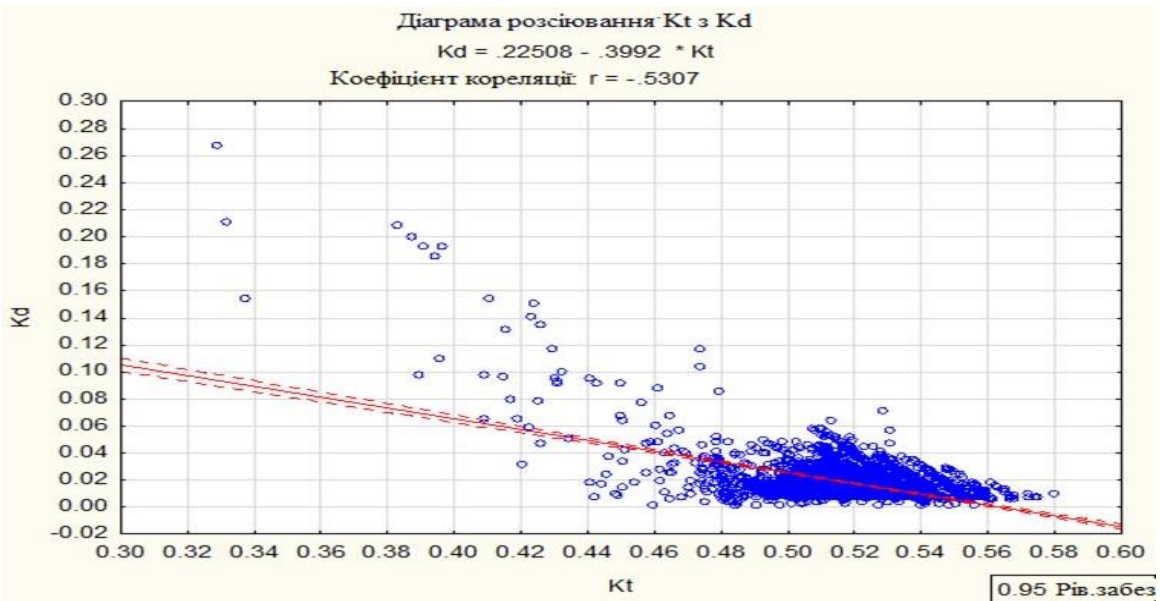


Рис.3.6. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **0 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

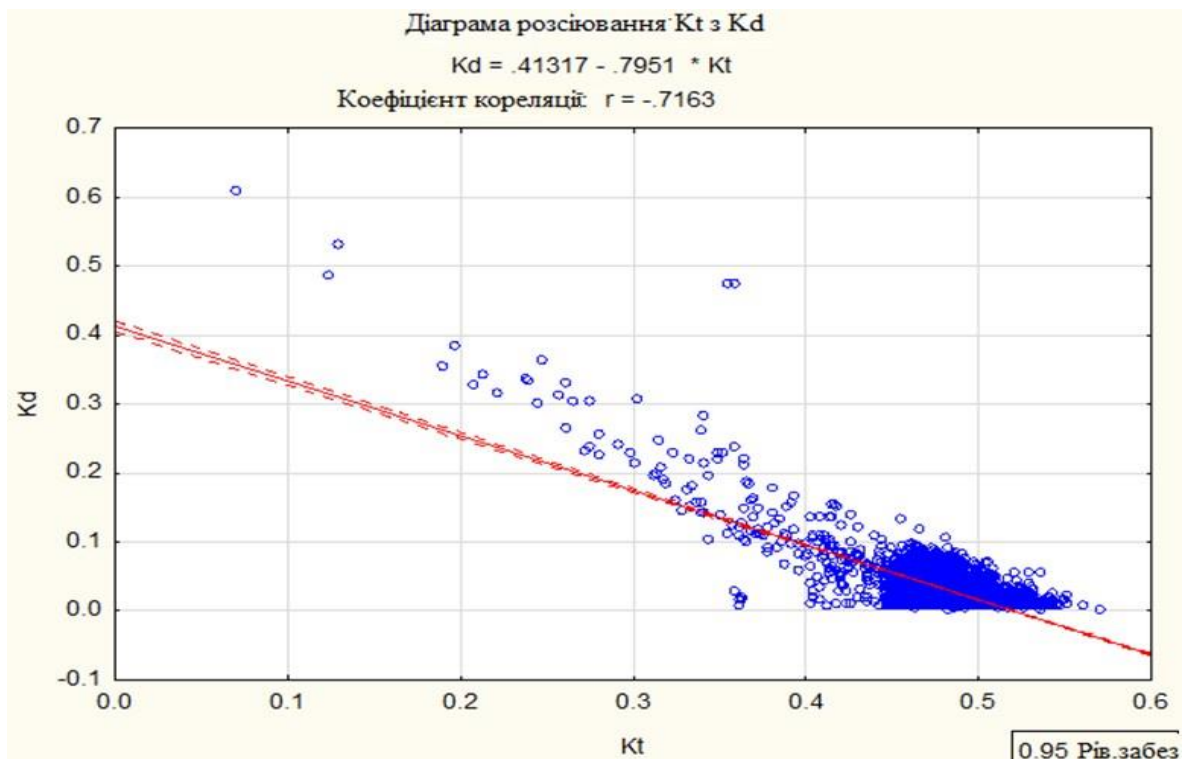


Рис.3.7. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **1 балу** кількості хмарного покриву на небосхилі

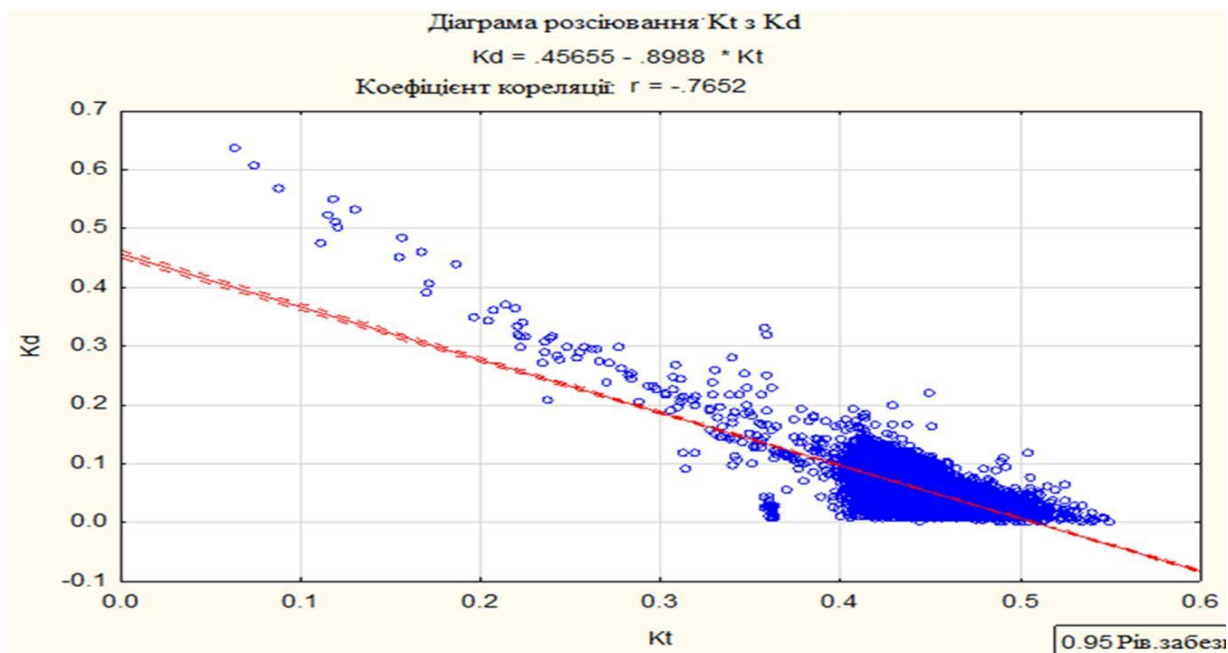


Рис.3.8. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **2 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

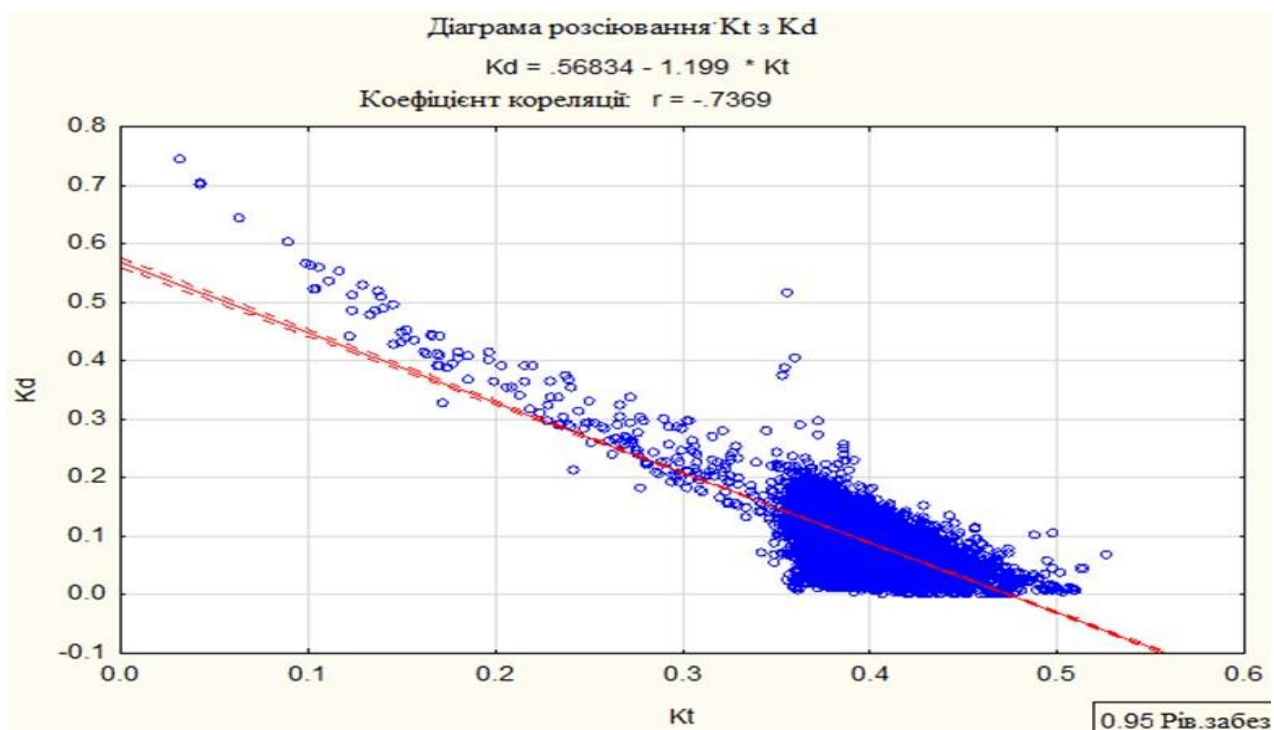


Рис.3.9. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови 3 балів кількості хмарного покриву на небосхилі

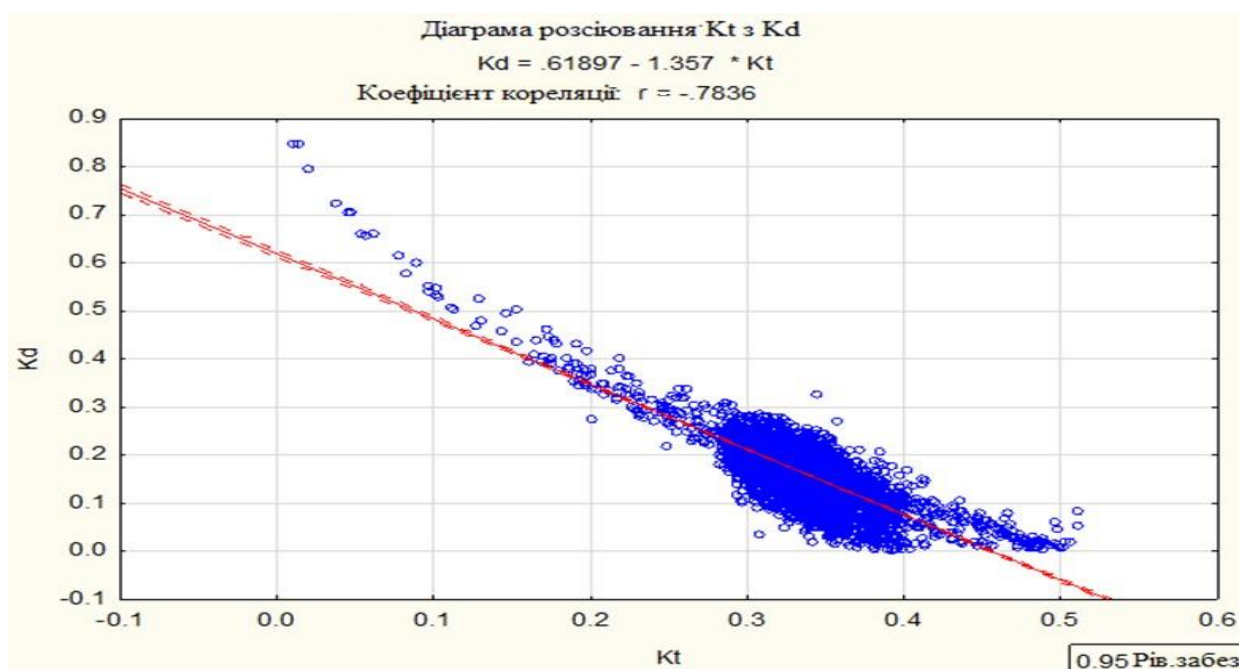


Рис.3.10. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **4 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

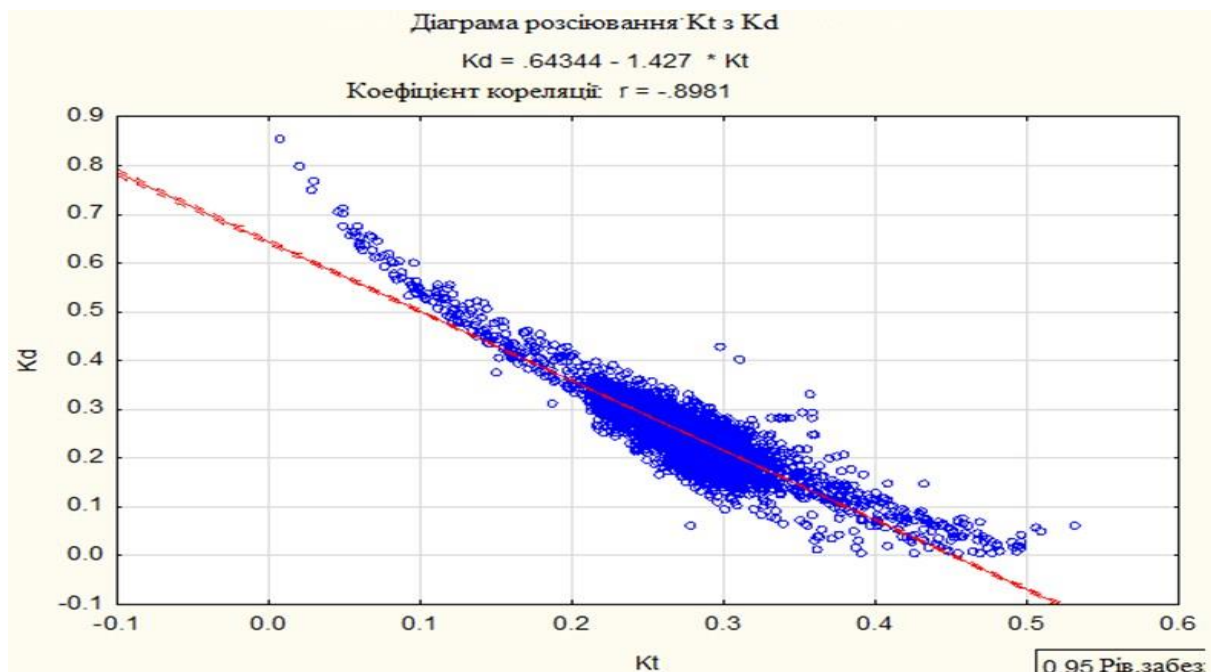


Рис.3.11. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **5 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

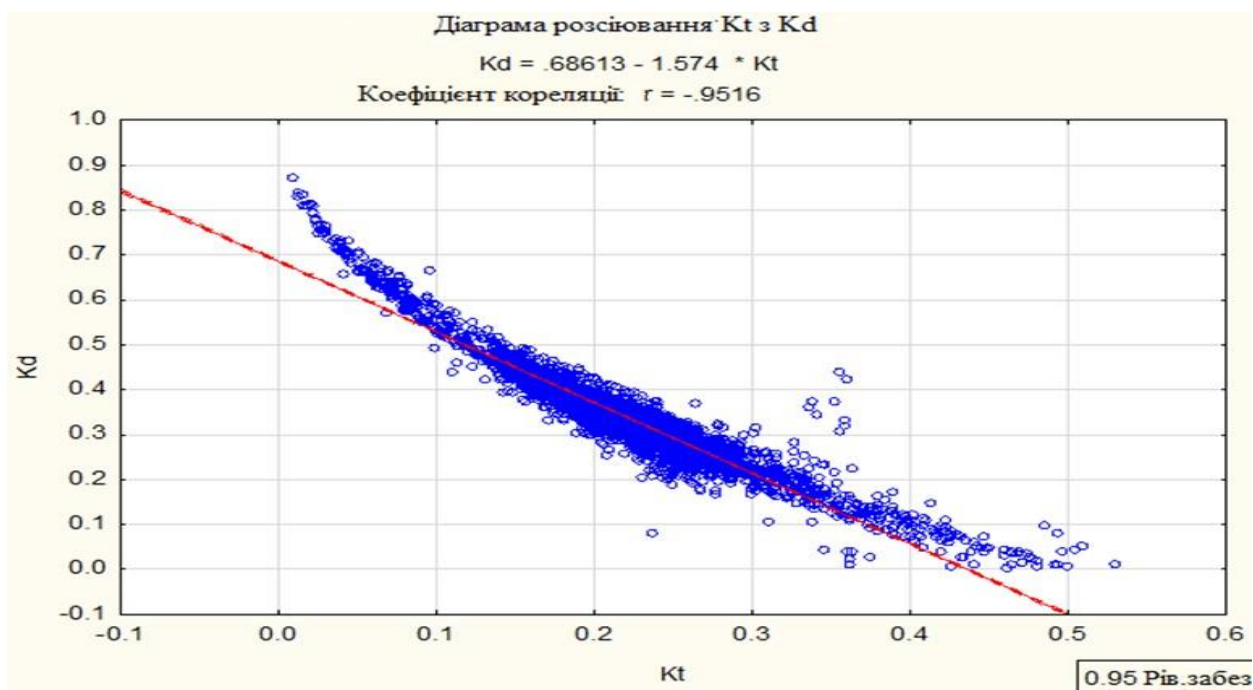


Рис.3.12. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **6 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

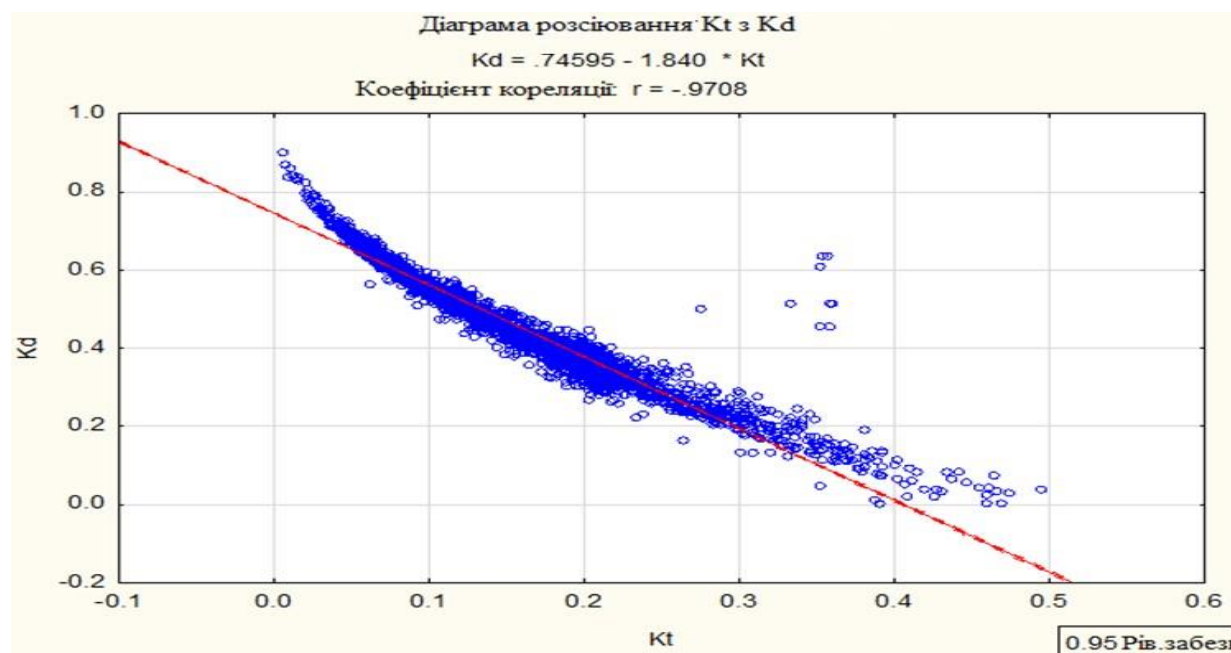


Рис.3.13. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **7 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

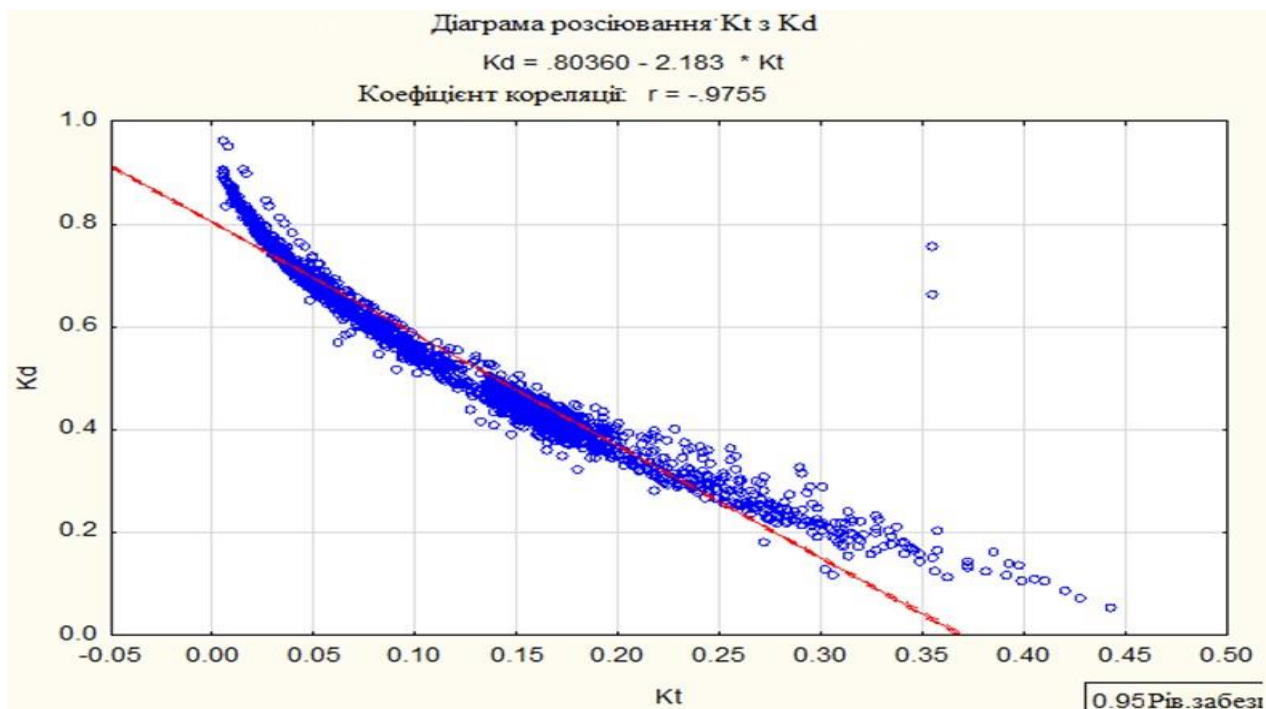


Рис.3.14. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **8 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

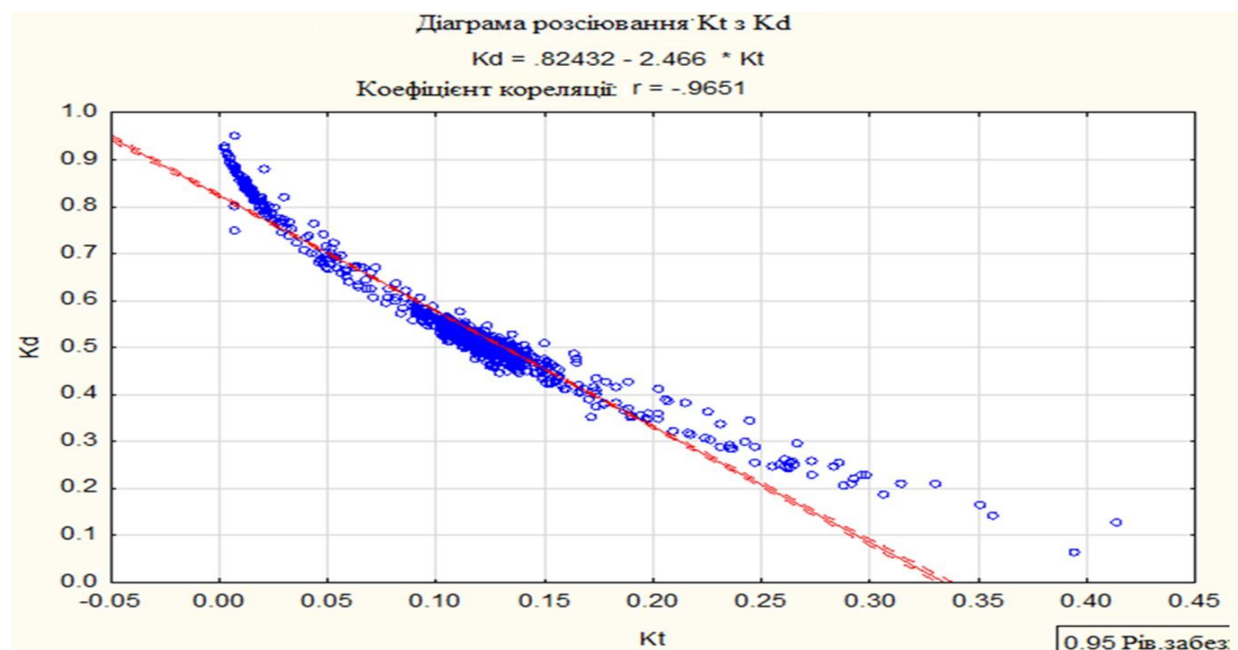


Рис.3.15. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **9 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

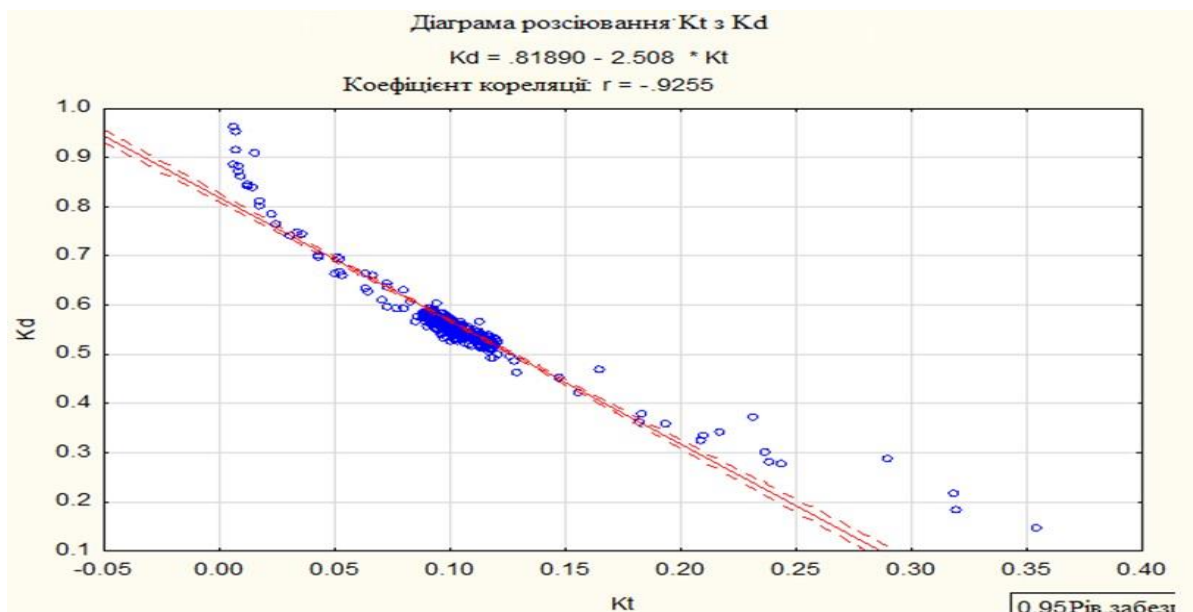
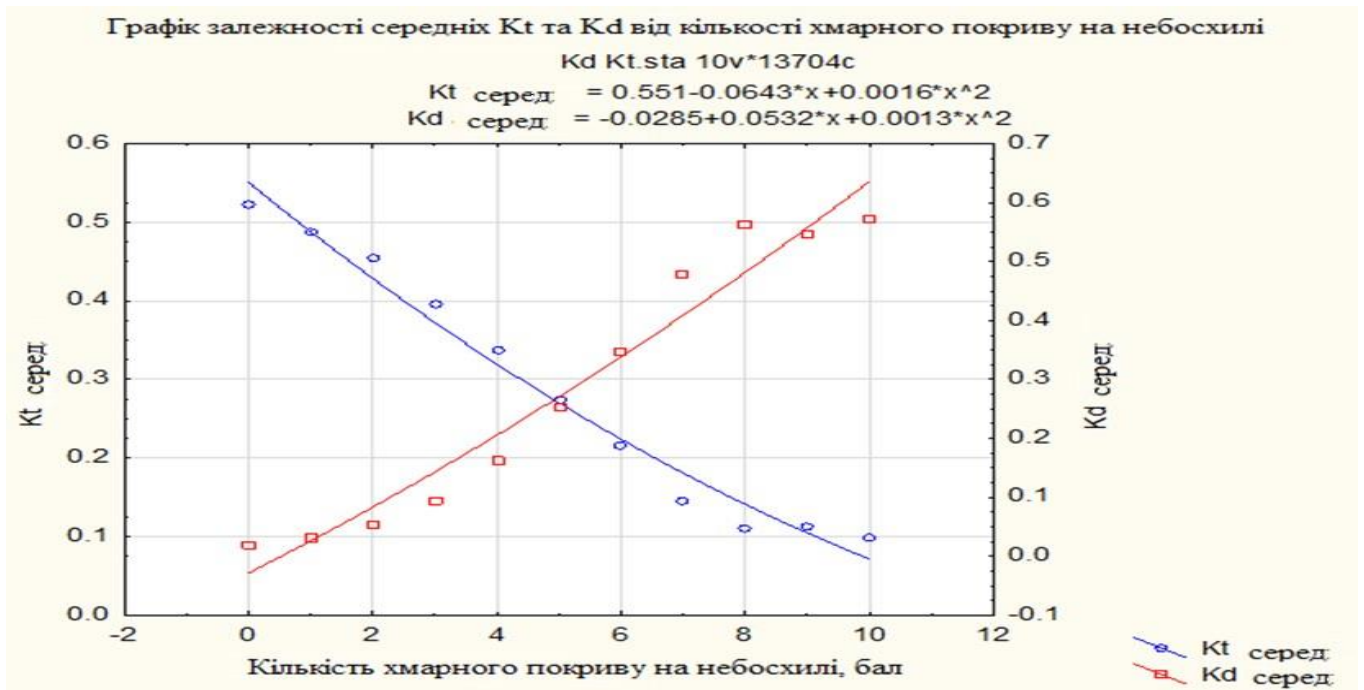


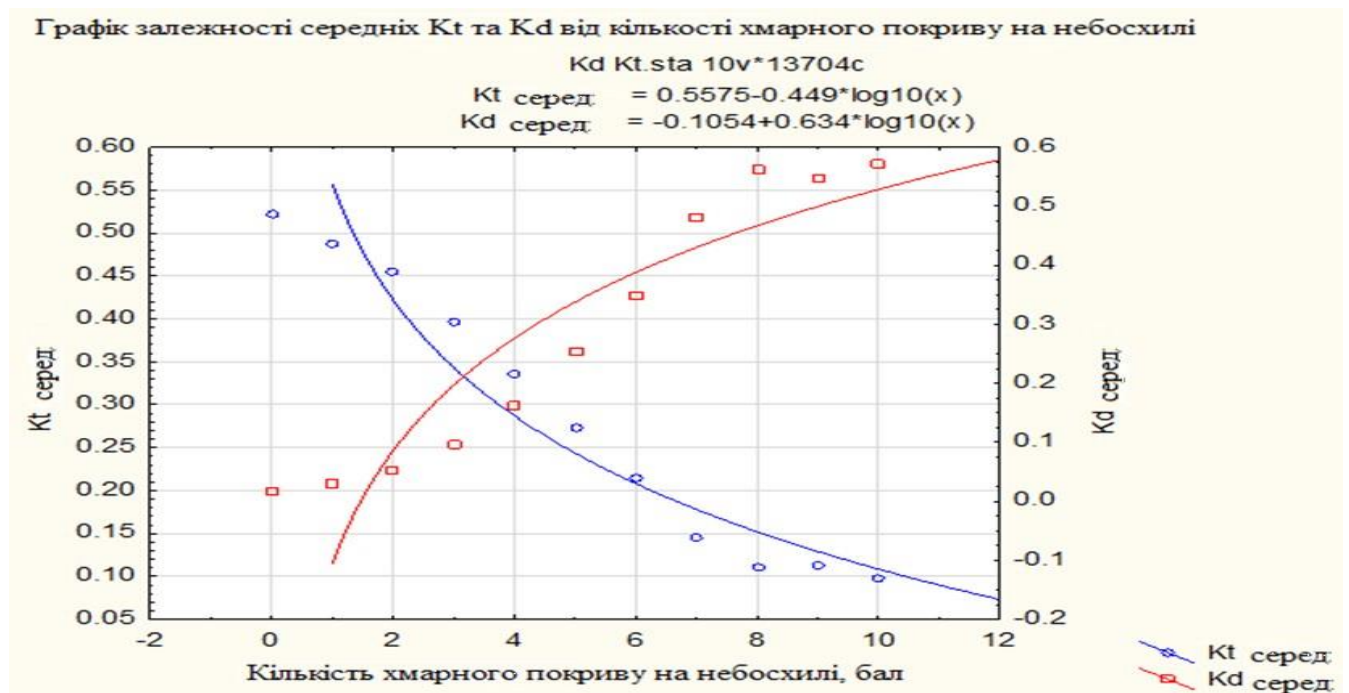
Рис.3.16. Діаграма розсіювання середніх значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d за період календарного літа 1981 – 2020 років на території Півдня України за умови **10 балів** кількості хмарного покриву на небосхилі

- другий (Рис.3.18) - діаграми розсіювання виду подвійної осі ординат у: ліва частина осі у – середнє значення індексу прозорості атмосфери; права – середнє значення індексу хмарності, а вісь абсцис x – загальна кількість хмарного покриву на небосхилі. Причому ці діаграми розсіювання створені при врахуванні поліноміального згладжування та логарифмічного згладжування, оскільки саме ці види функцій і відповідні їм згладжування найкраще описують залежність з поміж інших.

Згідно побудованих діаграм розсіювання, можна зробити такий висновок даної залежності, що як для кожного вузла Півдня України, так і для всіх вузлів загалом періоду календарного літа, чим менша загальна кількість хмарного покриву на небосхилі, тим вище значення індексу прозорості атмосфери та нижче значення індексу хмарності і навпаки – чим більша загальна кількість хмарного покриву на небосхилі, тим нижче значення індексу прозорості атмосфери і водночас вище значення індексу хмарності.



(a)



(б)

Рис.3.17. Графік залежності середніх за весь період календарного літа 1981 – 2020 років значень індексу прозорості атмосфери K_t та індексу хмарності K_d від кількості хмарного покриття на території Півдня України – поліноміальне (а) та логарифмічне (б) згладжування

Таким чином абсолютний максимум індексу прозорості атмосфери має місце при ясній погоді із абсолютним мінімумом загальної кількості хмарного покриву на небосхилі, що дорівнює 0 балів при якому спостерігається абсолютний мінімум індексу хмарності, а абсолютний мінімум індексу прозорості атмосфери спостерігається при абсолютному максимумі загальної кількості хмарного покриву на небосхилі, що дорівнює 10 балів і відповідає суцільній хмарності, при якій спостерігається абсолютний максимум індексу хмарності. Це відображено на діаграмах розсіювання різних видів, про які сказано вище (Рис.3.6 – Рис.3.17).

Отже, максимальний геліопотенціал території Півдня України має місце при наявності абсолютного максимуму індексу прозорості атмосфери та абсолютного мінімуму індексу хмарності при наявності у свою чергу ясної погоди. Такий розподіл присутній, оскільки прозорість атмосфери найвища, а хмарність найменша і при цьому, за рахунок найвищої прямої сонячної радіації, що має місце при такому розподілі, формується найвища сумарна сонячна радіація, що формує найвищу сонячну енергію і відповідний їй найвищий геліопотенціал території Півдня України (як відомо, пряма сонячна радіація вища, ніж розсіяна, а тому сумарна сонячна радіація у випадку наявності прямої найвища). У протилежному ж випадку навпаки: мінімальний геліопотенціал території Півдня України має місце при наявності абсолютного максимуму індексу хмарності і мінімуму індексу прозорості атмосфери та наявності відповідної їм суцільної хмарності.

ВИСНОВКИ

1. Критеріями оцінювання геліоресурсу даної території є інтенсивність сонячної радіації, що досягає горизонтальної поверхні, тривалість сонячного сяйва, характеристики підстильної поверхні (альbedo), що впливають на радіаційні потоки, процеси хмароутворення.

2. Територія Півдня України знаходиться в широтному поясі, сприятливому для розгортання об'єктів сонячної енергетики, оскільки отримує найвищі за інтенсивністю потоки сонячної радіації у порівнянні з іншими регіонами України.

3. Енергетичні втрати в хмарній атмосфері суттєво впливають на геліоресурс даної території. За оцінками літнього сезону вони складають 64 %.

4. Побудовані нелінійні регресійні моделі, які дозволяють оцінити пряму сонячну радіацію, що падає на горизонтальну поверхню в даній локації, виходячи лише з стану хмарного покриву (ступені ясності неба) та сонячної радіації на верхній межі атмосфери. Похибка не перевищує 20%.

5. Індекси прозорості та хмарності атмосфери виявилися ефективними критеріями оцінки геліоресурсу для даної локації.

6. Розраховані значення індексів прозорості та хмарності атмосфери в літній сезон за період 1981 – 2020 рр. свідчать про перспективи території Півдня України для розвитку геліоенергетики, оскільки інтегральний коефіцієнт прозорості перевищує відповідний коефіцієнт хмарності, незважаючи на те, що повторюваність абсолютно безхмарного неба складає менше 10%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Будько В. І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії / В. І. Будько – серія навчально-методичних матеріалів – Київ: ЮНІДО, 2015. – 49 с.
2. Возняк О. Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні / О. Т. Возняк, М. Є. Янів // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Теорія і практика буд-ва. - 2010. - N 664. - С. 7-10.
3. Врублевська О. О. Кліматологія: підручник / О. О. Врублевська, Г. П. Катеруша, Л. Д. Гончарова; МОН України; Одес. держ. еколог. ун-т. — Одеса: Екологія, 2013.- 344 с.
4. Дмитренко Л.В., Барандіч С.Л. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні Наук. праці УкрНДГМІ, 2007, Вип. 256.
5. Дмитренко Л.В. Регіональні зміни прямої сонячної радіації / Наук. праці УкрНДГМІ. –2002. –Вип. 250.
6. Дробишева В. П. Сучасний стан використання відновлювальних джерел енергії в Україні [Електронний ресурс] / В. П. Дробишева, К. П. Токар, Г. А. Федоренко // Науковий вісник будівництва. - 2014. - № 1. - С. 165-168. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2014_1_44.
7. Кожем'яко В.П. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В.П. Кожем'яко, О.Г. Домбровський, В.Ф. Жердецький, В.І. Маліновський, Г.В. Притуляк // Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях – 2011 – С. 141-157.
8. Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / С.О. Кудря, Л.В. Яценко, Г.П. Душина, Л.Я. Шинкаренко та ін // – К., 2001. – 41 с.
9. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. – 495 с.

10. Малеев В.О. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні / В.О. Малеев, В.М. Безпальченко, Д.С. Макарчук // Актуальні проблеми сучасної енергетики: матеріали II-ої Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. – Херсон : ХНТУ, 2017. – С.74–70.
11. Пашинский В.А., Бутько А.А., Черкасова А.А. Оценка падающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность территории в условиях Республики Беларусь. Экологический вестник. 2015. № 2(32). С. 77-82.
12. Піргеліометр. [Електронний ресурс] Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Піргеліометр>
13. Саратов І.Ю., Дядін Д.В. Метеорологія і кліматологія. Конспект лекцій / Харків, ХНАМГ – 2009
14. Скришевський В. А. Що таке сонячна енергетика і чи потрібна вона сьогодні Україні? [Електронний ресурс] / В. А. Скришевський // Країна знань : Науково-популярний журнал для юнацтва. - 2002. - N7/8. - С. 12-16. Режим доступу:
<http://iht.univ.kiev.ua/Ukraine-Solar-cells-article>.
15. Сніжко С.І., Паламарчук Л.В., Затула В.І. Метеорологія підручник / С. І. Сніжко, Л. В. Паламарчук , В. І. Затула. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 592 с.
16. Сонячна_радіація [Електронний ресурс]. Wikipedia. Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%Сонячна_радіація
17. Стоян О.Ю. Державне регулювання розвитку сонячної енергетики в Україні: від теорії до практики / О.Ю. Стоян // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"]. Серія : Державне управління. - 2014. - Т. 239, Вип. 237. - С. 124-130.
18. Фаренбрук А. Солнечные элементы. Теория и эксперимент / А. Фаренбрук, Р. Бьюб. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.

19. Ю. Ель Хадрі. Вітро- та геліоенергетичні ресурси Марокко під впливом кліматичних змін // Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Науковий керівник: Хохлов В.М., доктор географічних наук, професор. – Одеса, 2019.
20. Absorption and scattering of solar radiation in the atmosphere [Internet] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0074614208606786>
21. A. K. Katiyar and C. K. Pandey. A Review of Solar Radiation Models—Part I. Department of Applied Sciences & Humanities, Institute of Engineering & Technology, Gautam Buddh Technical University, Lucknow 226021, India, 2013
22. Calculation of Solar Insolation [Internet]. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>
23. Christiana Honsberg and Stuart Bowden. Atmospheric Effects [Internet] URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/atmospheric-effects>
24. Christoffer Rasmussen, Linde Frölke, Peder Bachera, Henrik Madsen, Carsten Rodeb. Semi-parametric modelling of sun position dependent solar gain using B-splines in grey-box models. *Solar Energy* 195 (2020) 249–258.
25. Djelloul Djafer, Abdanour Irbah. Estimation of atmospheric turbidity over Ghardaïa city. *Atmospheric Research*, Elsevier, 2013, 128, pp.76-84.
26. Eka Dewi A. Handoyo, Djatmiko Ichsania, Prabowo. The optimal tilt angle of a solar collector / Indonesian Institute of Sciences. *Energy Procedia* 32 (2013) 166 – 175. [Internet] URL: <https://www.sciencedirect.com/>
27. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ECMWF [Internet]. URL: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>
28. F. Scarpa*, A. Marchitto, L.A. Tagliafico. Splitting the solar radiation in direct and diffuse components; insights and constraints on the clearness-diffuse fraction representation. Genoa, Italy 2, June 2017.
29. G. L'opez and F. J. Batlles. Estimate of the atmospheric turbidity from three broadband solar radiation algorithms. / A comparative study. - Huelva, Spain, 7 September 2004.

30. Idowu, O.S., Olarenwaju, O.M. & Ifedayo, O.I. Determination of optimum tilt angles for solar collectors in low-latitude tropical region. *Int J Energy Environ Eng* 4, 29 (2013). [Internet] URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-4-29>
31. International Energy Agency. 2014 Key World Energy Statistics. - 2014. pp. 6, 24, 28. Archived (PDF) from the original on 5 May 2015.
32. International Energy Agency. Solar Energy Perspectives: Executive Summary. - 2011. Archived from the original (PDF) on 3 December 2011.
33. IS-ENES. Infrastructure for the European network for Earth system modelling. Exploring climate model data. [Internet] URL: <https://climate4impact.eu/impactportal/data/esgfsearch.jsp#project=CORDEX-Adjust&>
34. J. Jurasz, F.A. Canales, A. Kies, M. Guezgouz, A. Beluco. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions / *Solar Energy* Volume 195, 1 January 2020, Pages 703-724 [Internet]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X19311831>
35. JimDunlop. SolarRadiation: 2 – 1, 2012 [Internet] URL: <http://ecgllp.com/files/3514/0200/1304/2-Solar-Radiation.pdf>
36. John Page. The Role of Solar-Radiation Climatology in the Design of Photovoltaic Systems. *Practical Handbook of Photovoltaics (Second Edition)*, 2012 [Internet] URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/diffuse-radiation>
37. NASA. Atmospheric Science Data Center. [Internet]. 2015. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>
38. NASA. Earthdata. [Internet]. URL: <https://search.earthdata.nasa.gov>
39. POWER Data Methodology [Internet]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/solar/irradiance/>
40. Ramez Abdallah, Adel Juaidi, Salameh Abdel-Fattah and Francisco Manzano-Agugliaro. Estimating the Optimum Tilt Angles for South-Facing Surfaces in Palestine - 1 February 2020 [Internet] URL: <https://doi.org/10.3390/en13030623>

41. Seyed Abbas Mousavi Maleki, H. Hizam and Chandima Gomes. Estimation of Hourly, Daily and Monthly GlobalSolar Radiation on Inclined Surfaces:Models Re-Visited / Centre of Advanced Power and Energy Research (CAPER), Universiti Putra Malaysia, 43400 Selangor, Malaysia – 22 January 2017
42. Solar collector. [Internet]
URL:https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_collector
43. Solar collectors. [Internet]
URL:https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/solco_training_solar_collectors_en.pdf
44. Solar collectors. [Internet] URL:http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-03/zero_emission_bldgs/descripsolarcollectors.htm
45. Solar Insolation Levels[Internet]. URL:
https://www.apricus.com/html/solar_collector_insolation.htm
46. Solar irradiance [Internet]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_irradiance
47. Solar power forecasting in Ukraine28 February 2020[Internet]. URL:
https://solcast.com/solar-forecasting/ukraine-solar-irradiance-data-and-power-forecasts/?gclid=EAiaIQobChMikbzOkN657gIVl0iRBR21vAH6EAAYASAAEgIPlvD_BwE
48. SolarRadiation[Internet] URL: <https://www.kippzonen.com/Knowledge-Center/Theoretical-info/Solar-Radiation>
49. Solar Radiation and the Sun[Internet] URL:
<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16595>
50. Solar Radiation Basics[Internet]. URL: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>
51. SolarRadiationData. WebServices.[Internet]. 2014-2019. URL: <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/helioclim-3-archives-for-free;jsessionid=E981E2996BF8A55752D9A72EA5067667>

52. UKRENERGO[Internet]. URL:

https://ua.energy/connection-map/?vde=vde_ses&reflecti=sun_regions

53. UKRENERGO. Generalnews[Internet]. URL:

<https://ua.energy/general-news/in-2020-the-installed-capacity-of-wpps-and-spps-increased-by-41-and-their-share-in-the-generation-mix-doubled/>

54. United Nations Development Programme and World Energy Council. Energy and the challenge of sustainability. – September 2000. Retrieved 17 January 2017.

ДОДАТКИ

Додаток А

Середньомісячні та річні значення фактора мутності Лінке та коефіцієнта мутності Ангстрема [25]

Місяць	Фактор мутності Лінке					Коефіцієнт мутності Ангстрема				
Січень	-	2.3±0.4	2.4±0.3	1.3±0.4	2.5±0.3	-	0.03±0.02	0.03±0.02	0.02±0.02	0.04±0.02
Лютий	-	2.6±0.6	2.7±0.5	2.6±0.9	3.2±0.7	-	0.04±0.03	0.04±0.03	0.06±0.05	0.07±0.04
Березень	-	3.0±0.8	2.9±0.5	3.3±0.9	3.3±0.7	-	0.06±0.04	0.05±0.03	0.11±0.10	0.07±0.04
Квітень	-	3.5±0.8	3.8±0.8	4.9±1.1	3.5±0.8	-	0.08±0.04	0.09±0.04	0.17±0.08	0.09±0.05
Травень	-	4.2±1.0	4.3±0.7	4.2±0.9	4.1±0.7	-	0.12±0.05	0.12±0.04	0.12±0.05	0.11±0.04
Червень	4.7±0.7	4.5±0.7	4.1±1.0	4.8±0.8	4.7±0.7	0.12±0.04	0.12±0.04	0.11±0.05	0.15±0.05	0.14±0.03
Липень	4.1±0.5	5.1±0.6	4.6±0.6	5.1±0.8	5.6±0.5	0.10±0.02	0.16±0.02	0.13±0.03	0.16±0.04	0.19±0.02
Серпень	5.0±0.6	4.6±0.8	4.8±0.4	4.9±0.7	-	0.14±0.03	0.12±0.05	0.14±0.02	0.14±0.04	-
Вересень	3.7±1.1	4.2±0.7	4.6±0.7	5.0±0.7	4.6±0.7	0.08±0.05	0.10±0.04	0.14±0.05	0.15±0.04	0.13±0.04
Жовтень	3.5±0.4	3.6±0.4	4.1±0.7	3.6±0.6	4.0±0.7	0.08±0.03	0.07±0.02	0.12±0.04	0.08±0.04	0.09±0.04
Листопад	2.4±0.3	3.1±0.5	2.9±0.8	2.8±0.6	2.9±0.5	0.02±0.01	0.07±0.03	0.06±0.04	0.05±0.04	0.05±0.03
Грудень	2.4±0.4	2.5±0.4	2.0±0.8	2.7±0.6	2.7±0.3	0.03±0.02	0.04±0.02	0.05±0.03	0.05±0.03	0.05±0.02
Середнє за рік	3.7±0.6	3.6±0.6	3.6±0.6	3.8±0.8	3.7±0.6	0.08±0.03	0.08±0.03	0.09±0.03	0.11±0.05	0.09±0.03

Додаток Б

Рівні сонячної інсоляції в Європі [45]

№	Країна	Місто	Широта	Довгота	Місяць												В середньому за рік
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Кіпр	Лімасол	34° 40' N	33° 02' E	4.05	4.76	5.88	6.34	6.77	7.14	7.09	7.11	6.94	6.07	4.64	3.81	5.89
2	Мальта	Валлетта	35° 54' N	14° 31' E	4.1	4.93	5.93	6.51	6.67	6.95	7.18	7.05	6.48	5.53	4.16	3.66	5.76
3	Португалія	Лісабон	38° 46' N	9° 08' W	4.01	4.61	5.77	6.21	6.26	6.31	6.45	6.61	6.19	5.24	4.09	3.45	5.44
4	Гібралтар	Гібралтар	36° 09' N	5° 21' W	3.92	4.53	5.39	5.8	5.94	6.41	6.7	6.61	5.87	4.83	3.9	3.47	5.29
5	Італія	Рим	41° 54' N	12° 30' E	3.1	3.95	5.25	5.89	6.74	7.3	7.47	7.03	5.91	4.54	3.12	2.76	5.26
6	Ватикан	Ватикан	41° 54' N	12° 27' E	3.1	3.95	5.25	5.89	6.74	7.3	7.47	7.03	5.91	4.54	3.12	2.76	5.26
7	Іспанія	Малага	36° 40' N	4° 29' W	3.11	3.87	5.13	5.84	6.29	7.2	7.54	7.07	5.81	4.23	3.2	2.69	5.17
8	Албанія	Тирана	41° 20' N	19° 47' E	2.94	3.62	4.98	5.6	6.52	7.28	7.49	6.93	5.91	4.49	2.97	2.41	5.11
9	Князівство Монако	Монако	43° 42' N	7° 23' E	3.89	4.64	5.52	5.34	5.6	6.1	6.33	6	5.45	4.16	3.55	3.27	4.99
10	Греція	Афіни	37° 54' N	23° 44' E	2.91	3.49	4.53	5.63	6.34	7.13	7.13	6.8	5.8	4.21	2.82	2.37	4.94
11	Іспанія	Мадрид	40° 24' N	3° 41' W	3.03	3.87	5.1	5.41	5.87	6.76	6.98	6.57	5.54	3.97	3.01	2.61	4.9
12	Іспанія	Барселона	41° 17' N	2° 04' E	3.76	4.67	5.38	5.53	5.51	5.81	6.05	5.72	5.22	4.28	3.51	3.34	4.9
13	Іспанія	Аліканте	38° 17' N	0° 33' W	3.33	3.96	4.9	5.62	5.91	6.46	6.62	6.17	5.11	4.2	3.29	2.91	4.88
14	Андорра	Андорра ла Велла	42° 30' N	1° 31' E	2.86	3.78	4.73	4.95	5.37	6	6.37	5.89	5.19	3.88	3.03	2.61	4.56
15	Чорногорія	Подгориця	42° 26' N	19° 17' E	2.68	3.22	4.21	4.54	5.33	6.12	6.45	6.04	4.89	3.74	2.47	2.21	4.33
16	Північна Македонія	Скоп'є	41° 58' N	21° 39' E	2.79	3.34	4.14	4.43	5.1	6.04	6.25	5.84	4.86	3.71	2.57	2.21	4.28
17	Сан-Марино	Сан-Марино	43° 55' N	12° 28' E	2.53	3.37	4.37	4.55	5.46	5.97	6.44	5.97	4.84	3.37	2.34	1.97	4.27
18	Франція	Тулуза	43° 37' N	1° 26' E	2.6	3.44	4.61	4.82	5.28	5.45	5.83	5.55	4.95	3.58	2.61	2.25	4.25

Продовження Додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	Болгарія	Софія	42° 39' N	23° 23' E	2.76	3.3	4.08	4.43	5.04	5.71	6.01	5.74	4.81	3.62	2.56	2.27	4.2
20	Боснія і Герцеговина	Сараєво	43° 49' N	18° 20' E	2.73	3.33	4.18	4.4	5.09	5.73	6.13	5.73	4.7	3.47	2.34	2.15	4.17
21	Румунія	Бухарест	44° 30' N	26° 08' E	2.53	3.24	4.07	4.6	5.44	5.71	5.8	5.6	4.7	3.51	2.43	1.89	4.13
22	Італія	Мілан	45° 37' N	8° 44' E	2.62	3.62	4.58	4.57	4.85	5.26	5.54	5.21	4.35	3.17	2.47	2.06	4.03
23	Сербія	Белград	44° 49' N	20° 17' E	2.28	3.13	4.04	4.54	5.25	5.56	5.81	5.63	4.46	3.49	2.24	1.82	4.02
24	Франція	Ліон	45° 45' N	4° 50' E	1.99	2.84	4.01	4.54	5.09	5.62	6	5.5	4.46	2.94	2.04	1.59	3.89
25	Швейцарія	Женева	46° 15' N	6° 08' E	2.1	2.96	4.01	4.6	5.16	5.6	5.77	5.32	4.35	3.04	2.08	1.64	3.89
26	Швейцарія	Лозанна	46° 33' N	6° 37' E	2.11	2.97	4.02	4.54	5.16	5.61	5.78	5.33	4.36	3.05	2.09	1.65	3.89
27	Хорватія	Загреб	45° 48' N	15° 59' E	2.1	3.11	4.08	4.49	5.31	5.52	5.84	5.43	4.16	2.83	1.97	1.66	3.88
28	Гернсі	Сент-Пітер-Порт	49° 27' N	2° 32' W	1.39	2.36	3.5	5.06	5.93	5.99	5.94	5.52	4.54	2.85	1.8	1.14	3.84
29	Джерсі	Сент-Гелієр	49° 12' N	2° 37' W	1.38	2.35	3.5	5.05	5.92	5.98	5.93	5.51	4.53	2.85	1.79	1.13	3.83
30	Словенія	Любляна	46° 13' N	14° 29' E	2.31	3.32	4.2	4.58	5.09	5.09	5.22	4.98	4.04	2.85	2.13	1.74	3.8
31	Іспанія	Ов'єдо	43° 21' N	5° 50' W	2.3	2.88	3.97	4.44	4.78	5.03	5.16	4.86	4.34	3.04	2.25	1.99	3.76
32	Угорщина	Будапешт	47° 31' N	19° 02' E	1.78	2.93	3.7	4.57	5.27	5.39	5.46	5.26	4.19	2.96	1.87	1.48	3.74
33	Ліхтенштейн	Вадуц	47° 09' N	9° 31' E	2.18	3.15	3.93	4.36	4.79	4.87	4.99	4.74	3.97	2.91	2.15	1.75	3.65
34	Австрія	Відень	48° 07' N	16° 34' E	1.69	2.75	3.56	4.49	5.23	5.1	5.07	4.95	3.82	2.57	1.63	1.36	3.52
35	Словаччина	Братислава	48° 12' N	17° 12' E	1.7	2.75	3.56	4.49	5.23	5.1	5.07	4.95	3.82	2.58	1.63	1.36	3.52
36	Україна	Київ	50° 27' N	30° 30' E	1.71	2.69	3.63	4.27	5.22	4.99	5.11	4.9	3.62	2.6	1.56	1.47	3.49
37	Німеччина	Мюнхен	48°08' N	11° 42' E	1.73	2.72	3.55	4.41	5.02	5.04	5.11	4.87	3.72	2.53	1.68	1.34	3.48
38	Аландські острови	Марієхамн	60° 07' N	19° 07' E	0.73	1.78	3.36	4.98	5.98	5.91	5.78	5	3.78	2.08	1.09	0.51	3.42
39	Нідерланди	Амстердам	52° 18' N	4° 46' E	1.25	2.12	3.23	4.52	5.49	5.3	5.27	4.99	3.55	2.26	1.3	0.89	3.35
40	Естонія	Таллінн	59° 23' N	24° 35' E	0.82	1.95	3.45	4.74	5.71	5.65	5.53	4.77	3.47	2.04	1.11	0.68	3.33
41	Швеція	Стокгольм	59° 20' N	18° 03' E	0.85	1.86	3.4	4.76	5.69	5.57	5.46	4.76	3.64	2.09	1.16	0.64	3.33
42	Данія	Копенгаген	55° 37' N	12° 39' E	1.16	1.97	3.24	4.43	5.35	5.26	5.15	4.77	3.64	2.35	1.34	1.13	3.32
43	Люксембург	Люксембург	49° 37' N	6° 13' E	1.45	2.41	3.23	4.25	4.94	5	5.09	4.74	3.56	2.33	1.54	1.17	3.31
44	Латвія	Рига	56° 58' N	24° 03' E	1.27	2.2	3.4	4.35	5.44	5.25	5.14	4.76	3.48	2.21	1.33	0.87	3.31
45	Росія	Москва	55° 45' N	30° 37' E	1.43	2.42	3.55	4.32	5.22	5	5.08	4.5	3.32	2.2	1.42	1.11	3.3
46	Франція	Париж	49° 01' N	2° 32' E	1.4	2.22	3.12	4.13	4.87	4.96	5.05	4.77	3.65	2.5	1.66	1.11	3.29
47	Норвегія	Осло	59° 55' N	10° 45' E	0.86	1.93	3.19	4.24	5.4	5.26	5.4	4.58	3.56	2.06	1.17	0.64	3.2
48	Польща	Варшава	52° 10' N	20° 58' E	1.46	2.34	3.31	4.03	5.06	4.67	4.76	4.57	3.39	2.16	1.33	1.2	3.2
49	Фінляндія	Гельсінкі	60° 10' N	24° 56' E	0.77	2.01	3.51	4.68	5.42	5.27	5.19	4.39	3.32	1.88	1.12	0.56	3.18

Продовження Додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
50	Чехія	Прага	50° 06' N	14° 15' E	1.46	2.44	3.09	4.1	4.66	4.58	4.69	4.64	3.33	2.3	1.33	1.13	3.15
51	Швейцарія	Берн	46° 55' N	7° 30' E	1.1	1.77	2.74	3.6	4.7	5.07	5.68	4.95	3.66	2.18	1.26	0.92	3.14
52	Литва	Вільнюс	54° 38' N	25° 06' E	1.39	2.35	3.37	4.07	4.94	4.76	4.61	4.5	3.23	2	1.21	1.08	3.13
53	Бельгія	Брюссель	50° 45' N	4° 32' E	1.44	2.23	3.02	3.77	4.41	4.35	4.38	4.29	3.38	2.5	1.61	1.16	3.05
54	Велика Британія	Лондон	51° 30' N	0° 30' W	1.19	1.95	2.77	3.84	4.52	4.63	4.66	4.41	3.31	2.33	1.43	0.97	3.01
55	Німеччина	Гамбург	53° 38' N	10° 00' E	1.14	1.94	2.86	3.92	4.71	4.55	4.52	4.24	3.2	2.14	1.25	0.96	2.96
56	Велика Британія	Единбург	55° 57' N	3° 21' W	1.05	2	2.73	3.59	4.56	4.34	4.17	3.83	3.02	2.08	1.29	0.91	2.8
57	Острів Мен	Дуглас	54° 09' N	4° 28' W	1.03	1.88	2.63	3.67	4.48	4.27	4.14	3.79	3.06	2.01	1.22	0.75	2.75
58	Ірландія	Дублін	53° 20' N	6° 15' W	1.01	1.71	2.5	3.59	4.25	4.14	4.05	3.64	2.98	2	1.32	0.87	2.68
59	Фарерські острови	Торсгавн	62° 01' N	6° 46' W	н/д	1.26	2.29	3.39	4.18	4.11	3.75	3.51	2.73	1.74	0.76	н/д	н/д
60	Ісландія	Рейк'явік	64° 08' N	21° 54' W	н/д	1.05	1.86	3.24	4.3	4.51	4.07	3.56	2.81	1.65	0.65	н/д	н/д

Примітки :

1. Величини у кВт·год/м²/день.
2. Рівень інсоляції для колектора, спрямованого на екватор, встановленого під кутом широти.
3. Джерело: NASA surfacemeteorologyandsolarenergy.

© 2012 Apricus Solar Co., Ltd. All rights reserved.

Додаток В

Модельована інтенсивність сонячного випромінювання з кутом нахилу колектора дорівнює широті місця
плюс 25° ($\varphi + 25^\circ$)[30]

Ши ро та	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Кут на- хилу
1	478.5873	443.5266	398.442	349.9231	311.0312	291.8618	301.7392	336.0522	382.0572	430.7677	469.9777	489.2786	26
2	482.7909	446.0119	398.9691	348.8276	308.9313	289.3829	299.4431	334.559	381.9966	432.6307	473.7505	494.0414	27
3	487.2193	448.664	399.6209	347.8456	306.9529	287.3026	297.2718	333.1809	382.0538	434.6443	477.7315	499.0516	28
4	491.8814	451.4872	400.3985	346.9755	305.0926	284.8063	295.2213	331.9158	382.2286	436.8119	481.929	504.3197	29
5	496.787	454.4868	401.303	346.2159	303.3468	282.6998	293.2879	330.7615	382.5215	439.1371	486.3511	509.8574	30
6	501.9465	457.668	402.336	345.5657	301.7129	280.7093	291.4682	329.716	382.9329	441.6239	491.0069	515.677	31
7	507.3711	461.0368	403.499	345.0237	300.1877	278.8309	289.7589	328.7779	383.4633	444.2767	495.9061	521.792	32
8	513.0729	464.5995	404.7939	344.5892	298.7689	277.0615	288.157	327.9455	384.1138	447.10002	501.0592	528.2167	33
9	519.065	468.3627	406.2229	344.2615	297.454	275.3977	286.6599	327.2175	384.8851	450.0995	506.4773	534.9667	34
10	525.3613	472.334	407.7882	344.0401	296.2411	273.8369	285.2649	326.5929	385.7788	453.28	512.1727	542.0591	35
11	531.9771	476.5211	409.4925	343.9245	295.1278	272.3762	283.9698	326.0705	386.7959	456.6475	518.1583	549.5117	36
12	538.9288	480.9323	411.3385	343.9149	294.1125	271.0132	282.7724	325.6497	387.9384	460.2086	524.4482	557.3445	37
13	546.2339	485.577	413.3294	344.0109	293.1935	269.7456	281.6707	325.3297	389.2078	463.9699	531.0576	565.5787	38
14	553.9119	490.4648	415.4686	344.2127	292.3695	268.5713	280.6629	325.1101	390.6064	467.939	538.003	574.2377	39

Додаток Г

Модельована інтенсивність сонячного випромінювання з кутом нахилу колектора дорівнює широті місця
мінус 25° ($\varphi - 25^\circ$) [30]

Ши ро та	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Кут на- хилу
1	307.0781	337.8821	381.4402	425.6233	462.5434	479.495	471.165	439.328	395.808	351.447	314.2318	297.9407	-24
2	309.7679	339.7551	381.9106	424.2598	459.4031	475.4218	467.5694	437.3463	395.7123	352.9392	316.743	300.8405	-23
3	312.6017	341.7543	382.5003	423.0346	456.444	471.5599	464.469	435.5155	395.7385	354.5535	319.3932	303.8908	-22
4	315.5853	343.8835	383.2101	421.9459	453.6607	467.9017	460.9576	433.8328	395.886	356.2929	322.1875	307.0983	-21
5	318.7247	346.1465	384.041	420.9919	451.0485	464.4404	457.9293	432.2953	396.1569	358.1604	325.1318	310.4699	-20
6	322.0267	348.5473	384.9947	420.171	448.6026	461.1694	455.0787	430.9006	396.5497	360.1591	328.2318	314.0131	-19
7	325.4985	351.0902	386.0723	419.4821	446.319	458.0829	452.4006	429.6464	397.0658	362.2924	331.494	317.7362	-18
8	329.1476	353.7802	387.2758	418.924	444.1937	455.1753	449.8906	428.5307	397.7059	364.5642	334.9254	321.6478	-17
9	332.9827	356.6221	388.607	418.4958	442.2233	452.4415	447.5442	427.5517	398.4708	366.9785	338.5334	325.7575	-16
10	337.0125	359.6217	390.0681	418.197	440.4045	449.8766	445.3576	426.708	399.3621	369.5397	342.3261	330.0756	-15
11	341.2467	362.7847	391.6615	418.0269	438.7343	447.4763	443.3268	425.9981	400.381	372.2525	346.3122	334.6131	-14
12	345.696	366.1176	393.3899	417.9854	437.2099	445.2366	441.4489	425.421	401.5292	375.122	350.5009	339.382	-13
13	350.3714	369.627	395.2563	418.0725	435.8289	443.1535	439.7205	424.9758	402.8083	378.1538	354.9024	344.3953	-12
14	355.2853	373.3206	397.2636	418.2881	434.5893	441.2239	438.1389	424.6617	404.2208	381.3537	359.5277	349.6671	-11

Додаток Д

Районування території України за потенціалом сонячної енергії[4]

Регіон	Потенціал сонячної енергії				Вклад прямої радіації в сумарну, %	Повторюва ність безперерв ної тривалості сонячного сяйва понад 6 год, %	Коефіцієнт стійкості ясної погоди, %	Кількість ясних та напів'ясних днів, рік	Оцінка потенціалу сонячної енергії
	пряма радіація на перпендикулярну поверхню, МДж/м ²		сумарна радіація, МДж/м ²						
	квітень- вересень	рік	квітень- вересень	рік					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Південний берег Криму	3400- 3600	4700- 4900	3700- 3900	5000- 5200	0,53	35,0	50	264	Дуже високий потенціал, найбільш сприятливі умови використання сонячної енергії
Причорноморська та Приазовська низовини	3200- 3400	4400- 4600	3700- 3800	4600- 4800	0,49	37,0	48	244	Високий потенціал, сприятливі умови використання сонячної енергії

Продовження Додатку Д

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Донецька та Придніпровська височини	3100- 3300	3900- 4000	3550- 3750	4250- 4350	0,44	32,2	47	239	Високий потенціал, сприятливі умови використання сонячної енергії
Закарпатська низовина	2700- 2900	3600- 3800	3500- 3600	4100- 4200	0,41	31,0	46	236	Достатній потенціал, досить сприятливі умови використання сонячної енергії
Подільська та Придніпровська височини	2800- 3000	3650- 3850	3300- 3700	4100- 4200	0,42	27,2	40	238	Достатній потенціал, сприятливі умови використання сонячної енергії
Поліська низовина	2000- 2700	2800- 3600	2700- 3500	3500- 4200	0,41	26,0	39	228	Невисокий потенціал, обмежено сприятливі умови використання сонячної енергії
Українські Карпати та Кримські гори	1500- 1700	2150- 2250	2600- 2700	3250- 3350	0,36	18,7	44	203	Низький потенціал, несприятливі умови використання сонячної енергії

Додаток Е

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері Півдня України за календарне літо 1981 – 2020 рр.

Таблиця Е.1

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 48° пн.ш. 29°сх.д.

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2, ^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного сьйва S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
152	1981	6	1	22.04	15.56	116.72	1.3311	12.50	0.65	3	0.6088
153	1981	6	2	22.17	15.59	116.91	1.3311	13.05	0.55	4	0.6556
154	1981	6	3	22.30	15.61	117.10	1.3303	11.10	0.39	6	0.7919
155	1981	6	4	22.42	15.64	117.28	1.3305	14.00	0.29	8	0.8059
156	1981	6	5	22.54	15.66	117.45	1.3295	13.95	0.31	7	0.7923
157	1981	6	6	22.65	15.68	117.60	1.3297	14.00	0.38	6	0.7435
158	1981	6	7	22.75	15.70	117.75	1.3287	14.00	0.39	6	0.7388
159	1981	6	8	22.84	15.72	117.89	1.3289	14.00	0.39	6	0.7392
160	1981	6	9	22.93	15.74	118.02	1.3279	14.00	0.41	6	0.7248
161	1981	6	10	23.01	15.75	118.14	1.3280	13.95	0.41	6	0.7261
162	1981	6	11	23.09	15.77	118.25	1.3281	14.00	0.33	7	0.7783
163	1981	6	12	23.15	15.78	118.36	1.3271	14.00	0.33	7	0.7783
164	1981	6	13	23.21	15.79	118.45	1.3272	11.55	0.27	8	0.8529
165	1981	6	14	23.27	15.80	118.53	1.3273	13.45	0.39	6	0.7505
166	1981	6	15	23.31	15.81	118.60	1.3263	8.81	0.35	7	0.8546
167	1981	6	16	23.35	15.82	118.66	1.3264	13.40	0.31	7	0.8021
168	1981	6	17	23.39	15.83	118.71	1.3265	5.15	0.30	8	0.9275
169	1981	6	18	23.41	15.83	118.74	1.3256	10.95	0.34	7	0.8232

170	1981	6	19	23.43	15.84	118.77	1.3236	13.60	0.33	7	0.7848
-----	------	---	----	-------	-------	--------	--------	-------	------	---	--------

Продовження Таблиці Е.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
171	1981	6	20	23.44	15.84	118.79	1.3259	14.00	0.42	6	0.7214
172	1981	6	21	23.45	15.84	118.80	1.3250	10.60	0.33	7	0.8325
173	1981	6	22	23.45	15.84	118.80	1.3252	11.76	0.36	7	0.7981
174	1981	6	23	23.44	15.84	118.78	1.3254	13.50	0.37	7	0.7636
175	1981	6	24	23.42	15.83	118.76	1.3246	13.50	0.35	7	0.7773
176	1981	6	25	23.40	15.83	118.73	1.3248	14.00	0.35	7	0.7642
177	1981	6	26	23.37	15.82	118.68	1.3251	13.55	0.49	5	0.6834
178	1981	6	27	23.34	15.82	118.63	1.3243	13.05	0.43	6	0.7306
179	1981	6	28	23.29	15.81	118.56	1.3246	13.40	0.42	6	0.7326
180	1981	6	29	23.24	15.80	118.49	1.3239	13.40	0.38	6	0.7553
181	1981	6	30	23.18	15.79	118.40	1.3243	13.50	0.35	7	0.7719
...
226	2020	8	14	14.11	14.16	106.21	1.3346	12.60	0.63	3	0.5800
227	2020	8	15	13.78	14.11	105.81	1.3351	12.40	0.64	3	0.5787
228	2020	8	16	13.45	14.05	105.41	1.3355	12.70	0.64	1	0.5670
229	2020	8	17	13.12	14.00	105.01	1.3359	12.70	0.65	0	0.5586
230	2020	8	18	12.79	13.95	104.60	1.3361	12.40	0.64	2	0.5741
231	2020	8	19	12.45	13.89	104.19	1.3371	12.40	0.65	2	0.5661
232	2020	8	20	12.10	13.84	103.78	1.3371	12.25	0.63	3	0.5829
233	2020	8	21	11.75	13.78	103.36	1.3379	12.30	0.63	2	0.5797
234	2020	8	22	11.40	13.73	102.94	1.3386	12.30	0.64	2	0.5716
235	2020	8	23	11.05	13.67	102.52	1.3392	12.40	0.64	1	0.5665
236	2020	8	24	10.69	13.61	102.10	1.3396	11.99	0.43	6	0.7173
237	2020	8	25	10.33	13.56	101.68	1.3399	11.86	0.5	8	0.6736
238	2020	8	26	9.97	13.50	101.25	1.3410	12.00	0.65	6	0.5691
239	2020	8	27	9.60	13.44	100.83	1.3419	12.02	0.47	6	0.6869
240	2020	8	28	9.23	13.39	100.40	1.3417	12.00	0.65	3	0.5657
241	2020	8	29	8.86	13.33	99.97	1.3423	11.90	0.65	1	0.5677
242	2020	8	30	8.48	13.27	99.53	1.3437	12.00	0.64	0	0.5693

243	2020	8	31	8.10	13.21	99.10	1.3440	12.00	0.65	0	0.5608
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.2

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 48° пн.ш. 31° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.56	116.72	1.3311	13.50	0.54	4	0.6481
153	1981	6	2	22.17	15.59	116.91	1.3311	13.50	0.68	3	0.5595
154	1981	6	3	22.30	15.61	117.10	1.3303	11.15	0.66	2	0.6444
155	1981	6	4	22.42	15.64	117.28	1.3305	13.85	0.46	5	0.6929
156	1981	6	5	22.54	15.66	117.45	1.3295	13.55	0.73	0	0.5266
157	1981	6	6	22.65	15.68	117.60	1.3297	13.55	0.51	4	0.6716
158	1981	6	7	22.75	15.70	117.75	1.3287	14.00	0.42	5	0.7195
159	1981	6	8	22.84	15.72	117.89	1.3289	13.45	0.70	3	0.5502
160	1981	6	9	22.93	15.74	118.02	1.3279	13.50	0.45	1	0.7067
161	1981	6	10	23.01	15.75	118.14	1.3280	13.50	0.51	4	0.6684
162	1981	6	11	23.09	15.77	118.25	1.3281	13.50	0.69	2	0.5542
163	1981	6	12	23.15	15.78	118.36	1.3271	13.95	0.60	3	0.6018
...
233	2020	8	21	11.75	13.78	103.36	1.3379	12.20	0.64	4	0.5765
234	2020	8	22	11.40	13.73	102.94	1.3386	12.20	0.5	3	0.6680
235	2020	8	23	11.05	13.67	102.52	1.3392	12.40	0.66	0	0.5530
236	2020	8	24	10.69	13.61	102.10	1.3396	12.25	0.63	1	0.5768
237	2020	8	25	10.33	13.56	101.68	1.3399	12.10	0.54	3	0.6403
238	2020	8	26	9.97	13.50	101.25	1.3410	12.00	0.65	4	0.5691
239	2020	8	27	9.60	13.44	100.83	1.3419	12.00	0.53	4	0.6474
240	2020	8	28	9.23	13.39	100.40	1.3417	12.00	0.65	3	0.5657
241	2020	8	29	8.86	13.33	99.97	1.3423	11.90	0.65	2	0.5677
242	2020	8	30	8.48	13.27	99.53	1.3437	12.00	0.65	0	0.5626

243	2020	8	31	8.10	13.21	99.10	1.3440	12.00	0.67	0	0.5472
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.3

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 48° пн.ш. 33° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.56	116.72	1.3311	13.45	0.61	3	0.6072
153	1981	6	2	22.17	15.59	116.91	1.3311	13.50	0.55	4	0.6447
154	1981	6	3	22.30	15.61	117.10	1.3303	12.95	0.71	1	0.5599
155	1981	6	4	22.42	15.64	117.28	1.3305	13.50	0.54	4	0.6489
156	1981	6	5	22.54	15.66	117.45	1.3295	13.50	0.58	3	0.6263
157	1981	6	6	22.65	15.68	117.60	1.3297	13.50	0.48	5	0.6900
158	1981	6	7	22.75	15.70	117.75	1.3287	13.50	0.54	4	0.6512
159	1981	6	8	22.84	15.72	117.89	1.3289	13.50	0.58	3	0.6276
160	1981	6	9	22.93	15.74	118.02	1.3279	13.50	0.54	4	0.6534
161	1981	6	10	23.01	15.75	118.14	1.3280	13.50	0.54	4	0.6500
162	1981	6	11	23.09	15.77	118.25	1.3281	13.50	0.62	3	0.6006
163	1981	6	12	23.15	15.78	118.36	1.3271	13.45	0.54	4	0.6517
...
233	2020	8	21	11.75	13.78	103.36	1.3379	12.00	0.64	6	0.5835
234	2020	8	22	11.40	13.73	102.94	1.3386	11.50	0.3	6	0.8122
235	2020	8	23	11.05	13.67	102.52	1.3392	12.25	0.68	1	0.5450
236	2020	8	24	10.69	13.61	102.10	1.3396	12.25	0.66	0	0.5567
237	2020	8	25	10.33	13.56	101.68	1.3399	12.00	0.64	2	0.5772
238	2020	8	26	9.97	13.50	101.25	1.3410	12.00	0.59	2	0.6089
239	2020	8	27	9.60	13.44	100.83	1.3419	11.90	0.48	3	0.6834
240	2020	8	28	9.23	13.39	100.40	1.3417	11.90	0.62	3	0.5892
241	2020	8	29	8.86	13.33	99.97	1.3423	12.10	0.65	0	0.5604
242	2020	8	30	8.48	13.27	99.53	1.3437	12.10	0.66	0	0.5522

243	2020	8	31	8.10	13.21	99.10	1.3440	12.00	0.67	0	0.5472
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.4

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 48° пн.ш. 35° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.56	116.72	1.3311	13.32	0.56	3	0.6430
153	1981	6	2	22.17	15.59	116.91	1.3311	13.68	0.55	4	0.6378
154	1981	6	3	22.30	15.61	117.10	1.3303	12.67	0.56	3	0.6591
155	1981	6	4	22.42	15.64	117.28	1.3305	13.82	0.56	3	0.6312
156	1981	6	5	22.54	15.66	117.45	1.3295	13.22	0.54	5	0.6559
157	1981	6	6	22.65	15.68	117.60	1.3297	13.73	0.53	6	0.6532
158	1981	6	7	22.75	15.70	117.75	1.3287	13.73	0.52	2	0.6562
159	1981	6	8	22.84	15.72	117.89	1.3289	14.00	0.55	2	0.6306
160	1981	6	9	22.93	15.74	118.02	1.3279	13.50	0.53	1	0.6588
161	1981	6	10	23.01	15.75	118.14	1.3280	13.28	0.54	2	0.6560
162	1981	6	11	23.09	15.77	118.25	1.3281	13.73	0.56	3	0.6334
163	1981	6	12	23.15	15.78	118.36	1.3271	13.23	0.54	4	0.6599
...
233	2020	8	21	11.75	13.78	103.36	1.3379	12.00	0.59	4	0.6160
234	2020	8	22	11.40	13.73	102.94	1.3386	12.09	0.43	5	0.7171
235	2020	8	23	11.05	13.67	102.52	1.3392	12.50	0.68	0	0.5357
236	2020	8	24	10.69	13.61	102.10	1.3396	12.40	0.67	0	0.5444
237	2020	8	25	10.33	13.56	101.68	1.3399	12.00	0.63	1	0.5838
238	2020	8	26	9.97	13.50	101.25	1.3410	11.90	0.64	2	0.5793
239	2020	8	27	9.60	13.44	100.83	1.3419	11.75	0.63	4	0.5897
240	2020	8	28	9.23	13.39	100.40	1.3417	11.75	0.54	4	0.6467
241	2020	8	29	8.86	13.33	99.97	1.3423	12.00	0.66	0	0.5573
242	2020	8	30	8.48	13.27	99.53	1.3437	11.75	0.67	1	0.5585

243	2020	8	31	8.10	13.21	99.10	1.3440	12.00	0.67	0	0.5472
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.5

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 48° пн.ш. 37°сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця θ_2 , $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного сйва S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.56	116.72	1.3311	12.46	0.45	5	0.7270
153	1981	6	2	22.17	15.59	116.91	1.3311	13.50	0.54	4	0.6474
154	1981	6	3	22.30	15.61	117.10	1.3303	12.99	0.45	5	0.7206
155	1981	6	4	22.42	15.64	117.28	1.3305	13.50	0.54	4	0.6518
156	1981	6	5	22.54	15.66	117.45	1.3295	13.00	0.45	5	0.7165
157	1981	6	6	22.65	15.68	117.60	1.3297	13.73	0.40	6	0.7342
158	1981	6	7	22.75	15.70	117.75	1.3287	13.50	0.54	4	0.6481
159	1981	6	8	22.84	15.72	117.89	1.3289	13.68	0.56	3	0.6360
160	1981	6	9	22.93	15.74	118.02	1.3279	13.78	0.55	3	0.6349
161	1981	6	10	23.01	15.75	118.14	1.3280	13.50	0.55	4	0.6456
162	1981	6	11	23.09	15.77	118.25	1.3281	13.50	0.63	2	0.5960
163	1981	6	12	23.15	15.78	118.36	1.3271	13.50	0.54	4	0.6500
...
233	2020	8	21	11.75	13.78	103.36	1.3379	11.98	0.51	8	0.6686
234	2020	8	22	11.40	13.73	102.94	1.3386	11.94	0.37	6	0.7596
235	2020	8	23	11.05	13.67	102.52	1.3392	12.40	0.67	0	0.5462
236	2020	8	24	10.69	13.61	102.10	1.3396	12.40	0.68	0	0.5376
237	2020	8	25	10.33	13.56	101.68	1.3399	12.20	0.68	1	0.5433
238	2020	8	26	9.97	13.50	101.25	1.3410	12.00	0.6	2	0.6023
239	2020	8	27	9.60	13.44	100.83	1.3419	11.75	0.58	4	0.6222
240	2020	8	28	9.23	13.39	100.40	1.3417	11.70	0.48	5	0.6873
241	2020	8	29	8.86	13.33	99.97	1.3423	12.00	0.66	0	0.5573
242	2020	8	30	8.48	13.27	99.53	1.3437	12.00	0.65	0	0.5626

243	2020	8	31	8.10	13.21	99.10	1.3440	12.00	0.67	0	0.5472
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.6

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 48° пн.ш. 39°сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця θ_2 , $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного сйва S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.56	116.72	1.3311	10.54	0.40	6	0.7948
153	1981	6	2	22.17	15.59	116.91	1.3311	13.50	0.51	4	0.6681
154	1981	6	3	22.30	15.61	117.10	1.3303	13.05	0.51	4	0.6814
155	1981	6	4	22.42	15.64	117.28	1.3305	13.50	0.54	4	0.6491
156	1981	6	5	22.54	15.66	117.45	1.3295	13.50	0.53	4	0.6542
157	1981	6	6	22.65	15.68	117.60	1.3297	13.50	0.50	4	0.6794
158	1981	6	7	22.75	15.70	117.75	1.3287	13.50	0.55	4	0.6473
159	1981	6	8	22.84	15.72	117.89	1.3289	13.00	0.62	3	0.6145
160	1981	6	9	22.93	15.74	118.02	1.3279	13.50	0.67	2	0.5673
161	1981	6	10	23.01	15.75	118.14	1.3280	13.50	0.68	2	0.5631
162	1981	6	11	23.09	15.77	118.25	1.3281	12.74	0.63	2	0.6144
163	1981	6	12	23.15	15.78	118.36	1.3271	13.50	0.61	3	0.6053
...
233	2020	8	21	11.75	13.78	103.36	1.3379	11.93	0.44	7	0.7154
234	2020	8	22	11.40	13.73	102.94	1.3386	11.79	0.26	5	0.8331
235	2020	8	23	11.05	13.67	102.52	1.3392	12.25	0.63	2	0.5784
236	2020	8	24	10.69	13.61	102.10	1.3396	12.30	0.67	0	0.5481
237	2020	8	25	10.33	13.56	101.68	1.3399	12.25	0.68	0	0.5414
238	2020	8	26	9.97	13.50	101.25	1.3410	11.80	0.66	3	0.5698
239	2020	8	27	9.60	13.44	100.83	1.3419	11.80	0.62	3	0.5945
240	2020	8	28	9.23	13.39	100.40	1.3417	11.70	0.45	4	0.7069
241	2020	8	29	8.86	13.33	99.97	1.3423	11.80	0.65	2	0.5713
242	2020	8	30	8.48	13.27	99.53	1.3437	11.80	0.68	1	0.5500

243	2020	8	31	8.10	13.21	99.10	1.3440	12.00	0.68	0	0.5405
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.7

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 47° пн.ш. 30° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня <i>Dn</i>	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.43	115.73	1.3332	13.03	0.55	4	0.6540
153	1981	6	2	22.17	15.46	115.92	1.3331	13.12	0.68	2	0.5642
154	1981	6	3	22.30	15.48	116.09	1.3321	11.62	0.56	3	0.6863
155	1981	6	4	22.42	15.50	116.26	1.3322	14.00	0.54	4	0.6329
156	1981	6	5	22.54	15.52	116.43	1.3312	14.00	0.70	1	0.5267
157	1981	6	6	22.65	15.54	116.58	1.3312	14.00	0.68	2	0.5371
158	1981	6	7	22.75	15.56	116.72	1.3302	14.00	0.53	4	0.6411
159	1981	6	8	22.84	15.58	116.85	1.3302	13.88	0.69	2	0.5371
160	1981	6	9	22.93	15.60	116.98	1.3292	14.00	0.56	3	0.6239
161	1981	6	10	23.01	15.61	117.09	1.3292	13.64	0.59	3	0.6118
162	1981	6	11	23.09	15.63	117.20	1.3292	14.00	0.62	3	0.5825
163	1981	6	12	23.15	15.64	117.30	1.3282	14.00	0.61	3	0.5873
...
233	2020	8	21	11.75	13.72	102.89	1.3496	12.00	0.65	3	0.5787
234	2020	8	22	11.40	13.67	102.49	1.3507	12.10	0.58	2	0.6198
235	2020	8	23	11.05	13.61	102.09	1.3516	12.40	0.66	0	0.5552
236	2020	8	24	10.69	13.56	101.68	1.3524	12.25	0.65	1	0.5657
237	2020	8	25	10.33	13.50	101.27	1.3530	12.10	0.64	2	0.5761
238	2020	8	26	9.97	13.45	100.86	1.3545	11.80	0.65	4	0.5789
239	2020	8	27	9.60	13.39	100.45	1.3559	11.80	0.56	3	0.6361
240	2020	8	28	9.23	13.34	100.04	1.3561	11.60	0.65	4	0.5831
241	2020	8	29	8.86	13.28	99.62	1.3571	11.80	0.65	2	0.5745
242	2020	8	30	8.48	13.23	99.20	1.3589	12.00	0.66	0	0.5594

243	2020	8	31	8.10	13.17	98.78	1.3596	12.00	0.67	0	0.5510
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.8

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 47° пн.ш. 32°сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилання $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця θ_2 , $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного сйва S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.43	115.73	1.3332	13.50	0.68	2	0.5510
153	1981	6	2	22.17	15.46	115.92	1.3331	13.50	0.56	3	0.6362
154	1981	6	3	22.30	15.48	116.09	1.3321	11.76	0.67	2	0.6179
155	1981	6	4	22.42	15.50	116.26	1.3322	13.50	0.55	3	0.6395
156	1981	6	5	22.54	15.52	116.43	1.3312	13.83	0.69	2	0.5371
157	1981	6	6	22.65	15.54	116.58	1.3312	13.74	0.52	4	0.6567
158	1981	6	7	22.75	15.56	116.72	1.3302	13.83	0.66	2	0.5572
159	1981	6	8	22.84	15.58	116.85	1.3302	13.26	0.56	3	0.6422
160	1981	6	9	22.93	15.60	116.98	1.3292	13.50	0.56	3	0.6385
161	1981	6	10	23.01	15.61	117.09	1.3292	13.50	0.70	1	0.5455
162	1981	6	11	23.09	15.63	117.20	1.3292	13.50	0.55	4	0.6427
163	1981	6	12	23.15	15.64	117.30	1.3282	13.50	0.56	3	0.6353
...
233	2020	8	21	11.75	13.72	102.89	1.3496	11.90	0.64	4	0.5887
234	2020	8	22	11.40	13.67	102.49	1.3507	12.34	0.42	4	0.7192
235	2020	8	23	11.05	13.61	102.09	1.3516	12.25	0.67	0	0.5539
236	2020	8	24	10.69	13.56	101.68	1.3524	12.10	0.67	1	0.5578
237	2020	8	25	10.33	13.50	101.27	1.3530	12.00	0.66	2	0.5665
238	2020	8	26	9.97	13.45	100.86	1.3545	11.80	0.63	3	0.5919
239	2020	8	27	9.60	13.39	100.45	1.3559	11.50	0.61	5	0.6137
240	2020	8	28	9.23	13.34	100.04	1.3561	11.70	0.66	3	0.5731
241	2020	8	29	8.86	13.28	99.62	1.3571	11.80	0.66	1	0.5679
242	2020	8	30	8.48	13.23	99.20	1.3589	12.00	0.67	0	0.5527

243	2020	8	31	8.10	13.17	98.78	1.3596	11.90	0.67	0	0.5548
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.9

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 47° пн.ш. 34° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2, ^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного сьйва S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.43	115.73	1.3332	13.26	0.64	2	0.5867
153	1981	6	2	22.17	15.46	115.92	1.3331	13.50	0.55	4	0.6394
154	1981	6	3	22.30	15.48	116.09	1.3321	12.24	0.67	2	0.6025
155	1981	6	4	22.42	15.50	116.26	1.3322	13.50	0.52	4	0.6572
156	1981	6	5	22.54	15.52	116.43	1.3312	13.50	0.70	1	0.5436
157	1981	6	6	22.65	15.54	116.58	1.3312	13.50	0.56	3	0.6379
158	1981	6	7	22.75	15.56	116.72	1.3302	13.50	0.59	3	0.6148
159	1981	6	8	22.84	15.58	116.85	1.3302	13.50	0.63	2	0.5918
160	1981	6	9	22.93	15.60	116.98	1.3292	13.50	0.56	3	0.6333
161	1981	6	10	23.01	15.61	117.09	1.3292	13.50	0.67	2	0.5642
162	1981	6	11	23.09	15.63	117.20	1.3292	13.50	0.56	3	0.6379
163	1981	6	12	23.15	15.64	117.30	1.3282	13.26	0.69	2	0.5585
...
233	2020	8	21	11.75	13.72	102.89	1.3496	12.00	0.53	4	0.6565
234	2020	8	22	11.40	13.67	102.49	1.3507	12.15	0.46	5	0.6972
235	2020	8	23	11.05	13.61	102.09	1.3516	12.25	0.68	0	0.5472
236	2020	8	24	10.69	13.56	101.68	1.3524	12.25	0.67	0	0.5524
237	2020	8	25	10.33	13.50	101.27	1.3530	12.20	0.67	0	0.5526
238	2020	8	26	9.97	13.45	100.86	1.3545	11.70	0.63	4	0.5954
239	2020	8	27	9.60	13.39	100.45	1.3559	11.50	0.63	5	0.6010
240	2020	8	28	9.23	13.34	100.04	1.3561	11.60	0.63	3	0.5960
241	2020	8	29	8.86	13.28	99.62	1.3571	11.65	0.66	1	0.5734
242	2020	8	30	8.48	13.23	99.20	1.3589	12.00	0.67	0	0.5527

243	2020	8	31	8.10	13.17	98.78	1.3596	11.90	0.67	0	0.5548
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.10

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 47° пн.ш. 36° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця θ_2 , $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.43	115.73	1.3332	13.25	0.51	4	0.6711
153	1981	6	2	22.17	15.46	115.92	1.3331	13.50	0.51	4	0.6642
154	1981	6	3	22.30	15.48	116.09	1.3321	12.03	0.51	4	0.7046
155	1981	6	4	22.42	15.50	116.26	1.3322	13.74	0.56	3	0.6304
156	1981	6	5	22.54	15.52	116.43	1.3312	12.75	0.55	3	0.6579
157	1981	6	6	22.65	15.54	116.58	1.3312	13.49	0.55	5	0.6402
158	1981	6	7	22.75	15.56	116.72	1.3302	13.74	0.54	4	0.6388
159	1981	6	8	22.84	15.58	116.85	1.3302	13.74	0.56	3	0.6303
160	1981	6	9	22.93	15.60	116.98	1.3292	13.75	0.62	2	0.5892
161	1981	6	10	23.01	15.61	117.09	1.3292	13.99	0.61	2	0.5922
162	1981	6	11	23.09	15.63	117.20	1.3292	14.00	0.64	2	0.5679
163	1981	6	12	23.15	15.64	117.30	1.3282	13.50	0.59	3	0.6161
...
233	2020	8	21	11.75	13.72	102.89	1.3496	12.29	0.47	7	0.6881
234	2020	8	22	11.40	13.67	102.49	1.3507	12.07	0.26	5	0.8300
235	2020	8	23	11.05	13.61	102.09	1.3516	12.40	0.68	0	0.5417
236	2020	8	24	10.69	13.56	101.68	1.3524	12.30	0.68	0	0.5438
237	2020	8	25	10.33	13.50	101.27	1.3530	12.25	0.68	0	0.5441
238	2020	8	26	9.97	13.45	100.86	1.3545	11.75	0.61	3	0.6065
239	2020	8	27	9.60	13.39	100.45	1.3559	11.60	0.49	5	0.6870
240	2020	8	28	9.23	13.34	100.04	1.3561	11.50	0.55	5	0.6503
241	2020	8	29	8.86	13.28	99.62	1.3571	11.90	0.66	0	0.5643
242	2020	8	30	8.48	13.23	99.20	1.3589	11.90	0.67	0	0.5564

243	2020	8	31	8.10	13.17	98.78	1.3596	11.85	0.67	0	0.5566
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.11

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 47° пн.ш. 38° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2, ^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного сьйва S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.43	115.73	1.3332	12.26	0.45	6	0.7337
153	1981	6	2	22.17	15.46	115.92	1.3331	13.24	0.56	3	0.6417
154	1981	6	3	22.30	15.48	116.09	1.3321	13.29	0.43	6	0.7219
155	1981	6	4	22.42	15.50	116.26	1.3322	13.50	0.55	3	0.6387
156	1981	6	5	22.54	15.52	116.43	1.3312	13.29	0.55	3	0.6452
157	1981	6	6	22.65	15.54	116.58	1.3312	13.50	0.51	4	0.6662
158	1981	6	7	22.75	15.56	116.72	1.3302	13.50	0.54	4	0.6503
159	1981	6	8	22.84	15.58	116.85	1.3302	13.24	0.67	1	0.5722
160	1981	6	9	22.93	15.60	116.98	1.3292	13.71	0.68	1	0.5523
161	1981	6	10	23.01	15.61	117.09	1.3292	13.50	0.66	1	0.5689
162	1981	6	11	23.09	15.63	117.20	1.3292	13.50	0.63	2	0.5880
163	1981	6	12	23.15	15.64	117.30	1.3282	13.50	0.67	1	0.5647
...
233	2020	8	21	11.75	13.72	102.89	1.3496	12.16	0.45	7	0.7045
234	2020	8	22	11.40	13.67	102.49	1.3507	12.11	0.39	6	0.7440
235	2020	8	23	11.05	13.61	102.09	1.3516	12.10	0.65	1	0.5725
236	2020	8	24	10.69	13.56	101.68	1.3524	12.30	0.68	0	0.5438
237	2020	8	25	10.33	13.50	101.27	1.3530	12.25	0.68	0	0.5441
238	2020	8	26	9.97	13.45	100.86	1.3545	12.00	0.66	2	0.5652
239	2020	8	27	9.60	13.39	100.45	1.3559	11.65	0.63	4	0.5958
240	2020	8	28	9.23	13.34	100.04	1.3561	11.50	0.43	4	0.7266
241	2020	8	29	8.86	13.28	99.62	1.3571	12.00	0.66	0	0.5606
242	2020	8	30	8.48	13.23	99.20	1.3589	12.00	0.67	0	0.5527

243	2020	8	31	8.10	13.17	98.78	1.3596	11.95	0.68	0	0.5462
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.12

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 46° пн.ш. 29° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця θ_2 , $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.30	114.79	1.3350	13.10	0.54	4	0.6530
153	1981	6	2	22.17	15.33	114.96	1.3348	12.60	0.56	3	0.6557
154	1981	6	3	22.30	15.35	115.13	1.3337	12.48	0.56	3	0.6589
155	1981	6	4	22.42	15.37	115.30	1.3337	14.00	0.54	3	0.6319
156	1981	6	5	22.54	15.39	115.45	1.3326	14.00	0.61	2	0.5821
157	1981	6	6	22.65	15.41	115.60	1.3325	14.00	0.69	0	0.5287
158	1981	6	7	22.75	15.43	115.73	1.3314	14.00	0.56	3	0.6211
159	1981	6	8	22.84	15.45	115.86	1.3314	14.00	0.63	2	0.5734
160	1981	6	9	22.93	15.46	115.98	1.3302	14.00	0.67	1	0.5441
161	1981	6	10	23.01	15.48	116.09	1.3302	14.00	0.69	0	0.5299
162	1981	6	11	23.09	15.49	116.19	1.3302	13.63	0.55	4	0.6384
163	1981	6	12	23.15	15.50	116.28	1.3291	14.00	0.54	4	0.6303
...
233	2020	8	21	11.75	13.66	102.44	1.3609	12.20	0.65	2	0.5734
234	2020	8	22	11.40	13.61	102.06	1.3624	12.20	0.64	2	0.5788
235	2020	8	23	11.05	13.56	101.67	1.3637	12.25	0.65	1	0.5692
236	2020	8	24	10.69	13.50	101.27	1.3648	12.20	0.64	1	0.5763
237	2020	8	25	10.33	13.45	100.88	1.3658	11.90	0.63	2	0.5919
238	2020	8	26	9.97	13.40	100.48	1.3677	11.60	0.65	5	0.5885
239	2020	8	27	9.60	13.34	100.09	1.3695	11.70	0.65	3	0.5839
240	2020	8	28	9.23	13.29	99.69	1.3701	11.80	0.64	2	0.5853
241	2020	8	29	8.86	13.24	99.29	1.3715	11.85	0.63	1	0.5888
242	2020	8	30	8.48	13.18	98.88	1.3737	11.90	0.66	1	0.5664

243	2020	8	31	8.10	13.13	98.48	1.3748	12.00	0.67	0	0.5546
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.13

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 46° пн.ш. 31° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2, ^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного саява S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.30	114.79	1.3350	13.50	0.63	3	0.5865
153	1981	6	2	22.17	15.33	114.96	1.3348	13.50	0.57	3	0.6267
154	1981	6	3	22.30	15.35	115.13	1.3337	12.95	0.65	2	0.5863
155	1981	6	4	22.42	15.37	115.30	1.3337	13.85	0.63	2	0.5723
156	1981	6	5	22.54	15.39	115.45	1.3326	13.85	0.70	1	0.5304
157	1981	6	6	22.65	15.41	115.60	1.3325	13.85	0.72	2	0.5162
158	1981	6	7	22.75	15.43	115.73	1.3314	13.85	0.66	2	0.5524
159	1981	6	8	22.84	15.45	115.86	1.3314	13.83	0.68	2	0.5434
160	1981	6	9	22.93	15.46	115.98	1.3302	13.85	0.64	1	0.5696
161	1981	6	10	23.01	15.48	116.09	1.3302	13.83	0.71	0	0.5226
162	1981	6	11	23.09	15.49	116.19	1.3302	13.85	0.68	4	0.5422
163	1981	6	12	23.15	15.50	116.28	1.3291	13.85	0.67	2	0.5484
...
233	2020	8	21	11.75	13.66	102.44	1.3609	11.80	0.65	4	0.5874
234	2020	8	22	11.40	13.61	102.06	1.3624	11.90	0.62	2	0.6020
235	2020	8	23	11.05	13.56	101.67	1.3637	12.00	0.65	1	0.5780
236	2020	8	24	10.69	13.50	101.27	1.3648	12.00	0.66	1	0.5703
237	2020	8	25	10.33	13.45	100.88	1.3658	11.90	0.66	2	0.5725
238	2020	8	26	9.97	13.40	100.48	1.3677	11.50	0.64	4	0.5984
239	2020	8	27	9.60	13.34	100.09	1.3695	11.60	0.65	3	0.5874
240	2020	8	28	9.23	13.29	99.69	1.3701	11.40	0.65	4	0.5931
241	2020	8	29	8.86	13.24	99.29	1.3715	11.70	0.65	1	0.5811
242	2020	8	30	8.48	13.18	98.88	1.3737	11.85	0.65	0	0.5747

243	2020	8	31	8.10	13.13	98.48	1.3748	11.90	0.66	0	0.5649
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.14

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 46° пн.ш. 33° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.30	114.79	1.3350	13.50	0.63	2	0.5812
153	1981	6	2	22.17	15.33	114.96	1.3348	13.50	0.56	3	0.6274
154	1981	6	3	22.30	15.35	115.13	1.3337	12.76	0.69	0	0.5690
155	1981	6	4	22.42	15.37	115.30	1.3337	13.50	0.54	4	0.6426
156	1981	6	5	22.54	15.39	115.45	1.3326	13.50	0.70	0	0.5402
157	1981	6	6	22.65	15.41	115.60	1.3325	13.50	0.63	2	0.5834
158	1981	6	7	22.75	15.43	115.73	1.3314	13.50	0.68	1	0.5504
159	1981	6	8	22.84	15.45	115.86	1.3314	13.50	0.57	3	0.6230
160	1981	6	9	22.93	15.46	115.98	1.3302	13.50	0.63	2	0.5840
161	1981	6	10	23.01	15.48	116.09	1.3302	13.50	0.71	0	0.5372
162	1981	6	11	23.09	15.49	116.19	1.3302	13.50	0.51	4	0.6630
163	1981	6	12	23.15	15.50	116.28	1.3291	13.50	0.67	1	0.5612
...
233	2020	8	21	11.75	13.66	102.44	1.3609	12.10	0.65	2	0.5769
234	2020	8	22	11.40	13.61	102.06	1.3624	11.50	0.54	6	0.6650
235	2020	8	23	11.05	13.56	101.67	1.3637	12.20	0.66	0	0.5644
236	2020	8	24	10.69	13.50	101.27	1.3648	12.20	0.66	0	0.5631
237	2020	8	25	10.33	13.45	100.88	1.3658	12.00	0.67	1	0.5624
238	2020	8	26	9.97	13.40	100.48	1.3677	11.50	0.63	5	0.6046
239	2020	8	27	9.60	13.34	100.09	1.3695	11.60	0.66	4	0.5811
240	2020	8	28	9.23	13.29	99.69	1.3701	11.65	0.65	4	0.5842
241	2020	8	29	8.86	13.24	99.29	1.3715	11.90	0.66	0	0.5674
242	2020	8	30	8.48	13.18	98.88	1.3737	12.00	0.66	0	0.5627

243	2020	8	31	8.10	13.13	98.48	1.3748	11.95	0.66	0	0.5631
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.15

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 46° пн.ш. 35° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.30	114.79	1.3350	13.27	0.63	2	0.5883
153	1981	6	2	22.17	15.33	114.96	1.3348	13.27	0.56	3	0.6394
154	1981	6	3	22.30	15.35	115.13	1.3337	12.70	0.56	5	0.6544
155	1981	6	4	22.42	15.37	115.30	1.3337	13.50	0.53	4	0.6479
156	1981	6	5	22.54	15.39	115.45	1.3326	13.27	0.66	1	0.5713
157	1981	6	6	22.65	15.41	115.60	1.3325	13.50	0.67	1	0.5597
158	1981	6	7	22.75	15.43	115.73	1.3314	13.50	0.58	3	0.6190
159	1981	6	8	22.84	15.45	115.86	1.3314	13.50	0.63	2	0.5839
160	1981	6	9	22.93	15.46	115.98	1.3302	13.50	0.68	1	0.5557
161	1981	6	10	23.01	15.48	116.09	1.3302	13.50	0.69	0	0.5467
162	1981	6	11	23.09	15.49	116.19	1.3302	13.73	0.57	3	0.6176
163	1981	6	12	23.15	15.50	116.28	1.3291	13.73	0.65	1	0.5681
...
233	2020	8	21	11.75	13.66	102.44	1.3609	12.27	0.41	6	0.7293
234	2020	8	22	11.40	13.61	102.06	1.3624	12.17	0.34	6	0.7767
235	2020	8	23	11.05	13.56	101.67	1.3637	12.10	0.67	1	0.5614
236	2020	8	24	10.69	13.50	101.27	1.3648	12.25	0.67	0	0.5547
237	2020	8	25	10.33	13.45	100.88	1.3658	12.20	0.67	0	0.5551
238	2020	8	26	9.97	13.40	100.48	1.3677	11.70	0.64	4	0.5914
239	2020	8	27	9.60	13.34	100.09	1.3695	11.70	0.63	3	0.5967
240	2020	8	28	9.23	13.29	99.69	1.3701	11.60	0.53	3	0.6624
241	2020	8	29	8.86	13.24	99.29	1.3715	11.75	0.67	1	0.5664
242	2020	8	30	8.48	13.18	98.88	1.3737	11.90	0.67	0	0.5598

243	2020	8	31	8.10	13.13	98.48	1.3748	11.95	0.68	0	0.5499
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.16

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 46° пн.ш. 37° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця θ_2 , $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.30	114.79	1.3350	13.00	0.58	3	0.6322
153	1981	6	2	22.17	15.33	114.96	1.3348	13.02	0.61	2	0.6142
154	1981	6	3	22.30	15.35	115.13	1.3337	13.45	0.47	5	0.6886
155	1981	6	4	22.42	15.37	115.30	1.3337	13.30	0.60	2	0.6115
156	1981	6	5	22.54	15.39	115.45	1.3326	13.00	0.61	2	0.6109
157	1981	6	6	22.65	15.41	115.60	1.3325	13.00	0.66	1	0.5806
158	1981	6	7	22.75	15.43	115.73	1.3314	13.50	0.61	2	0.6011
159	1981	6	8	22.84	15.45	115.86	1.3314	13.50	0.65	1	0.5745
160	1981	6	9	22.93	15.46	115.98	1.3302	13.73	0.68	1	0.5481
161	1981	6	10	23.01	15.48	116.09	1.3302	13.73	0.69	0	0.5390
162	1981	6	11	23.09	15.49	116.19	1.3302	13.73	0.71	0	0.5298
163	1981	6	12	23.15	15.50	116.28	1.3291	13.70	0.70	0	0.5354
...
233	2020	8	21	11.75	13.66	102.44	1.3609	12.30	0.5	7	0.6693
234	2020	8	22	11.40	13.61	102.06	1.3624	12.23	0.36	4	0.7625
235	2020	8	23	11.05	13.56	101.67	1.3637	12.20	0.67	0	0.5578
236	2020	8	24	10.69	13.50	101.27	1.3648	12.20	0.67	0	0.5565
237	2020	8	25	10.33	13.45	100.88	1.3658	12.20	0.67	0	0.5551
238	2020	8	26	9.97	13.40	100.48	1.3677	11.60	0.65	3	0.5885
239	2020	8	27	9.60	13.34	100.09	1.3695	11.60	0.55	3	0.6509
240	2020	8	28	9.23	13.29	99.69	1.3701	11.55	0.39	3	0.7526
241	2020	8	29	8.86	13.24	99.29	1.3715	11.70	0.66	1	0.5747
242	2020	8	30	8.48	13.18	98.88	1.3737	11.90	0.66	0	0.5664

243	2020	8	31	8.10	13.13	98.48	1.3748	11.85	0.67	0	0.5602
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.17

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 46° пн.ш. 39° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.30	114.79	1.3350	12.19	0.53	4	0.6823
153	1981	6	2	22.17	15.33	114.96	1.3348	12.21	0.56	5	0.6638
154	1981	6	3	22.30	15.35	115.13	1.3337	13.50	0.53	4	0.6537
155	1981	6	4	22.42	15.37	115.30	1.3337	13.50	0.50	5	0.6702
156	1981	6	5	22.54	15.39	115.45	1.3326	13.50	0.58	3	0.6183
157	1981	6	6	22.65	15.41	115.60	1.3325	13.34	0.57	4	0.6290
158	1981	6	7	22.75	15.43	115.73	1.3314	13.50	0.54	4	0.6472
159	1981	6	8	22.84	15.45	115.86	1.3314	13.50	0.66	2	0.5651
160	1981	6	9	22.93	15.46	115.98	1.3302	13.50	0.68	1	0.5557
161	1981	6	10	23.01	15.48	116.09	1.3302	13.50	0.67	1	0.5608
162	1981	6	11	23.09	15.49	116.19	1.3302	13.50	0.58	3	0.6231
163	1981	6	12	23.15	15.50	116.28	1.3291	13.50	0.69	1	0.5470
...
233	2020	8	21	11.75	13.66	102.44	1.3609	11.69	0.17	6	0.8931
234	2020	8	22	11.40	13.61	102.06	1.3624	11.70	0.56	5	0.6466
235	2020	8	23	11.05	13.56	101.67	1.3637	12.00	0.66	1	0.5715
236	2020	8	24	10.69	13.50	101.27	1.3648	12.25	0.68	0	0.5480
237	2020	8	25	10.33	13.45	100.88	1.3658	12.20	0.68	0	0.5484
238	2020	8	26	9.97	13.40	100.48	1.3677	12.00	0.66	1	0.5678
239	2020	8	27	9.60	13.34	100.09	1.3695	11.80	0.63	2	0.5932
240	2020	8	28	9.23	13.29	99.69	1.3701	11.50	0.37	3	0.7663
241	2020	8	29	8.86	13.24	99.29	1.3715	12.00	0.66	1	0.5638
242	2020	8	30	8.48	13.18	98.88	1.3737	12.00	0.67	0	0.5561

243	2020	8	31	8.10	13.13	98.48	1.3748	12.00	0.68	0	0.5480
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.18

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 45° пн.ш. 30° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2, ^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного саява S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.18	113.88	1.3366	14.00	0.67	1	0.5379
153	1981	6	2	22.17	15.21	114.05	1.3363	13.50	0.66	1	0.5646
154	1981	6	3	22.30	15.23	114.22	1.3351	13.00	0.68	1	0.5671
155	1981	6	4	22.42	15.25	114.37	1.3350	14.00	0.66	1	0.5443
156	1981	6	5	22.54	15.27	114.52	1.3337	14.00	0.70	0	0.5197
157	1981	6	6	22.65	15.29	114.66	1.3336	14.00	0.72	0	0.5055
158	1981	6	7	22.75	15.31	114.79	1.3324	14.00	0.73	0	0.4957
159	1981	6	8	22.84	15.32	114.91	1.3323	14.00	0.73	0	0.5011
160	1981	6	9	22.93	15.34	115.03	1.3311	14.00	0.71	0	0.5160
161	1981	6	10	23.01	15.35	115.13	1.3310	13.81	0.71	0	0.5180
162	1981	6	11	23.09	15.36	115.23	1.3309	13.31	0.68	1	0.5545
163	1981	6	12	23.15	15.38	115.32	1.3297	14.00	0.66	1	0.5463
...
233	2020	8	21	11.75	13.60	102.01	1.3719	12.00	0.64	2	0.5884
234	2020	8	22	11.40	13.55	101.64	1.3737	12.10	0.64	1	0.5840
235	2020	8	23	11.05	13.50	101.26	1.3754	11.90	0.64	2	0.5899
236	2020	8	24	10.69	13.45	100.88	1.3769	12.00	0.66	1	0.5724
237	2020	8	25	10.33	13.40	100.50	1.3783	12.00	0.66	1	0.5712
238	2020	8	26	9.97	13.35	100.12	1.3806	11.60	0.64	4	0.5972
239	2020	8	27	9.60	13.30	99.74	1.3827	11.70	0.65	2	0.5864
240	2020	8	28	9.23	13.25	99.35	1.3837	11.70	0.65	2	0.5851
241	2020	8	29	8.86	13.20	98.97	1.3855	11.75	0.65	1	0.5822
242	2020	8	30	8.48	13.14	98.58	1.3882	11.75	0.66	1	0.5750

243	2020	8	31	8.10	13.09	98.19	1.3897	12.00	0.67	0	0.5581
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.19

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 45° пн.ш. 32° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця θ_2 , $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.18	113.88	1.3366	13.50	0.59	3	0.6044
153	1981	6	2	22.17	15.21	114.05	1.3363	13.50	0.61	2	0.5972
154	1981	6	3	22.30	15.23	114.22	1.3351	13.19	0.66	1	0.5749
155	1981	6	4	22.42	15.25	114.37	1.3350	13.50	0.67	1	0.5558
156	1981	6	5	22.54	15.27	114.52	1.3337	13.50	0.70	0	0.5369
157	1981	6	6	22.65	15.29	114.66	1.3336	13.50	0.71	0	0.5279
158	1981	6	7	22.75	15.31	114.79	1.3324	13.50	0.71	0	0.5328
159	1981	6	8	22.84	15.32	114.91	1.3323	13.50	0.66	1	0.5618
160	1981	6	9	22.93	15.34	115.03	1.3311	13.50	0.68	1	0.5475
161	1981	6	10	23.01	15.35	115.13	1.3310	13.50	0.70	0	0.5384
162	1981	6	11	23.09	15.36	115.23	1.3309	13.50	0.60	2	0.6026
163	1981	6	12	23.15	15.38	115.32	1.3297	13.50	0.69	0	0.5435
...
233	2020	8	21	11.75	13.60	102.01	1.3719	12.00	0.63	3	0.5948
234	2020	8	22	11.40	13.55	101.64	1.3737	11.60	0.52	3	0.6760
235	2020	8	23	11.05	13.50	101.26	1.3754	11.80	0.62	1	0.6060
236	2020	8	24	10.69	13.45	100.88	1.3769	12.20	0.67	0	0.5586
237	2020	8	25	10.33	13.40	100.50	1.3783	12.20	0.66	0	0.5640
238	2020	8	26	9.97	13.35	100.12	1.3806	11.80	0.61	3	0.6094
239	2020	8	27	9.60	13.30	99.74	1.3827	11.90	0.64	2	0.5858
240	2020	8	28	9.23	13.25	99.35	1.3837	11.75	0.63	3	0.5961
241	2020	8	29	8.86	13.20	98.97	1.3855	11.80	0.66	1	0.5740
242	2020	8	30	8.48	13.14	98.58	1.3882	11.90	0.66	0	0.5695

243	2020	8	31	8.10	13.09	98.19	1.3897	11.90	0.66	0	0.5683
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.20

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 45° пн.ш. 34° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2,$ $^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного світла S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.18	113.88	1.3366	13.37	0.49	5	0.6778
153	1981	6	2	22.17	15.21	114.05	1.3363	13.50	0.55	3	0.6344
154	1981	6	3	22.30	15.23	114.22	1.3351	13.00	0.58	3	0.6303
155	1981	6	4	22.42	15.25	114.37	1.3350	13.50	0.57	3	0.6235
156	1981	6	5	22.54	15.27	114.52	1.3337	13.50	0.66	1	0.5655
157	1981	6	6	22.65	15.29	114.66	1.3336	13.50	0.70	0	0.5374
158	1981	6	7	22.75	15.31	114.79	1.3324	13.50	0.73	0	0.5185
159	1981	6	8	22.84	15.32	114.91	1.3323	13.50	0.71	0	0.5332
160	1981	6	9	22.93	15.34	115.03	1.3311	13.50	0.71	0	0.5285
161	1981	6	10	23.01	15.35	115.13	1.3310	13.50	0.71	0	0.5337
162	1981	6	11	23.09	15.36	115.23	1.3309	13.50	0.68	2	0.5530
163	1981	6	12	23.15	15.38	115.32	1.3297	13.50	0.70	0	0.5387
...
233	2020	8	21	11.75	13.60	102.01	1.3719	11.60	0.59	4	0.6332
234	2020	8	22	11.40	13.55	101.64	1.3737	12.08	0.24	5	0.8443
235	2020	8	23	11.05	13.50	101.26	1.3754	11.90	0.66	1	0.5770
236	2020	8	24	10.69	13.45	100.88	1.3769	12.20	0.67	0	0.5586
237	2020	8	25	10.33	13.40	100.50	1.3783	12.20	0.67	0	0.5574
238	2020	8	26	9.97	13.35	100.12	1.3806	11.50	0.65	4	0.5944
239	2020	8	27	9.60	13.30	99.74	1.3827	11.60	0.64	3	0.5962
240	2020	8	28	9.23	13.25	99.35	1.3837	11.25	0.38	3	0.7668
241	2020	8	29	8.86	13.20	98.97	1.3855	12.00	0.67	0	0.5602
242	2020	8	30	8.48	13.14	98.58	1.3882	12.00	0.67	0	0.5593

243	2020	8	31	8.10	13.09	98.19	1.3897	11.95	0.67	0	0.5599
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.21

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 45° пн.ш. 36° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2, ^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного саява S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.18	113.88	1.3366	13.00	0.63	2	0.5940
153	1981	6	2	22.17	15.21	114.05	1.3363	12.81	0.60	2	0.6235
154	1981	6	3	22.30	15.23	114.22	1.3351	13.20	0.60	4	0.6111
155	1981	6	4	22.42	15.25	114.37	1.3350	13.00	0.59	3	0.6231
156	1981	6	5	22.54	15.27	114.52	1.3337	13.00	0.66	1	0.5816
157	1981	6	6	22.65	15.29	114.66	1.3336	13.30	0.65	1	0.5771
158	1981	6	7	22.75	15.31	114.79	1.3324	13.30	0.71	0	0.5349
159	1981	6	8	22.84	15.32	114.91	1.3323	13.31	0.69	0	0.5491
160	1981	6	9	22.93	15.34	115.03	1.3311	13.51	0.68	2	0.5472
161	1981	6	10	23.01	15.35	115.13	1.3310	13.70	0.71	0	0.5268
162	1981	6	11	23.09	15.36	115.23	1.3309	13.51	0.68	2	0.5527
163	1981	6	12	23.15	15.38	115.32	1.3297	13.51	0.71	0	0.5288
...
233	2020	8	21	11.75	13.60	102.01	1.3719	12.26	0.39	7	0.7438
234	2020	8	22	11.40	13.55	101.64	1.3737	11.10	0.39	5	0.7675
235	2020	8	23	11.05	13.50	101.26	1.3754	12.00	0.66	1	0.5735
236	2020	8	24	10.69	13.45	100.88	1.3769	12.20	0.66	0	0.5652
237	2020	8	25	10.33	13.40	100.50	1.3783	12.00	0.66	1	0.5712
238	2020	8	26	9.97	13.35	100.12	1.3806	11.70	0.64	4	0.5937
239	2020	8	27	9.60	13.30	99.74	1.3827	11.80	0.63	2	0.5957
240	2020	8	28	9.23	13.25	99.35	1.3837	11.20	0.35	3	0.7861
241	2020	8	29	8.86	13.20	98.97	1.3855	11.30	0.65	2	0.5982
242	2020	8	30	8.48	13.14	98.58	1.3882	11.30	0.65	0	0.5974

243	2020	8	31	8.10	13.09	98.19	1.3897	11.90	0.66	0	0.5683
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Таблиця Е.22

Сонячна радіація на верхню межу атмосфери та енергетичні втрати в хмарній атмосфері вузла 45° пн.ш. 38° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Кут схилення $\delta, ^\circ$	Тривалість дня S_0 , год	Годинний кут заходу Сонця $\theta_2, ^\circ$	Сонячна радіація на верхню межу атмосфери H_0 , кВт/м ²	Тривалість сонячного сьйва S , год	Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню H , кВт/м ²	Хмарність загальна (Total cloud) n , бали	Енергетичні втрати в хмарній атмосфері
152	1981	6	1	22.04	15.18	113.88	1.3366	13.19	0.56	3	0.6347
153	1981	6	2	22.17	15.21	114.05	1.3363	12.92	0.67	1	0.5740
154	1981	6	3	22.30	15.23	114.22	1.3351	13.50	0.44	6	0.7057
155	1981	6	4	22.42	15.25	114.37	1.3350	13.08	0.53	4	0.6588
156	1981	6	5	22.54	15.27	114.52	1.3337	13.27	0.58	3	0.6255
157	1981	6	6	22.65	15.29	114.66	1.3336	13.19	0.63	2	0.5900
158	1981	6	7	22.75	15.31	114.79	1.3324	13.00	0.58	3	0.6301
159	1981	6	8	22.84	15.32	114.91	1.3323	13.50	0.66	1	0.5665
160	1981	6	9	22.93	15.34	115.03	1.3311	13.50	0.68	1	0.5475
161	1981	6	10	23.01	15.35	115.13	1.3310	13.50	0.69	0	0.5432
162	1981	6	11	23.09	15.36	115.23	1.3309	13.50	0.71	0	0.5293
163	1981	6	12	23.15	15.38	115.32	1.3297	13.50	0.71	0	0.5340
...
233	2020	8	21	11.75	13.60	102.01	1.3719	12.13	0.26	7	0.8309
234	2020	8	22	11.40	13.55	101.64	1.3737	11.80	0.63	3	0.6007
235	2020	8	23	11.05	13.50	101.26	1.3754	12.30	0.68	0	0.5496
236	2020	8	24	10.69	13.45	100.88	1.3769	12.30	0.69	0	0.5417
237	2020	8	25	10.33	13.40	100.50	1.3783	12.25	0.68	0	0.5490
238	2020	8	26	9.97	13.35	100.12	1.3806	12.00	0.67	2	0.5637
239	2020	8	27	9.60	13.30	99.74	1.3827	11.75	0.62	3	0.6038
240	2020	8	28	9.23	13.25	99.35	1.3837	11.60	0.5	3	0.6836
241	2020	8	29	8.86	13.20	98.97	1.3855	11.60	0.66	1	0.5812
242	2020	8	30	8.48	13.14	98.58	1.3882	12.00	0.67	0	0.5593

243	2020	8	31	8.10	13.09	98.19	1.3897	11.95	0.69	0	0.5468
-----	------	---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	---	--------

Додаток Ж

Середньодобові індекси прозорості атмосфери K_t та індекси хмарності K_d Півдня України
за календарне літо 1981 – 2020 рр.

Таблиця Ж.1

Середньодобові індекси прозорості атмосфери K_t та індекси хмарності K_d вузла 48° пн.ш. 29° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розраховане значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
1	2	3	4	5	6	7
152	1981	6	1	0.62	0.62	0.00
153	1981	6	2	0.48	0.54	0.06
154	1981	6	3	0.26	0.32	0.06
155	1981	6	4	0.12	0.10	0.02
156	1981	6	5	0.15	0.20	0.05
157	1981	6	6	0.25	0.32	0.07
158	1981	6	7	0.26	0.31	0.05
159	1981	6	8	0.26	0.31	0.05
160	1981	6	9	0.29	0.31	0.02
161	1981	6	10	0.29	0.31	0.02
162	1981	6	11	0.18	0.20	0.02
163	1981	6	12	0.18	0.20	0.02
164	1981	6	13	0.09	0.10	0.01
165	1981	6	14	0.26	0.31	0.05
166	1981	6	15	0.20	0.20	0.00
167	1981	6	16	0.15	0.20	0.05
168	1981	6	17	0.13	0.10	0.00
169	1981	6	18	0.19	0.19	0.00
170	1981	6	19	0.18	0.19	0.01
171	1981	6	20	0.30	0.31	0.01

Продовження Таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
172	1981	6	21	0.18	0.19	0.15	7.72	7	0.1358	0.4572
173	1981	6	22	0.22	0.19	0.14	12.00	7	0.1660	0.3896
174	1981	6	23	0.23	0.19	0.14	15.95	7	0.1736	0.3743
175	1981	6	24	0.20	0.19	0.15	3.48	7	0.1510	0.4220
176	1981	6	25	0.21	0.19	0.14	8.21	7	0.1585	0.4055
177	1981	6	26	0.40	0.42	0.09	5.19	5	0.3020	0.1836
178	1981	6	27	0.32	0.31	0.11	4.59	6	0.2416	0.2599
179	1981	6	28	0.30	0.30	0.12	1.64	6	0.2265	0.2823
180	1981	6	29	0.25	0.30	0.13	21.80	6	0.1888	0.3456
181	1981	6	30	0.21	0.19	0.14	8.83	7	0.1586	0.4055
...
225	2020	8	13	0.52	0.60	0.07	14.58	2	0.3894	0.1196
226	2020	8	14	0.63	0.55	0	12.52	3	0.4722	0.0000
227	2020	8	15	0.61	0.58	0.03	4.75	3	0.4592	0.0422
228	2020	8	16	0.62	0.59	0.02	4.97	1	0.4620	0.0361
229	2020	8	17	0.64	0.51	0.01	20.97	0	0.4819	0.0096
230	2020	8	18	0.63	0.60	0.01	5.06	2	0.4712	0.0162
231	2020	8	19	0.64	0.60	0.01	7.33	2	0.4815	0.0098
232	2020	8	20	0.53	0.56	0.10	6.45	3	0.3930	0.1657
233	2020	8	21	0.62	0.59	0.01	3.77	2	0.4621	0.0186
234	2020	8	22	0.63	0.59	0.01	6.10	2	0.4725	0.0118
235	2020	8	23	0.63	0.55	0.01	13.51	1	0.4731	0.0102
236	2020	8	24	0.33	0.34	0.10	0.22	6	0.2497	0.2220
237	2020	8	25	0.32	0.11	0.18	66.72	8	0.2409	0.3543
238	2020	8	26	0.64	0.31	0.01	51.80	6	0.4806	0.0086
239	2020	8	27	0.33	0.27	0.14	18.36	6	0.2429	0.3067
240	2020	8	28	0.64	0.55	0.01	13.38	3	0.4767	0.0157
241	2020	8	29	0.65	0.55	0	14.34	1	0.4824	0.0000
242	2020	8	30	0.64	0.49	0	22.91	0	0.4747	0.0000
243	2020	8	31	0.65	0.49	0	24.35	0	0.4819	0.0000

Таблиця Ж.2

Середньодобові індекси прозорості атмосфери K_t та індекси хмарності K_d вузла 48° пн.ш. 31° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розраховане значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.47	0.54	0.07
153	1981	6	2	0.48	0.62	0.14
154	1981	6	3	0.48	0.66	0.18
155	1981	6	4	0.46	0.44	0.02
156	1981	6	5	0.48	0.56	0.08
157	1981	6	6	0.42	0.54	0.12
158	1981	6	7	0.48	0.43	0.05
159	1981	6	8	0.48	0.62	0.14
160	1981	6	9	0.46	0.64	0.18
161	1981	6	10	0.43	0.54	0.11
162	1981	6	11	0.48	0.65	0.17
163	1981	6	12	0.48	0.61	0.13
...
233	2020	8	21	0.63	0.49	0.14
234	2020	8	22	0.39	0.56	0.17
235	2020	8	23	0.66	0.50	0.16
236	2020	8	24	0.62	0.58	0.22
237	2020	8	25	0.43	0.55	0.12
238	2020	8	26	0.54	0.48	0.05
239	2020	8	27	0.35	0.48	0.13
240	2020	8	28	0.64	0.55	0.11
241	2020	8	29	0.65	0.58	0.13
242	2020	8	30	0.65	0.49	0.05
243	2020	8	31	0.67	0.49	0.05

Таблиця Ж.3

Середньодобові індекси прозорості атмосфери K_t та індекси хмарності K_d вузла 48° пн.ш. 33° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня D_n	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розраховане значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна
152	1981	6	1	0.56	0.62	0
153	1981	6	2	0.48	0.54	0
154	1981	6	3	0.70	0.65	0
155	1981	6	4	0.47	0.54	0
156	1981	6	5	0.52	0.62	0
157	1981	6	6	0.38	0.43	0
158	1981	6	7	0.47	0.54	0
159	1981	6	8	0.52	0.62	0
160	1981	6	9	0.46	0.54	0
161	1981	6	10	0.47	0.54	0
162	1981	6	11	0.58	0.61	0
163	1981	6	12	0.47	0.53	0
...
233	2020	8	21	0.63	0.28	0
234	2020	8	22	0.16	0.28	0
235	2020	8	23	0.68	0.58	0
236	2020	8	24	0.66	0.50	0
237	2020	8	25	0.61	0.59	0
238	2020	8	26	0.52	0.59	0
239	2020	8	27	0.34	0.55	0
240	2020	8	28	0.59	0.55	0
241	2020	8	29	0.64	0.49	0
242	2020	8	30	0.66	0.49	0
243	2020	8	31	0.67	0.49	0

Таблиця Ж.4

Середньодобові індекси прозорості атмосфери K_t та індекси хмарності K_d вузла 48° пн.ш. 35° сх.д.

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.49	0.62	0.13
153	1981	6	2	0.48	0.54	0.06
154	1981	6	3	0.50	0.62	0.12
155	1981	6	4	0.49	0.62	0.13
156	1981	6	5	0.47	0.43	0.06
157	1981	6	6	0.45	0.32	0.06
158	1981	6	7	0.45	0.66	0.21
159	1981	6	8	0.49	0.66	0.17
160	1981	6	9	0.45	0.64	0.19
161	1981	6	10	0.47	0.66	0.19
162	1981	6	11	0.50	0.61	0.11
163	1981	6	12	0.47	0.53	0.06
...
233	2020	8	21	0.53	0.49	0.04
234	2020	8	22	0.24	0.39	0.15
235	2020	8	23	0.68	0.50	0.18
236	2020	8	24	0.67	0.50	0.17
237	2020	8	25	0.59	0.57	0.18
238	2020	8	26	0.63	0.59	0.16
239	2020	8	27	0.50	0.48	0.08
240	2020	8	28	0.44	0.48	0.04
241	2020	8	29	0.65	0.49	0.16
242	2020	8	30	0.67	0.57	0.10
243	2020	8	31	0.66	0.49	0.17

Таблиця Ж.1

65

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.35	0.44	0.09
153	1981	6	2	0.47	0.54	0.07
154	1981	6	3	0.34	0.44	0.10
155	1981	6	4	0.46	0.54	0.08
156	1981	6	5	0.35	0.43	0.08
157	1981	6	6	0.28	0.32	0.04
158	1981	6	7	0.47	0.54	0.07
159	1981	6	8	0.49	0.62	0.13
160	1981	6	9	0.49	0.62	0.13
161	1981	6	10	0.48	0.54	0.06
162	1981	6	11	0.59	0.65	0.06
163	1981	6	12	0.47	0.53	0.06
...
233	2020	8	21	0.40	0.09	0.31
234	2020	8	22	0.18	0.28	0.10
235	2020	8	23	0.66	0.50	0.16
236	2020	8	24	0.68	0.50	0.18
237	2020	8	25	0.68	0.57	0.11
238	2020	8	26	0.54	0.59	0.05
239	2020	8	27	0.50	0.48	0.02
240	2020	8	28	0.33	0.38	0.05
241	2020	8	29	0.65	0.49	0.16
242	2020	8	30	0.65	0.49	0.16
243	2020	8	31	0.67	0.49	0.18

Таблиця Ж.1

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.28	0.32	0.04
153	1981	6	2	0.43	0.54	0.11
154	1981	6	3	0.42	0.54	0.12
155	1981	6	4	0.47	0.54	0.07
156	1981	6	5	0.46	0.54	0.08
157	1981	6	6	0.41	0.54	0.13
158	1981	6	7	0.48	0.54	0.06
159	1981	6	8	0.58	0.62	0.04
160	1981	6	9	0.65	0.66	0.01
161	1981	6	10	0.66	0.66	0.00
162	1981	6	11	0.60	0.65	0.05
163	1981	6	12	0.57	0.61	0.04
...
233	2020	8	21	0.29	0.18	0.11
234	2020	8	22	0.09	0.39	0.30
235	2020	8	23	0.60	0.59	0.01
236	2020	8	24	0.66	0.50	0.16
237	2020	8	25	0.68	0.50	0.18
238	2020	8	26	0.64	0.55	0.09
239	2020	8	27	0.59	0.55	0.04
240	2020	8	28	0.30	0.48	0.18
241	2020	8	29	0.64	0.58	0.06
242	2020	8	30	0.68	0.57	0.11
243	2020	8	31	0.68	0.49	0.19

Таблиця Ж.1

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.48	0.54	0.06
153	1981	6	2	0.67	0.66	0.01
154	1981	6	3	0.49	0.62	0.13
155	1981	6	4	0.47	0.54	0.07
156	1981	6	5	0.69	0.65	0.04
157	1981	6	6	0.67	0.66	0.01
158	1981	6	7	0.46	0.54	0.08
159	1981	6	8	0.68	0.66	0.02
160	1981	6	9	0.49	0.62	0.13
161	1981	6	10	0.54	0.62	0.08
162	1981	6	11	0.58	0.62	0.04
163	1981	6	12	0.57	0.61	0.04
...
233	2020	8	21	0.65	0.54	0.11
234	2020	8	22	0.52	0.59	0.07
235	2020	8	23	0.66	0.50	0.16
236	2020	8	24	0.65	0.56	0.09
237	2020	8	25	0.62	0.59	0.03
238	2020	8	26	0.64	0.44	0.20
239	2020	8	27	0.40	0.53	0.13
240	2020	8	28	0.64	0.50	0.14
241	2020	8	29	0.64	0.58	0.06
242	2020	8	30	0.66	0.49	0.17
243	2020	8	31	0.67	0.49	0.18

Таблиця Ж.1

68

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.67	0.67	0.00
153	1981	6	2	0.49	0.62	0.00
154	1981	6	3	0.65	0.66	0.00
155	1981	6	4	0.49	0.62	0.00
156	1981	6	5	0.68	0.66	0.00
157	1981	6	6	0.44	0.54	0.00
158	1981	6	7	0.64	0.66	0.00
159	1981	6	8	0.50	0.62	0.00
160	1981	6	9	0.49	0.62	0.00
161	1981	6	10	0.69	0.64	0.00
162	1981	6	11	0.48	0.54	0.00
163	1981	6	12	0.50	0.61	0.00
...
233	2020	8	21	0.63	0.53	0.00
234	2020	8	22	0.23	0.52	0.00
235	2020	8	23	0.66	0.50	0.00
236	2020	8	24	0.67	0.55	0.00
237	2020	8	25	0.65	0.59	0.00
238	2020	8	26	0.61	0.55	0.00
239	2020	8	27	0.56	0.43	0.00
240	2020	8	28	0.66	0.53	0.00
241	2020	8	29	0.66	0.58	0.00
242	2020	8	30	0.67	0.49	0.00
243	2020	8	31	0.66	0.49	0.00

Таблиця Ж.1

69

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації <i>I_{табл}</i> , кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації <i>I_{розрах}</i> , кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація <i>I_{розс}</i> , кВт/м ²
152	1981	6	1	0.61	0.67	0.06
153	1981	6	2	0.48	0.54	0.06
154	1981	6	3	0.65	0.66	0.01
155	1981	6	4	0.45	0.54	0.09
156	1981	6	5	0.69	0.65	0.06
157	1981	6	6	0.49	0.62	0.13
158	1981	6	7	0.54	0.62	0.08
159	1981	6	8	0.59	0.66	0.07
160	1981	6	9	0.50	0.62	0.12
161	1981	6	10	0.65	0.66	0.01
162	1981	6	11	0.49	0.62	0.13
163	1981	6	12	0.68	0.65	0.06
...
233	2020	8	21	0.43	0.53	0.10
234	2020	8	22	0.28	0.39	0.11
235	2020	8	23	0.67	0.53	0.14
236	2020	8	24	0.66	0.51	0.15
237	2020	8	25	0.66	0.54	0.12
238	2020	8	26	0.60	0.50	0.10
239	2020	8	27	0.50	0.40	0.10
240	2020	8	28	0.60	0.52	0.10
241	2020	8	29	0.66	0.57	0.09
242	2020	8	30	0.67	0.49	0.18
243	2020	8	31	0.66	0.49	0.17

Таблиця Ж.17

0

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{табл} , кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{розрах} , кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація <i>I</i> _{розс} , кВт/м ²
152	1981	6	1	0.43	0.54	0.11
153	1981	6	2	0.43	0.54	0.11
154	1981	6	3	0.42	0.54	0.12
155	1981	6	4	0.49	0.62	0.13
156	1981	6	5	0.49	0.62	0.13
157	1981	6	6	0.49	0.43	0.14
158	1981	6	7	0.48	0.54	0.15
159	1981	6	8	0.49	0.62	0.16
160	1981	6	9	0.58	0.66	0.17
161	1981	6	10	0.56	0.66	0.18
162	1981	6	11	0.61	0.65	0.19
163	1981	6	12	0.54	0.61	0.20
...
233	2020	8	21	0.29	0.18	0.11
234	2020	8	22	0.09	0.44	0.12
235	2020	8	23	0.68	0.50	0.13
236	2020	8	24	0.68	0.50	0.14
237	2020	8	25	0.68	0.52	0.15
238	2020	8	26	0.48	0.56	0.16
239	2020	8	27	0.30	0.41	0.17
240	2020	8	28	0.38	0.41	0.18
241	2020	8	29	0.66	0.49	0.19
242	2020	8	30	0.67	0.49	0.20
243	2020	8	31	0.66	0.49	0.21

Таблиця Ж.17

1

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна
152	1981	6	1	0.34	0.32	0
153	1981	6	2	0.49	0.62	0
154	1981	6	3	0.32	0.32	0
155	1981	6	4	0.49	0.62	0
156	1981	6	5	0.49	0.62	0
157	1981	6	6	0.43	0.54	0
158	1981	6	7	0.46	0.54	0
159	1981	6	8	0.65	0.64	0
160	1981	6	9	0.66	0.64	0
161	1981	6	10	0.64	0.64	0
162	1981	6	11	0.60	0.65	0
163	1981	6	12	0.65	0.64	0
...
233	2020	8	21	0.27	0.19	0
234	2020	8	22	0.20	0.30	0
235	2020	8	23	0.62	0.55	0
236	2020	8	24	0.68	0.51	0
237	2020	8	25	0.68	0.50	0
238	2020	8	26	0.64	0.58	0
239	2020	8	27	0.60	0.48	0
240	2020	8	28	0.23	0.44	0
241	2020	8	29	0.65	0.52	0
242	2020	8	30	0.67	0.49	0
243	2020	8	31	0.68	0.49	0

Таблиця Ж.17

2

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.47	0.55	0.08
153	1981	6	2	0.50	0.63	0.13
154	1981	6	3	0.50	0.62	0.12
155	1981	6	4	0.47	0.62	0.15
156	1981	6	5	0.57	0.66	0.09
157	1981	6	6	0.68	0.56	0.12
158	1981	6	7	0.49	0.62	0.13
159	1981	6	8	0.59	0.66	0.07
160	1981	6	9	0.65	0.64	0.09
161	1981	6	10	0.68	0.56	0.12
162	1981	6	11	0.48	0.54	0.06
163	1981	6	12	0.48	0.54	0.06
...
233	2020	8	21	0.65	0.59	0.06
234	2020	8	22	0.63	0.59	0.06
235	2020	8	23	0.65	0.58	0.07
236	2020	8	24	0.63	0.58	0.06
237	2020	8	25	0.52	0.59	0.07
238	2020	8	26	0.64	0.34	0.30
239	2020	8	27	0.64	0.53	0.11
240	2020	8	28	0.63	0.58	0.05
241	2020	8	29	0.60	0.55	0.05
242	2020	8	30	0.66	0.57	0.09
243	2020	8	31	0.66	0.49	0.17

Таблиця Ж.17

3

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.51	0.63	0.12
153	1981	6	2	0.51	0.63	0.12
154	1981	6	3	0.57	0.66	0.09
155	1981	6	4	0.55	0.66	0.11
156	1981	6	5	0.65	0.65	0.01
157	1981	6	6	0.60	0.66	0.06
158	1981	6	7	0.60	0.66	0.06
159	1981	6	8	0.61	0.66	0.05
160	1981	6	9	0.64	0.64	0.00
161	1981	6	10	0.68	0.56	0.12
162	1981	6	11	0.46	0.54	0.08
163	1981	6	12	0.60	0.65	0.05
...
233	2020	8	21	0.64	0.49	0.15
234	2020	8	22	0.59	0.59	0.00
235	2020	8	23	0.65	0.58	0.07
236	2020	8	24	0.65	0.56	0.09
237	2020	8	25	0.66	0.59	0.07
238	2020	8	26	0.63	0.44	0.19
239	2020	8	27	0.64	0.53	0.11
240	2020	8	28	0.65	0.50	0.15
241	2020	8	29	0.62	0.57	0.05
242	2020	8	30	0.65	0.49	0.16
243	2020	8	31	0.65	0.49	0.16

Таблиця Ж.17

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{табл} , кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{розрах} , кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація <i>I</i> _{розс} , кВт/м ²
152	1981	6	1	0.60	0.67	0.07
153	1981	6	2	0.50	0.63	0.13
154	1981	6	3	0.68	0.56	0.12
155	1981	6	4	0.47	0.54	0.07
156	1981	6	5	0.69	0.56	0.12
157	1981	6	6	0.60	0.66	0.06
158	1981	6	7	0.67	0.64	0.07
159	1981	6	8	0.52	0.62	0.10
160	1981	6	9	0.60	0.66	0.06
161	1981	6	10	0.70	0.56	0.14
162	1981	6	11	0.43	0.54	0.11
163	1981	6	12	0.65	0.64	0.09
...
233	2020	8	21	0.64	0.59	0.05
234	2020	8	22	0.39	0.32	0.07
235	2020	8	23	0.65	0.53	0.12
236	2020	8	24	0.64	0.50	0.14
237	2020	8	25	0.66	0.57	0.09
238	2020	8	26	0.61	0.43	0.18
239	2020	8	27	0.65	0.48	0.17
240	2020	8	28	0.64	0.52	0.12
241	2020	8	29	0.65	0.51	0.14
242	2020	8	30	0.66	0.52	0.14
243	2020	8	31	0.64	0.49	0.15

Таблиця Ж.17

5

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації <i>I_{табл}</i> , кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації <i>I_{розрах}</i> , кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація <i>I_{розс}</i> , кВт/м ²
152	1981	6	1	0.60	0.67	0.07
153	1981	6	2	0.49	0.63	0.14
154	1981	6	3	0.49	0.44	0.15
155	1981	6	4	0.46	0.54	0.08
156	1981	6	5	0.64	0.65	0.01
157	1981	6	6	0.65	0.65	0.00
158	1981	6	7	0.52	0.62	0.10
159	1981	6	8	0.60	0.66	0.06
160	1981	6	9	0.66	0.64	0.02
161	1981	6	10	0.68	0.56	0.12
162	1981	6	11	0.52	0.62	0.10
163	1981	6	12	0.62	0.64	0.02
...
233	2020	8	21	0.29	0.27	0.02
234	2020	8	22	0.15	0.30	0.15
235	2020	8	23	0.66	0.59	0.07
236	2020	8	24	0.66	0.53	0.13
237	2020	8	25	0.67	0.52	0.15
238	2020	8	26	0.62	0.48	0.14
239	2020	8	27	0.51	0.53	0.02
240	2020	8	28	0.36	0.52	0.16
241	2020	8	29	0.67	0.58	0.09
242	2020	8	30	0.67	0.49	0.18
243	2020	8	31	0.68	0.49	0.19

Таблиця Ж.17

6

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна
152	1981	6	1	0.52	0.63	0
153	1981	6	2	0.56	0.66	0
154	1981	6	3	0.38	0.44	0
155	1981	6	4	0.55	0.66	0
156	1981	6	5	0.57	0.66	0
157	1981	6	6	0.64	0.65	0
158	1981	6	7	0.56	0.66	0
159	1981	6	8	0.62	0.64	0
160	1981	6	9	0.66	0.64	0
161	1981	6	10	0.68	0.56	0
162	1981	6	11	0.70	0.56	0
163	1981	6	12	0.69	0.56	0
...
233	2020	8	21	0.34	0.22	0
234	2020	8	22	0.17	0.46	0
235	2020	8	23	0.67	0.53	0
236	2020	8	24	0.67	0.53	0
237	2020	8	25	0.67	0.50	0
238	2020	8	26	0.55	0.57	0
239	2020	8	27	0.39	0.57	0
240	2020	8	28	0.20	0.55	0
241	2020	8	29	0.66	0.55	0
242	2020	8	30	0.66	0.49	0
243	2020	8	31	0.67	0.49	0

Таблиця Ж.17

7

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{табл} , кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{розрах} , кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація <i>I</i> _{розс} , кВт/м ²
152	1981	6	1	0.46	0.55	0.09
153	1981	6	2	0.50	0.44	0.04
154	1981	6	3	0.45	0.54	0.09
155	1981	6	4	0.42	0.44	0.02
156	1981	6	5	0.53	0.62	0.09
157	1981	6	6	0.51	0.54	0.03
158	1981	6	7	0.47	0.54	0.07
159	1981	6	8	0.64	0.66	0.02
160	1981	6	9	0.66	0.64	0.02
161	1981	6	10	0.65	0.64	0.01
162	1981	6	11	0.52	0.62	0.10
163	1981	6	12	0.68	0.64	0.06
...
233	2020	8	21	0.04	0.28	0.24
234	2020	8	22	0.48	0.39	0.01
235	2020	8	23	0.65	0.55	0.10
236	2020	8	24	0.68	0.51	0.17
237	2020	8	25	0.68	0.50	0.18
238	2020	8	26	0.56	0.57	0.01
239	2020	8	27	0.51	0.58	0.07
240	2020	8	28	0.17	0.55	0.38
241	2020	8	29	0.65	0.57	0.08
242	2020	8	30	0.67	0.49	0.18
243	2020	8	31	0.68	0.49	0.19

Таблиця Ж.17

8

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.65	0.65	0.00
153	1981	6	2	0.63	0.65	0.00
154	1981	6	3	0.66	0.65	0.00
155	1981	6	4	0.64	0.65	0.00
156	1981	6	5	0.69	0.56	0.00
157	1981	6	6	0.72	0.56	0.00
158	1981	6	7	0.74	0.56	0.00
159	1981	6	8	0.73	0.56	0.00
160	1981	6	9	0.70	0.56	0.00
161	1981	6	10	0.71	0.56	0.00
162	1981	6	11	0.67	0.64	0.00
163	1981	6	12	0.64	0.64	0.00
...
233	2020	8	21	0.63	0.59	0.00
234	2020	8	22	0.63	0.58	0.00
235	2020	8	23	0.63	0.59	0.00
236	2020	8	24	0.65	0.58	0.00
237	2020	8	25	0.65	0.57	0.00
238	2020	8	26	0.63	0.48	0.00
239	2020	8	27	0.64	0.58	0.00
240	2020	8	28	0.64	0.58	0.00
241	2020	8	29	0.64	0.55	0.00
242	2020	8	30	0.66	0.57	0.00
243	2020	8	31	0.67	0.49	0.00

Таблиця Ж.17

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.55	0.63	0.08
153	1981	6	2	0.56	0.67	0.11
154	1981	6	3	0.63	0.65	0.02
155	1981	6	4	0.65	0.65	0.00
156	1981	6	5	0.69	0.56	-0.09
157	1981	6	6	0.71	0.56	-0.15
158	1981	6	7	0.70	0.56	-0.14
159	1981	6	8	0.64	0.64	0.00
160	1981	6	9	0.67	0.64	-0.03
161	1981	6	10	0.69	0.56	-0.13
162	1981	6	11	0.56	0.66	0.10
163	1981	6	12	0.68	0.56	-0.12
...
233	2020	8	21	0.61	0.54	-0.07
234	2020	8	22	0.41	0.57	0.16
235	2020	8	23	0.58	0.55	-0.03
236	2020	8	24	0.66	0.51	-0.15
237	2020	8	25	0.65	0.54	-0.11
238	2020	8	26	0.57	0.53	-0.04
239	2020	8	27	0.62	0.58	0.06
240	2020	8	28	0.60	0.57	-0.03
241	2020	8	29	0.64	0.54	-0.10
242	2020	8	30	0.66	0.49	-0.17
243	2020	8	31	0.64	0.49	-0.15

Таблиця Ж.18

0

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{табл} , кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації <i>I</i> _{розрах} , кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація <i>I</i> _{розс} , кВт/м ²
152	1981	6	1	0.40	0.44	0.04
153	1981	6	2	0.48	0.63	0.15
154	1981	6	3	0.52	0.62	0.10
155	1981	6	4	0.51	0.62	0.11
156	1981	6	5	0.63	0.65	0.02
157	1981	6	6	0.69	0.56	0.13
158	1981	6	7	0.73	0.56	0.17
159	1981	6	8	0.70	0.56	0.16
160	1981	6	9	0.71	0.56	0.15
161	1981	6	10	0.70	0.56	0.14
162	1981	6	11	0.66	0.66	0.00
163	1981	6	12	0.69	0.56	0.13
...
233	2020	8	21	0.47	0.45	0.02
234	2020	8	22	0.08	0.38	0.30
235	2020	8	23	0.65	0.56	0.09
236	2020	8	24	0.66	0.51	0.15
237	2020	8	25	0.66	0.52	0.14
238	2020	8	26	0.55	0.48	0.07
239	2020	8	27	0.53	0.54	0.01
240	2020	8	28	0.19	0.55	0.36
241	2020	8	29	0.67	0.52	0.15
242	2020	8	30	0.67	0.49	0.18
243	2020	8	31	0.66	0.49	0.17

Таблиця Ж.18

1

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна радіація $I_{\text{розсіяна}}$, кВт/м ²
152	1981	6	1	0.60	0.67	0.07
153	1981	6	2	0.55	0.67	0.12
154	1981	6	3	0.55	0.54	0.09
155	1981	6	4	0.54	0.62	0.08
156	1981	6	5	0.63	0.65	0.02
157	1981	6	6	0.62	0.65	0.03
158	1981	6	7	0.71	0.56	0.15
159	1981	6	8	0.68	0.56	0.12
160	1981	6	9	0.67	0.66	0.09
161	1981	6	10	0.70	0.56	0.14
162	1981	6	11	0.66	0.66	0.09
163	1981	6	12	0.71	0.56	0.15
...
233	2020	8	21	0.20	0.19	0.01
234	2020	8	22	0.21	0.39	0.18
235	2020	8	23	0.65	0.58	0.07
236	2020	8	24	0.65	0.50	0.15
237	2020	8	25	0.65	0.56	0.09
238	2020	8	26	0.62	0.48	0.14
239	2020	8	27	0.52	0.58	0.06
240	2020	8	28	0.16	0.56	0.40
241	2020	8	29	0.63	0.58	0.05
242	2020	8	30	0.65	0.52	0.13
243	2020	8	31	0.64	0.49	0.15

Таблиця Ж.18

2

День року, починаючи з 1 січня <i>D_n</i>	Рік	Місяць	День	Табличне значення прямої сонячної радіації $I_{\text{табл}}$, кВт/м ²	Розрахункове значення прямої сонячної радіації $I_{\text{розрах}}$, кВт/м ²	Розсіяна сонячна
152	1981	6	1	0.50	0.63	0
153	1981	6	2	0.65	0.65	0
154	1981	6	3	0.34	0.32	0
155	1981	6	4	0.46	0.54	0
156	1981	6	5	0.52	0.62	0
157	1981	6	6	0.60	0.66	0
158	1981	6	7	0.53	0.62	0
159	1981	6	8	0.63	0.64	0
160	1981	6	9	0.67	0.64	0
161	1981	6	10	0.68	0.56	0
162	1981	6	11	0.71	0.56	0
163	1981	6	12	0.70	0.56	0
...
233	2020	8	21	0.09	0.22	0
234	2020	8	22	0.60	0.56	0
235	2020	8	23	0.68	0.53	0
236	2020	8	24	0.69	0.53	0
237	2020	8	25	0.68	0.50	0
238	2020	8	26	0.67	0.59	0
239	2020	8	27	0.50	0.57	0
240	2020	8	28	0.32	0.55	0
241	2020	8	29	0.56	0.55	0
242	2020	8	30	0.67	0.49	0
243	2020	8	31	0.69	0.49	0

Додаток 3

Середньомісячні значення індексу прозорості атмосфери Півдня України за календарне літо 1981 – 2020 рр.

Широта, °	Довгота, °
-----------	------------

	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	ЧЕРВЕНЬ										
48	0.3049		0.3066		0.3198		0.3209		0.3170		0.3188
47		0.3233		0.3246		0.3339		0.3281		0.3365	
46	0.3297		0.3405		0.3434		0.3482		0.3830		0.3455
45		0.4006		0.3845		0.3533		0.3819		0.3449	
	ЛИПЕНЬ										
48	0.3156		0.3284		0.3402		0.3485		0.3596		0.3369
47		0.3489		0.3573		0.3634		0.3552		0.3564	
46	0.3531		0.3690		0.3769		0.3802		0.4151		0.3722
45		0.4293		0.4172		0.3918		0.4126		0.3767	
	СЕРПЕНЬ										
48	0.3295		0.3418		0.3479		0.3587		0.3596		0.3585
47		0.3566		0.3636		0.3710		0.3708		0.3718	
46	0.3589		0.3728		0.3777		0.3789		0.4094		0.3747
45		0.4188		0.4033		0.3816		0.4004		0.3762	
	КАЛЕНДАРНЕ ЛІТО										
48	0.3167		0.3256		0.3360		0.3427		0.3393		0.3381
47		0.3429		0.3485		0.3561		0.3514		0.3549	
46	0.3477		0.3608		0.3660		0.3691		0.4025		0.3641
45		0.4162		0.4017		0.3756		0.3983		0.3659	

Додаток К

Середньомісячні значення індексумарності Півдня України за календарне літо 1981 – 2020 рр.

Широта, °	Довгота, °										
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	ЧЕРВЕНЬ										
48	0.2667		0.2608		0.2403		0.2352		0.2438		0.2495
47		0.2364		0.2351		0.2284		0.2307		0.2235	
46	0.2331		0.2273		0.2235		0.2127		0.1838		0.2268
45		0.1666		0.1782		0.2100		0.1844		0.2187	
	ЛИПЕНЬ										
48	0.2361		0.2280		0.2112		0.2044		0.2213		0.2259
47		0.1948		0.1903		0.1863		0.1986		0.2018	
46	0.1927		0.1858		0.1743		0.1685		0.1444		0.1940
45		0.1309		0.1367		0.1587		0.1445		0.1839	
	СЕРПЕНЬ										
48	0.2342		0.2333		0.2241		0.2131		0.2209		0.2132
47		0.2044		0.2021		0.1962		0.1943		0.1817	
46	0.1909		0.1865		0.1887		0.1753		0.1543		0.1861
45		0.1417		0.1428		0.1727		0.1431		0.1794	
	КАЛЕНДАРНЕ ЛІТО										
48	0.2457		0.2407		0.2252		0.2175		0.2286		0.2295
47		0.2119		0.2092		0.2036		0.2079		0.2024	
46	0.2055		0.1999		0.1955		0.1855		0.1608		0.2023
45		0.1464		0.1526		0.1805		0.1573		0.1940	

Діаграми розсіювання середньодобових і середньомісячних значень індексу хмарності та індексу прозорості атмосфери Півдня України за період календарного літа 1981 - 2020 років

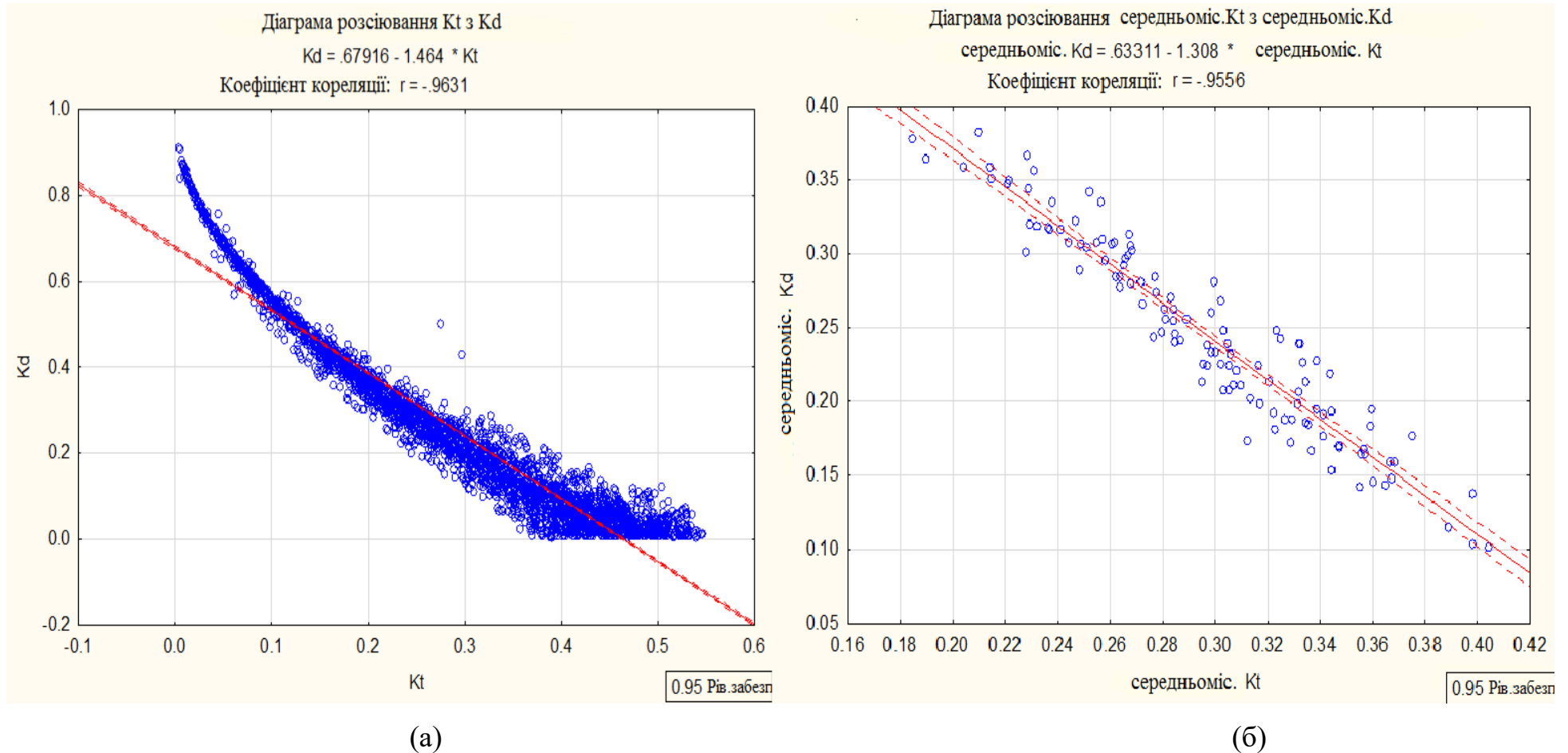
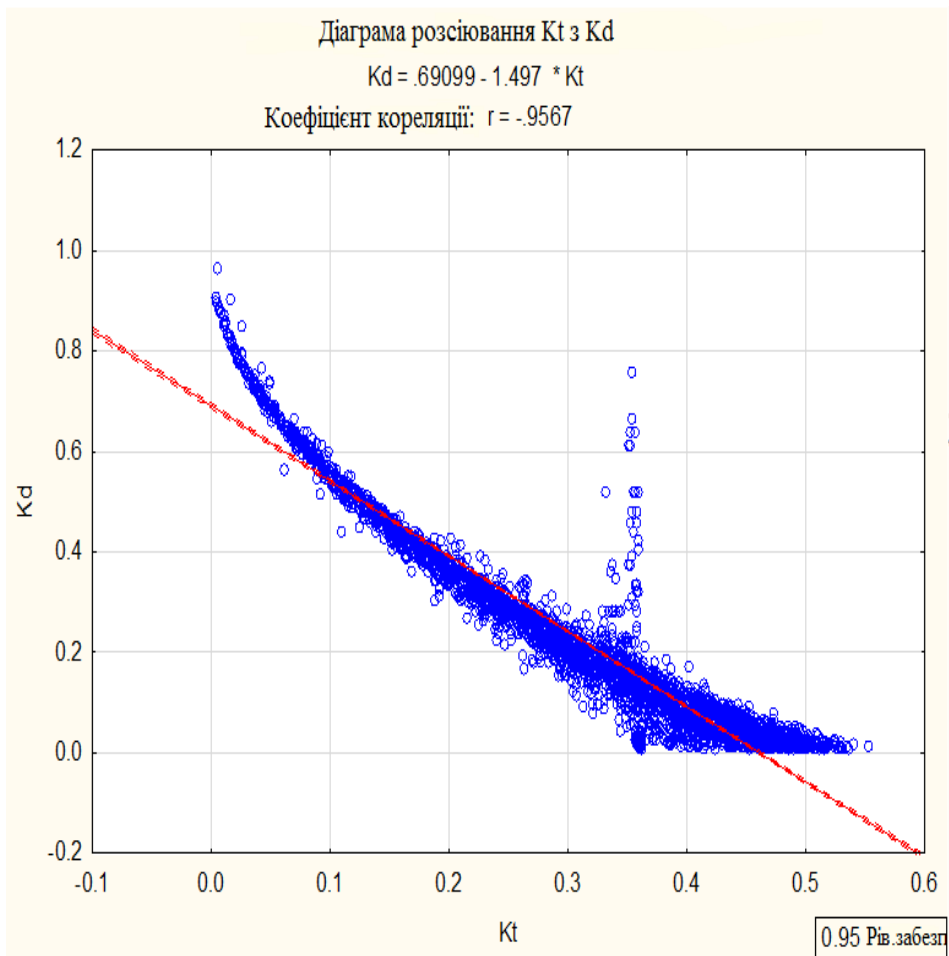
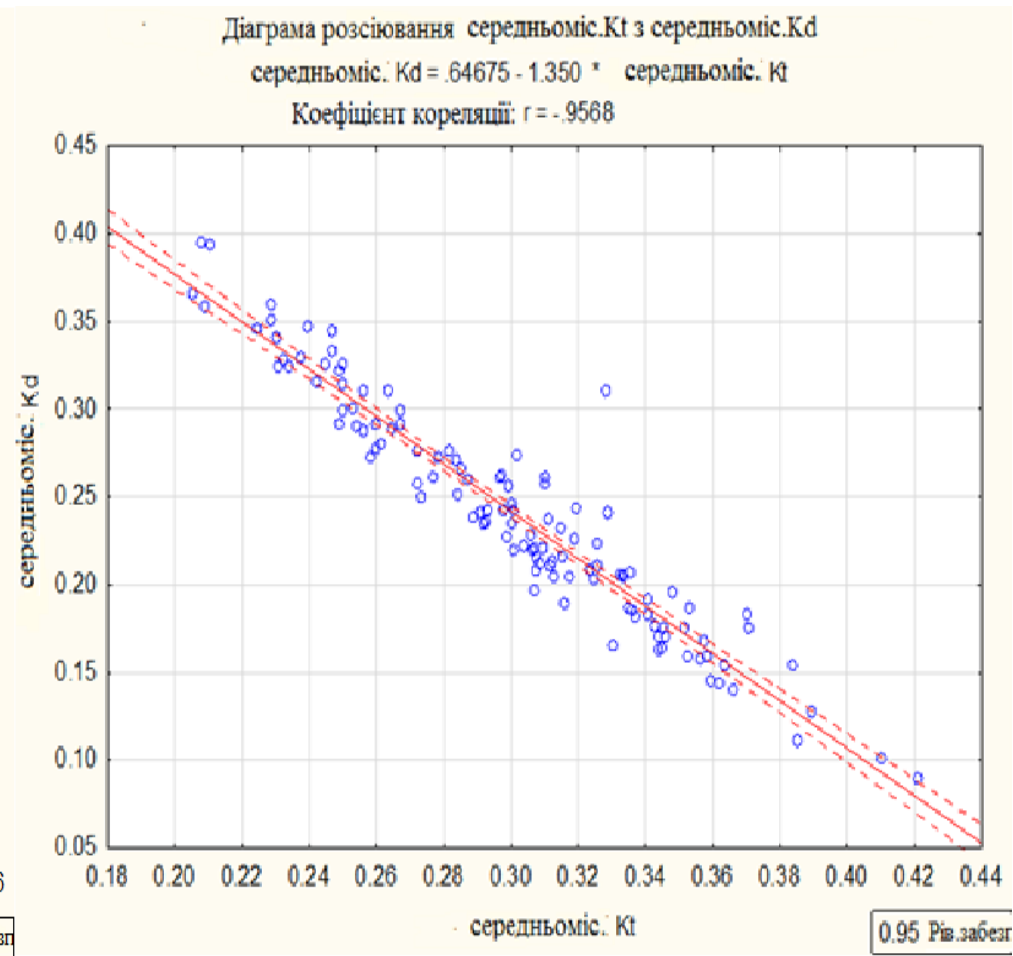


Рис. Л.1. Діаграми розсіювання середньодобових(а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 48° пн.ш. 29° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(a)



(б)

Рис. Л.2. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 48° пн.ш. 31° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років

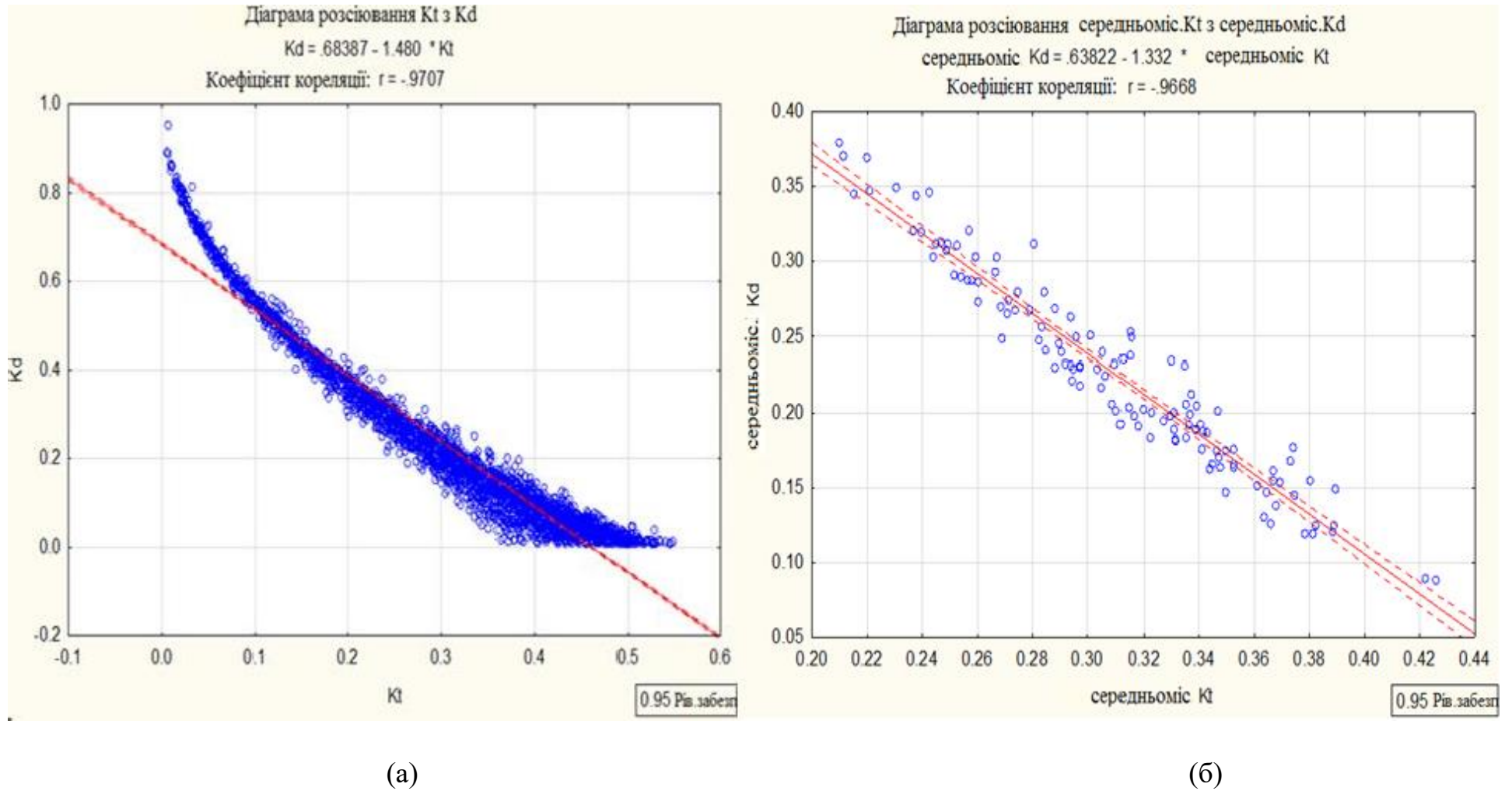
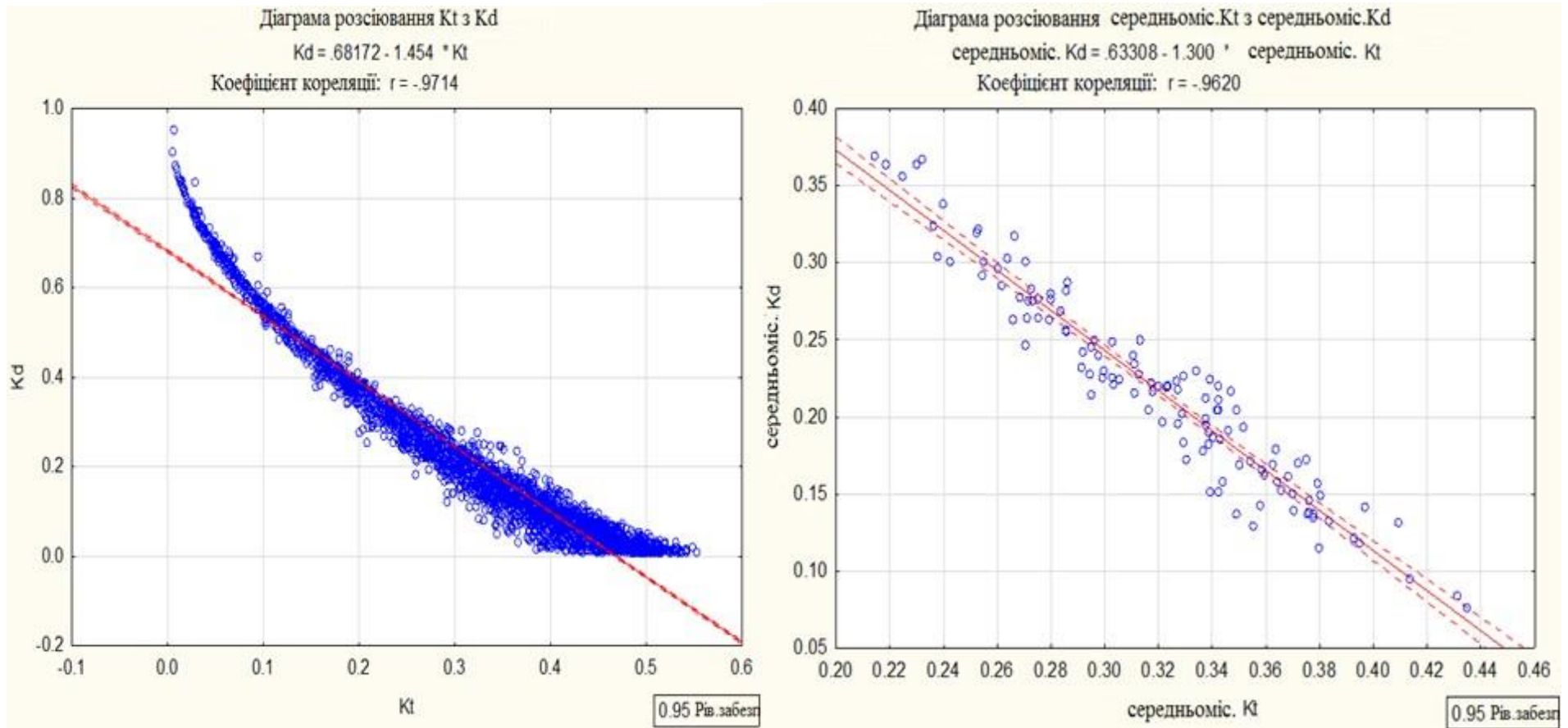


Рис. Л.3. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 48° пн.ш. 33° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

Рис. Л.4. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 48° пн.ш. 35° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років

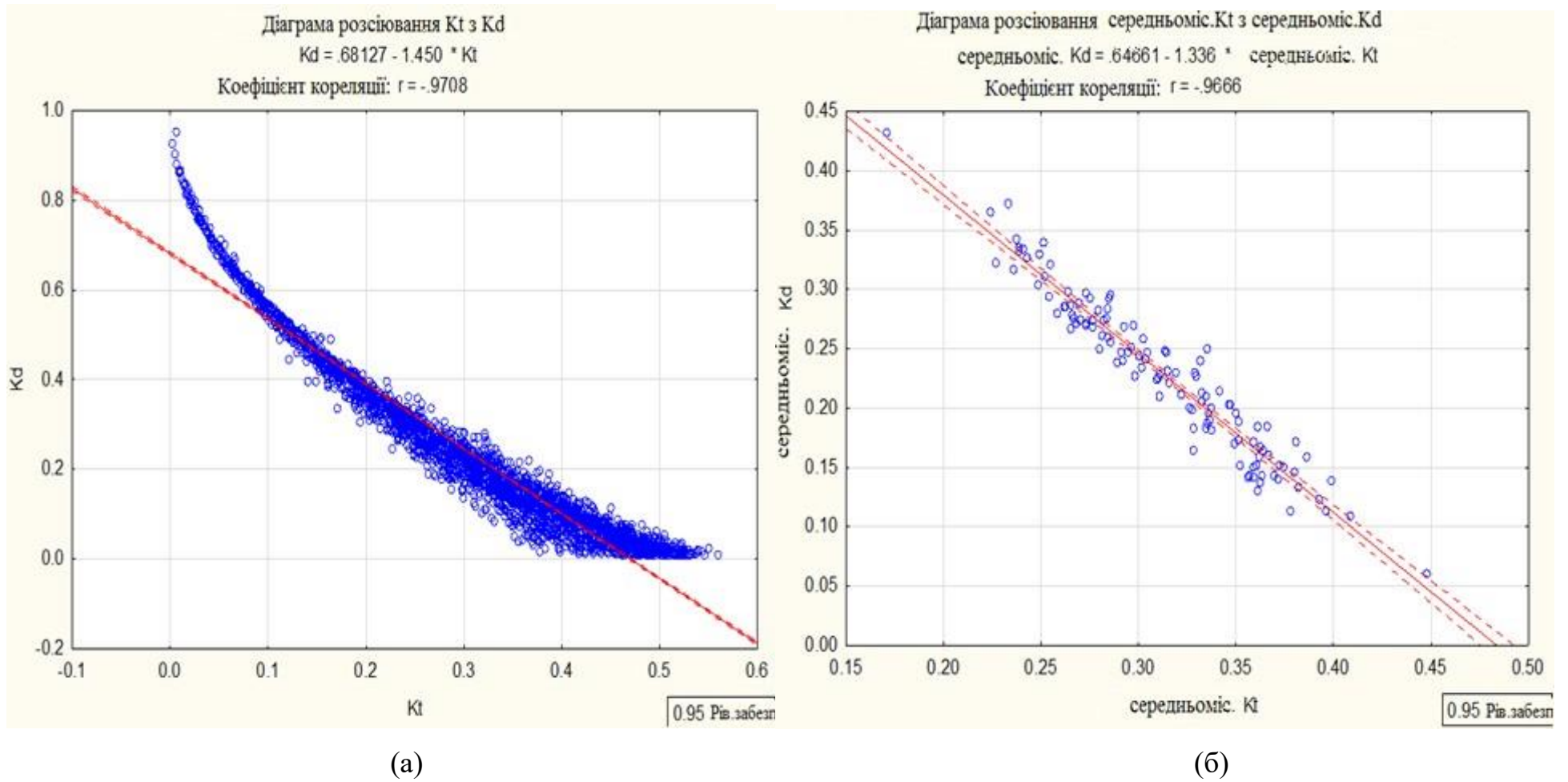
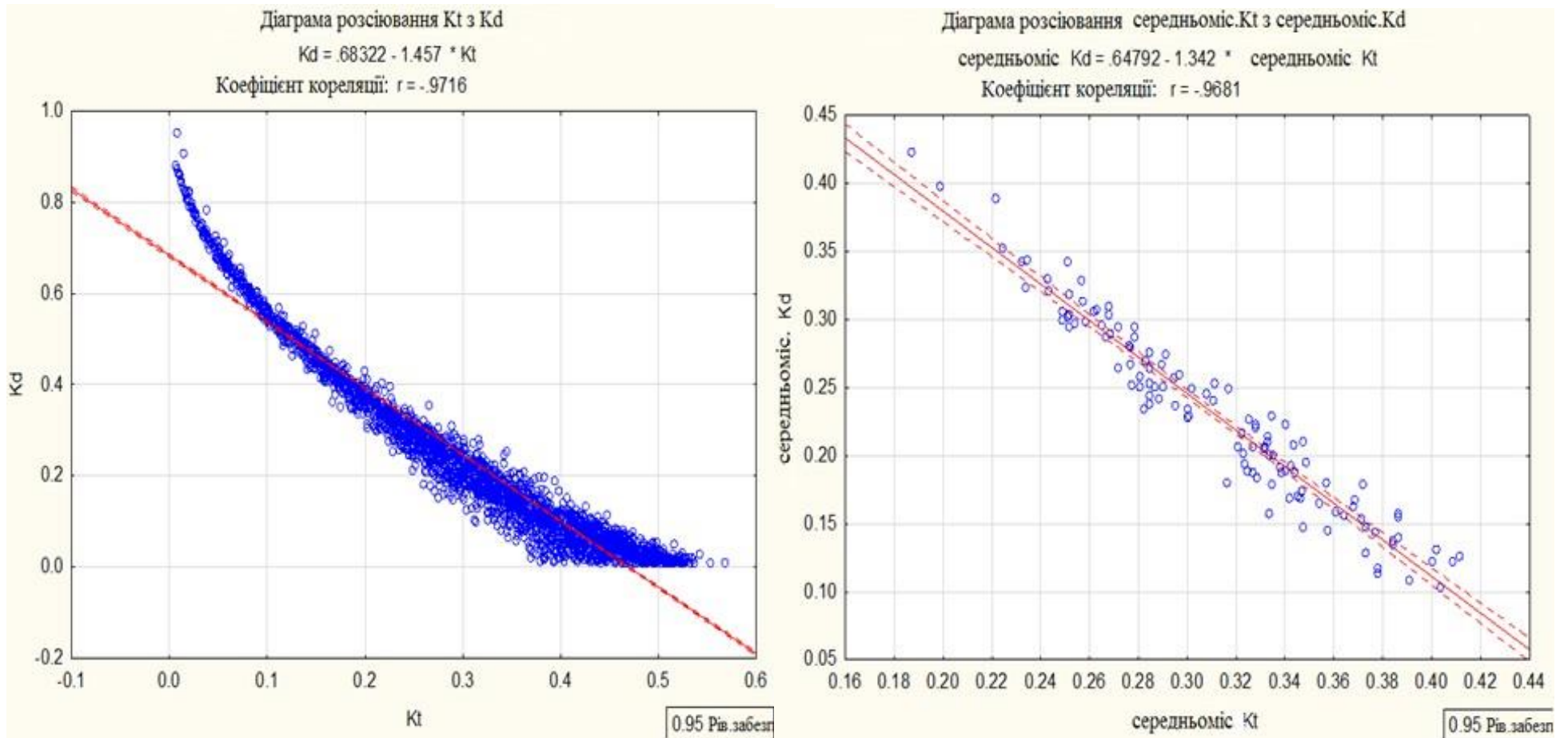


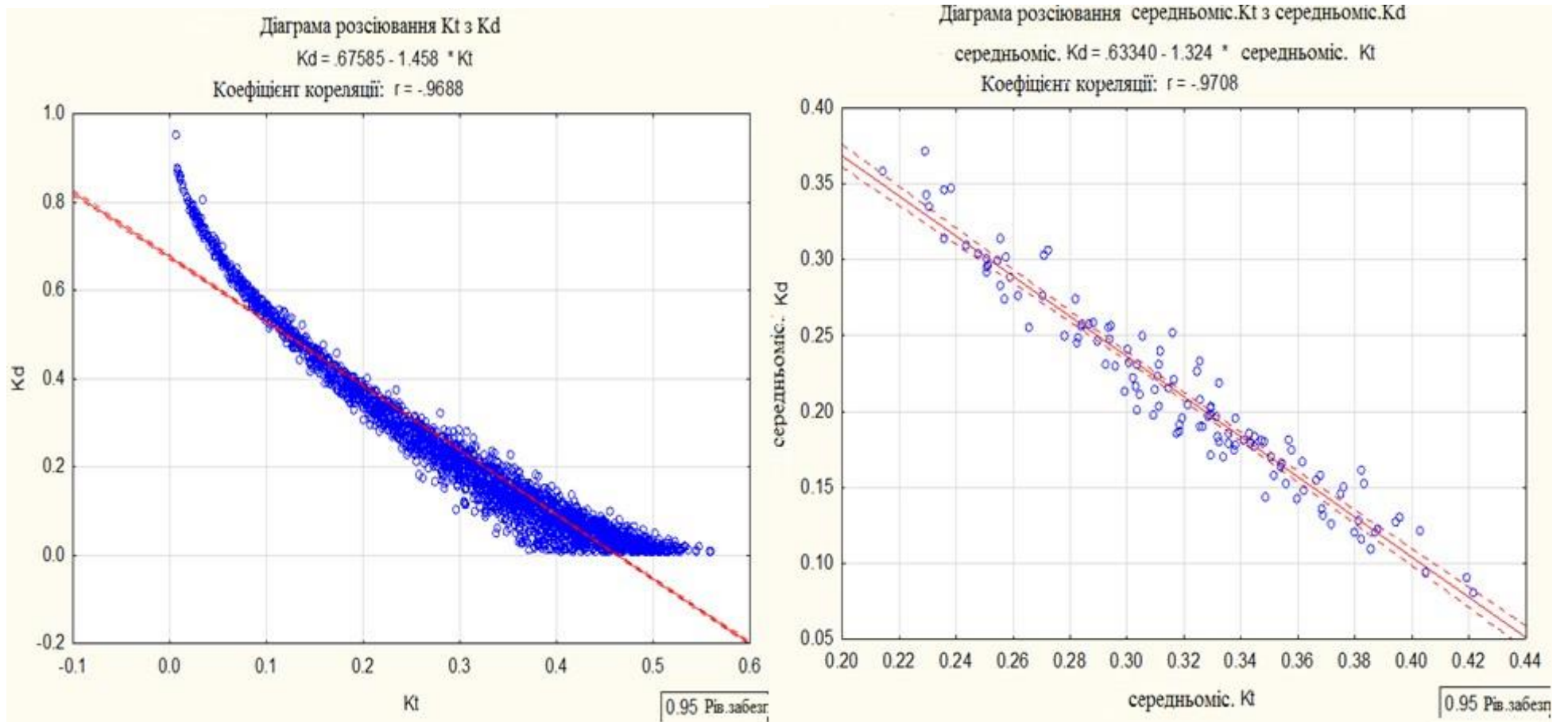
Рис. Л.5. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 48° пн.ш. 37° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

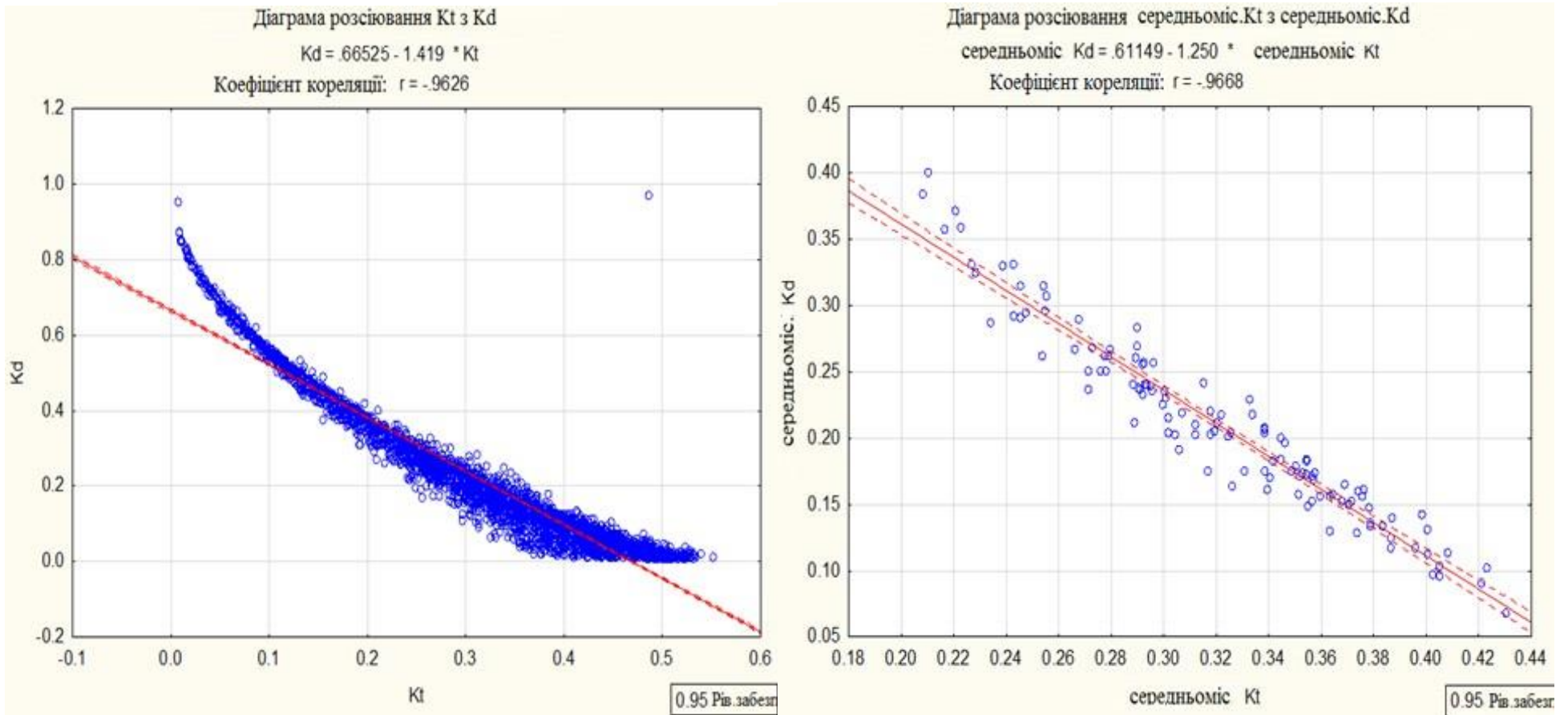
Рис. Л.6. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 48° пн.ш. 39° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

Рис. Л.7. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 47° пн.ш. 30° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

Рис. Л.8. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 47° пн.ш. 32° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років

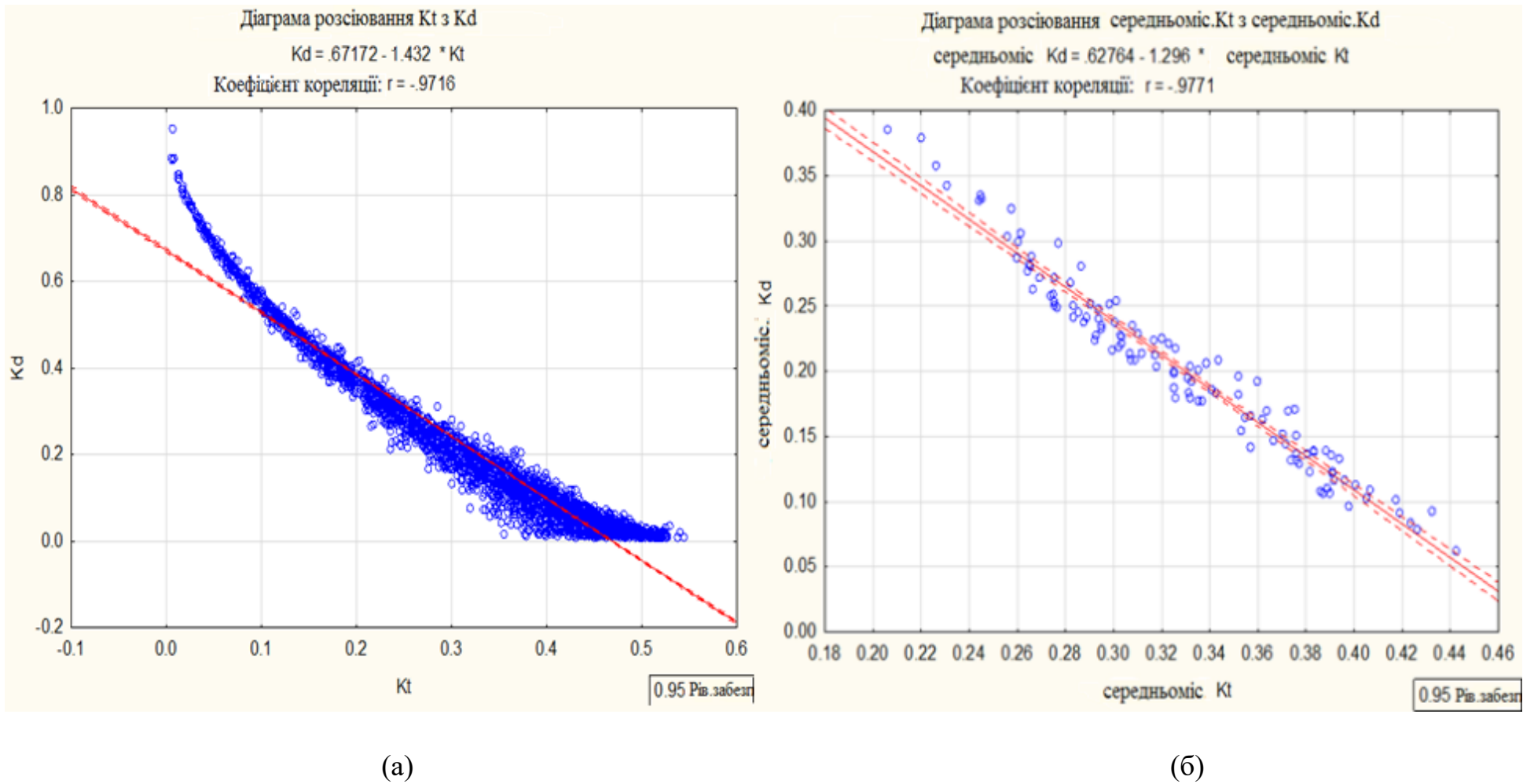
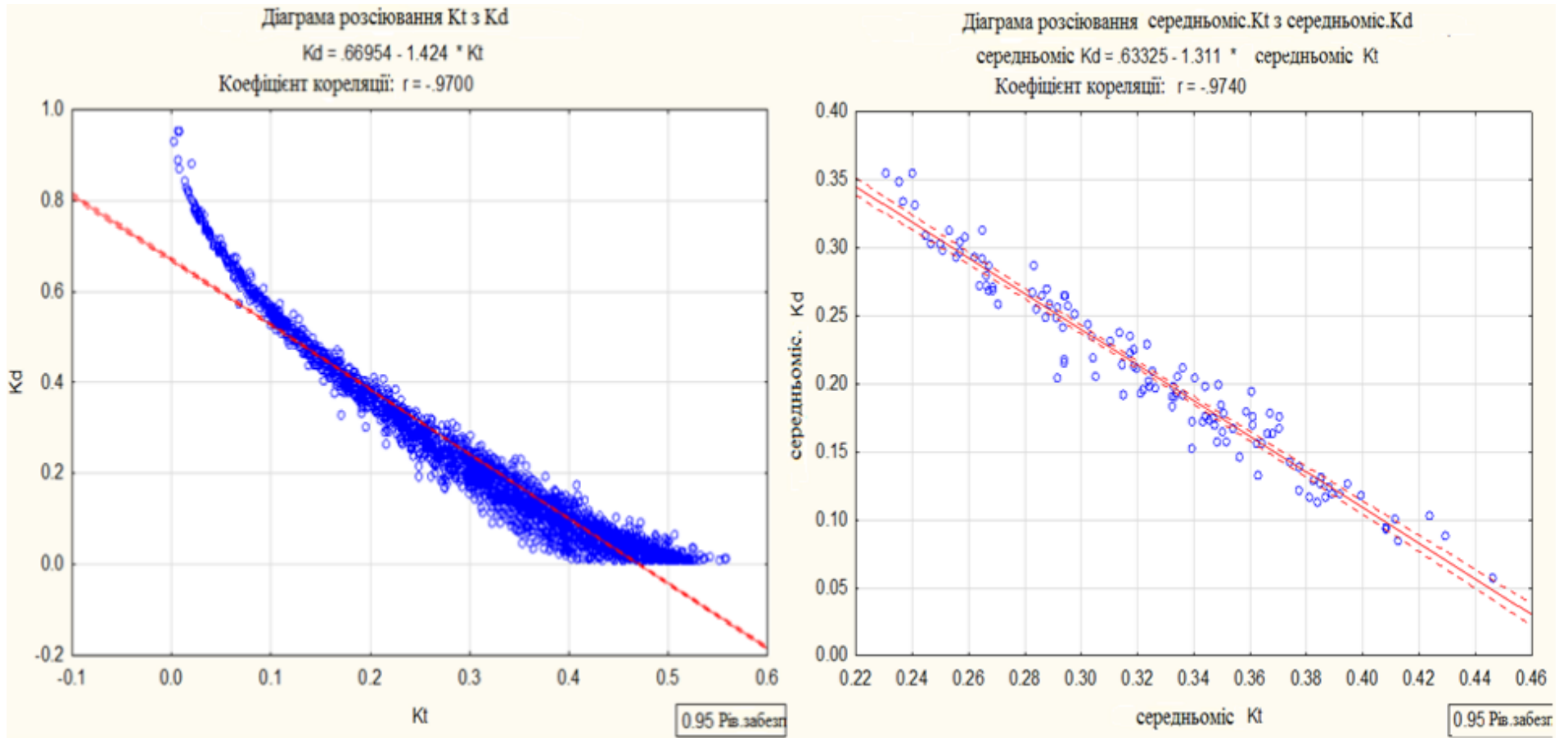


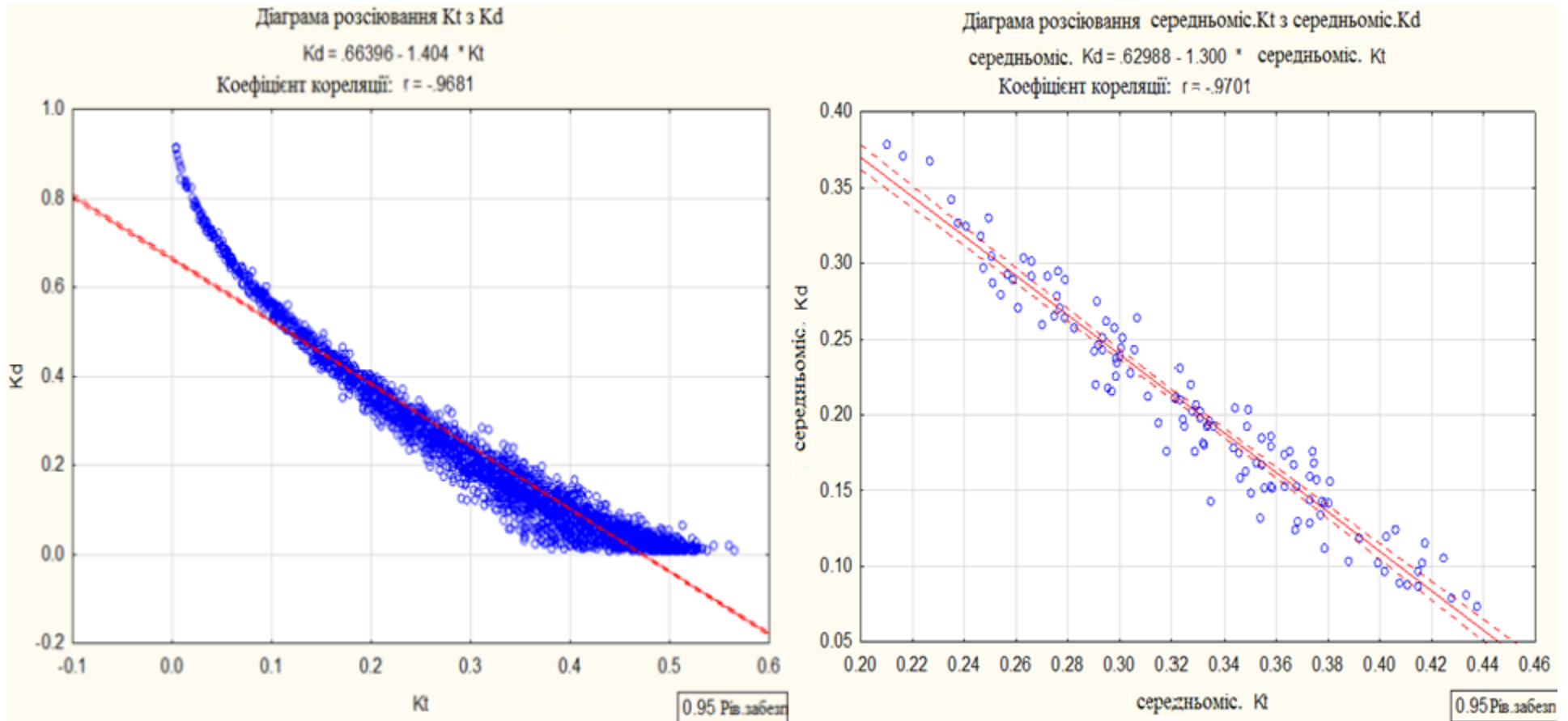
Рис. Л.9. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 47° пн.ш. 34° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(a)

(б)

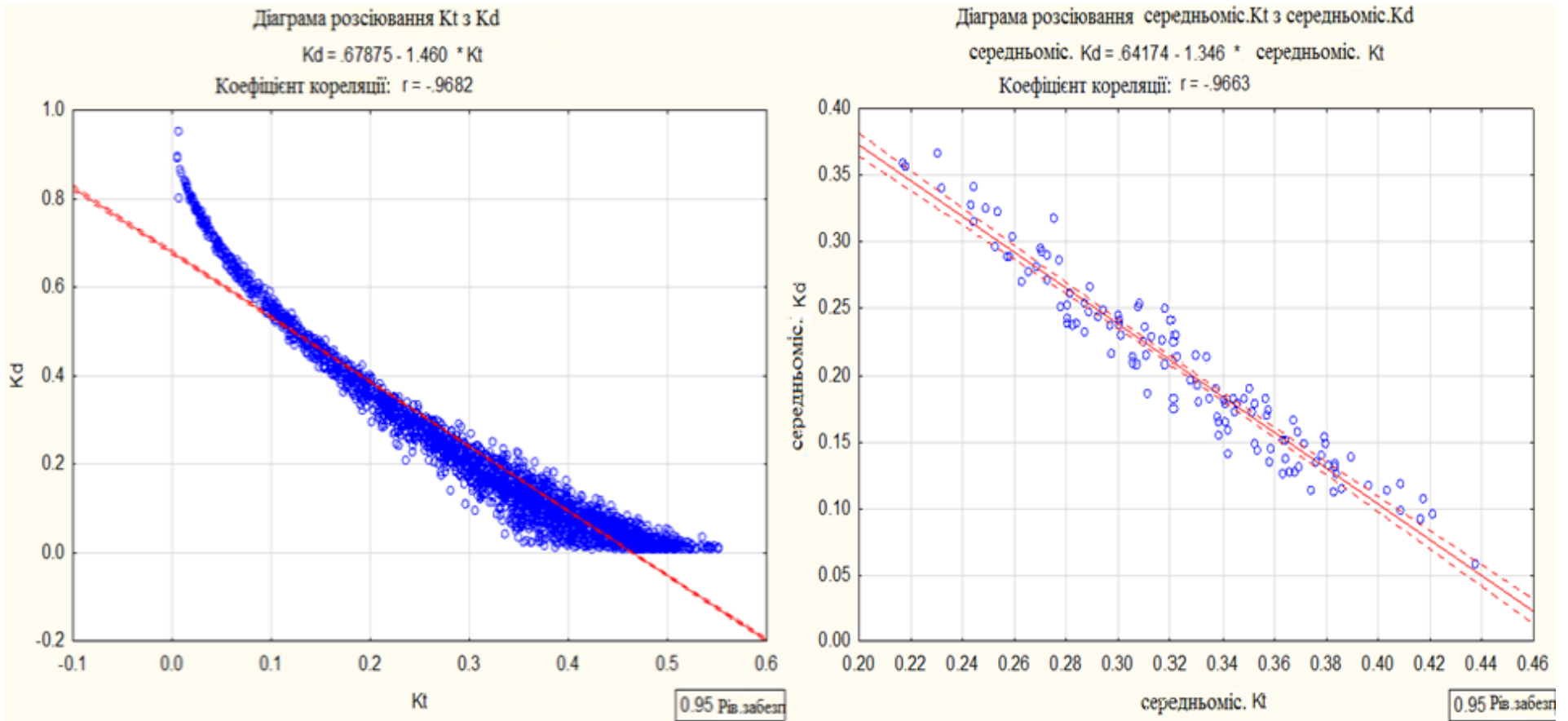
Рис. Л.10. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 47° пн.ш. 36° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

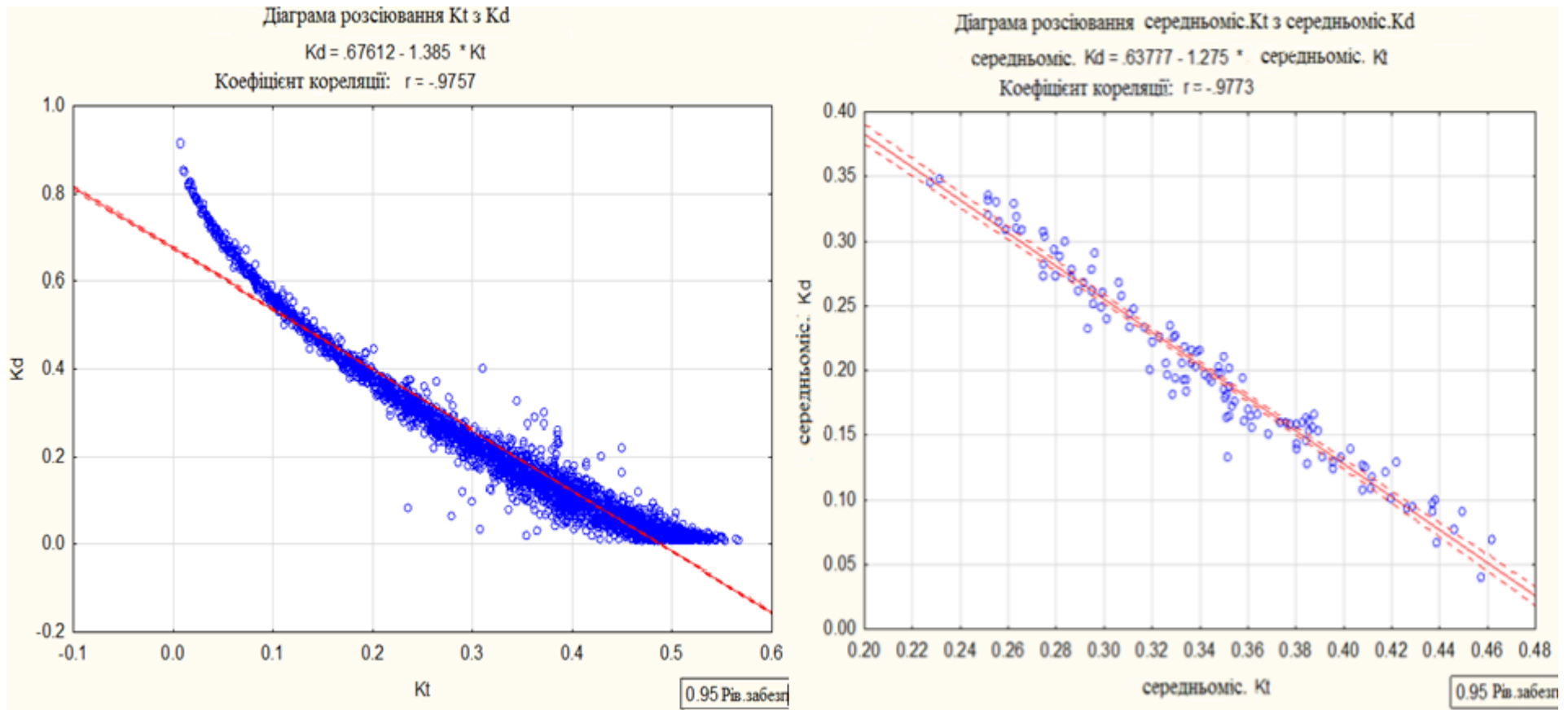
Рис. Л.11. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 47° пн.ш. 38° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

Рис. Л.12. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 46° пн.ш. 29° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(a)

(б)

Рис. Л.13. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 46° пн.ш. 31° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років

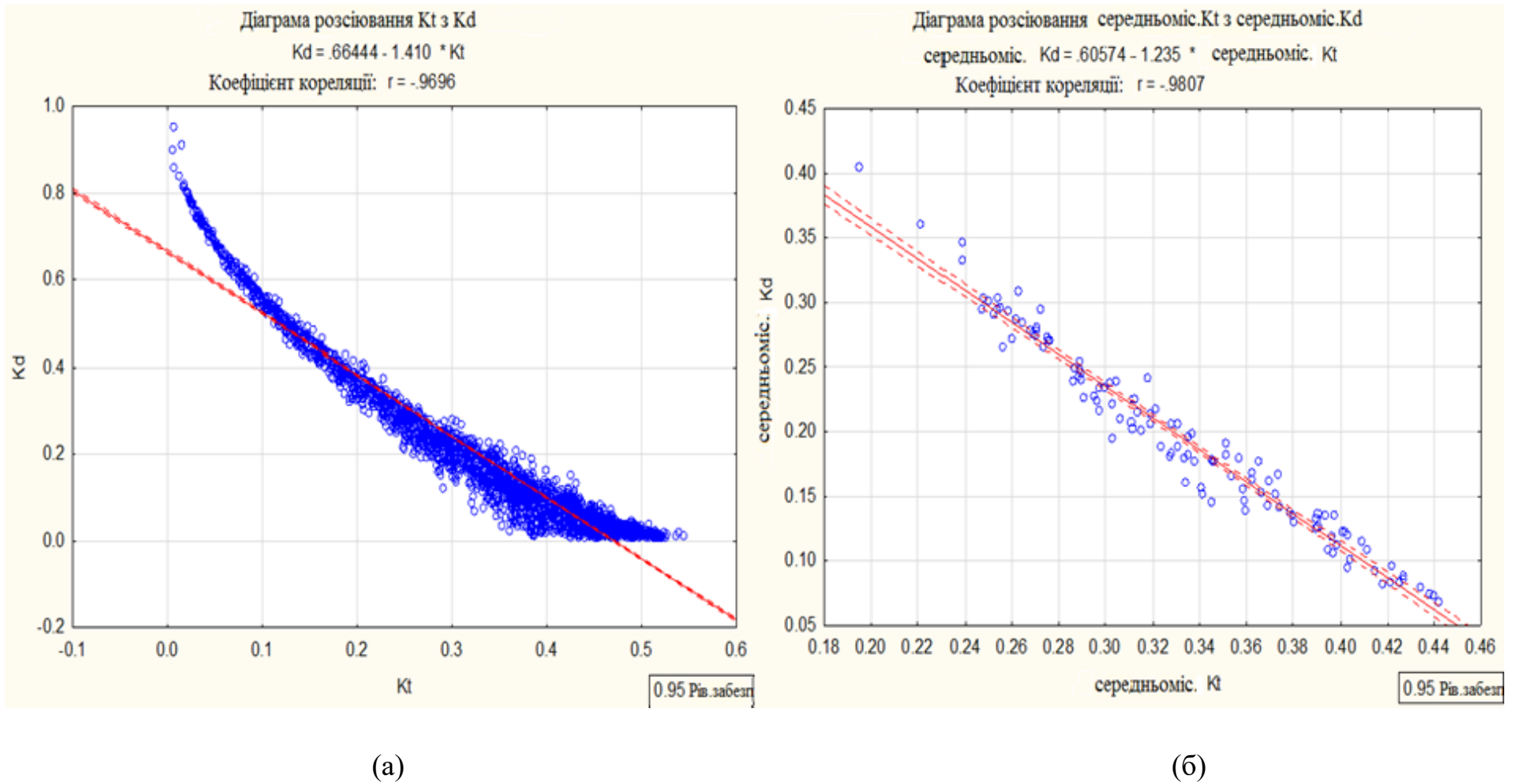


Рис. Л.14. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 46° пн.ш. 33° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років

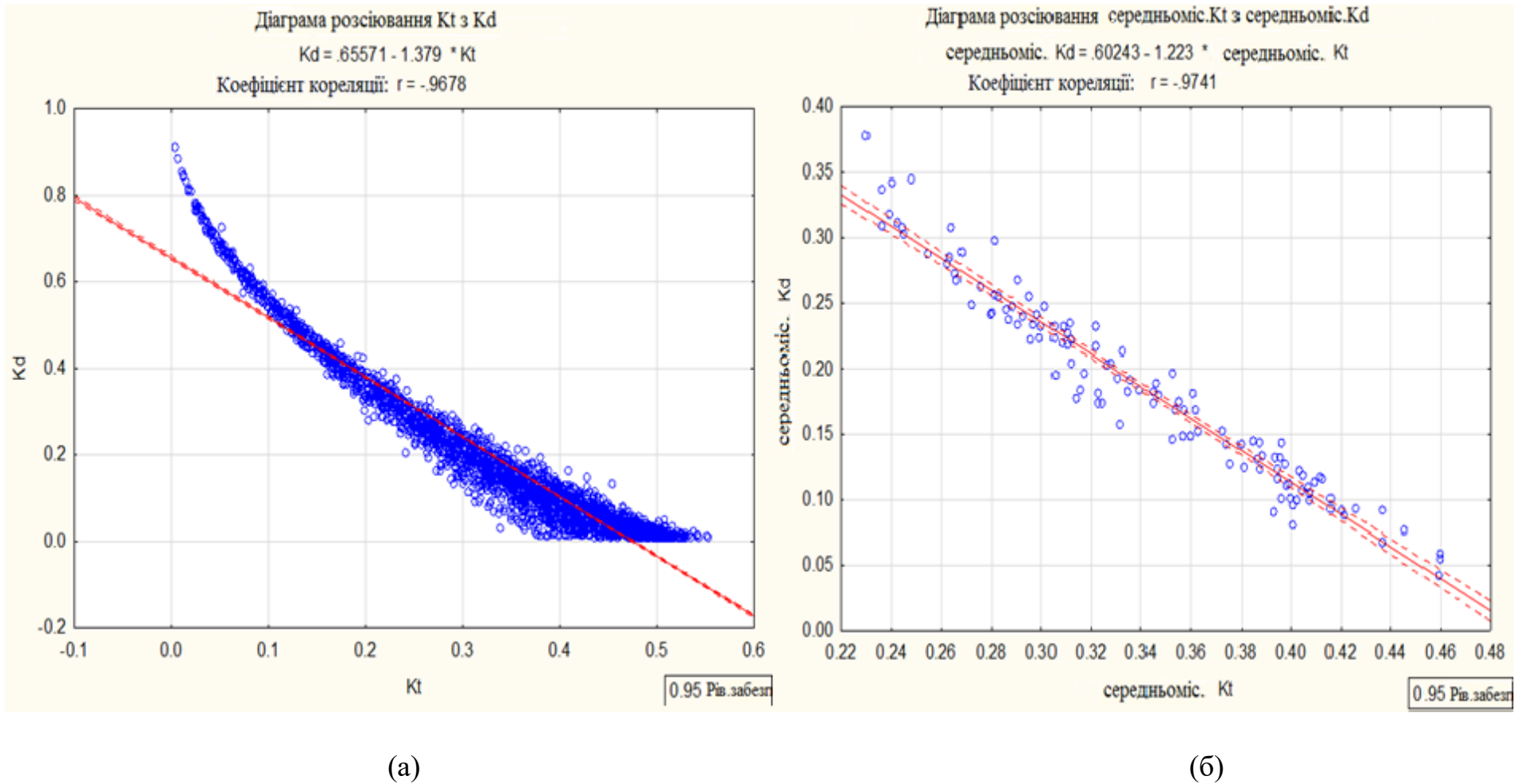


Рис. Л.15. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 46° пн.ш. 35° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років

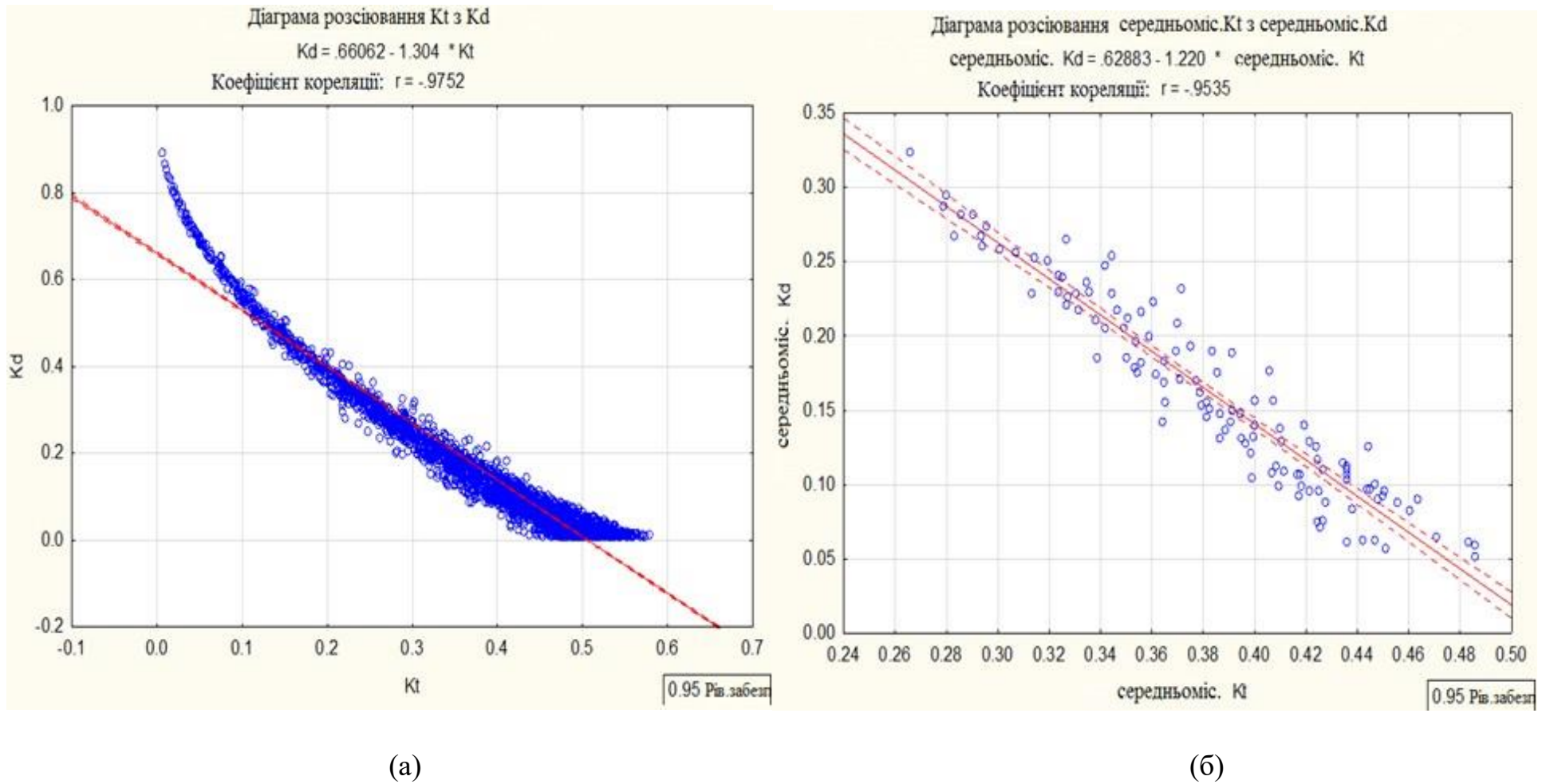
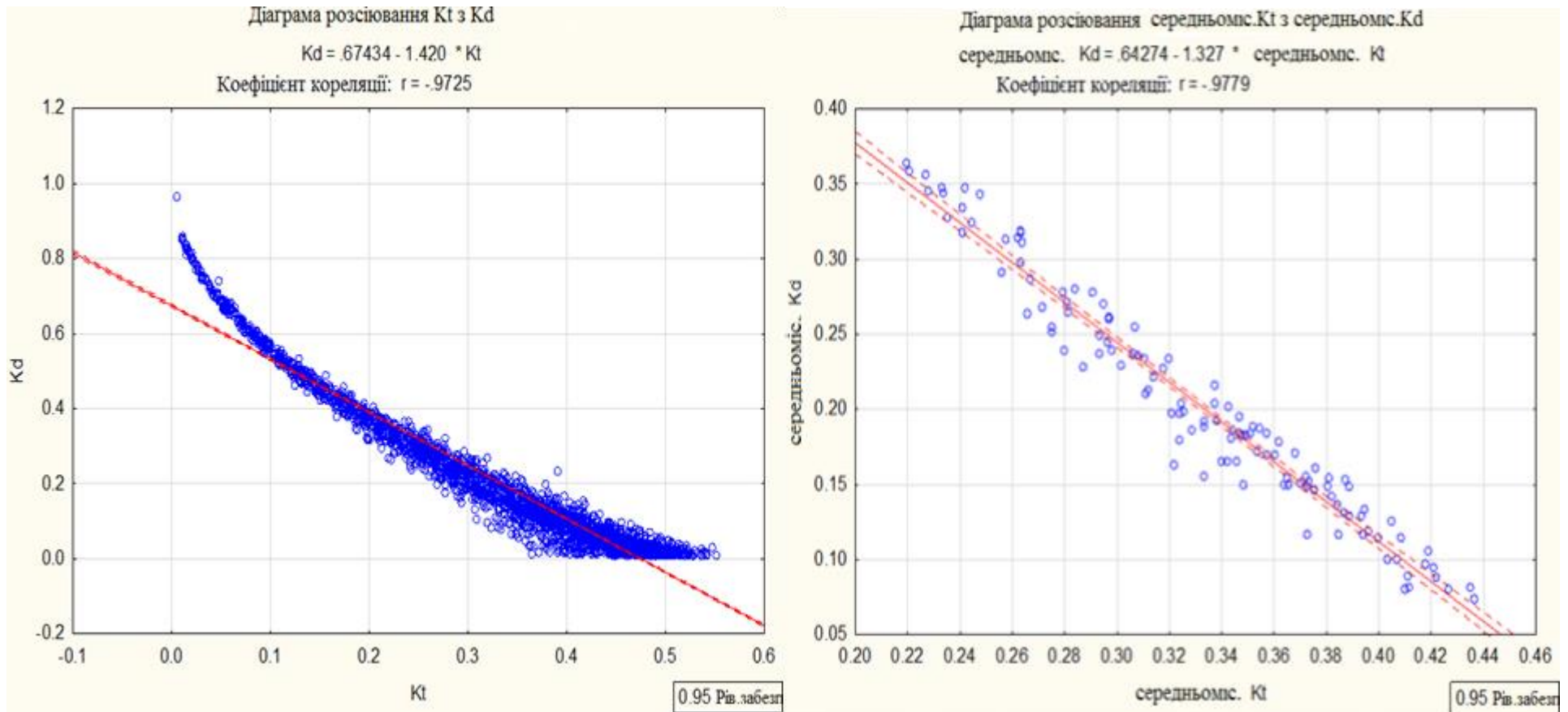


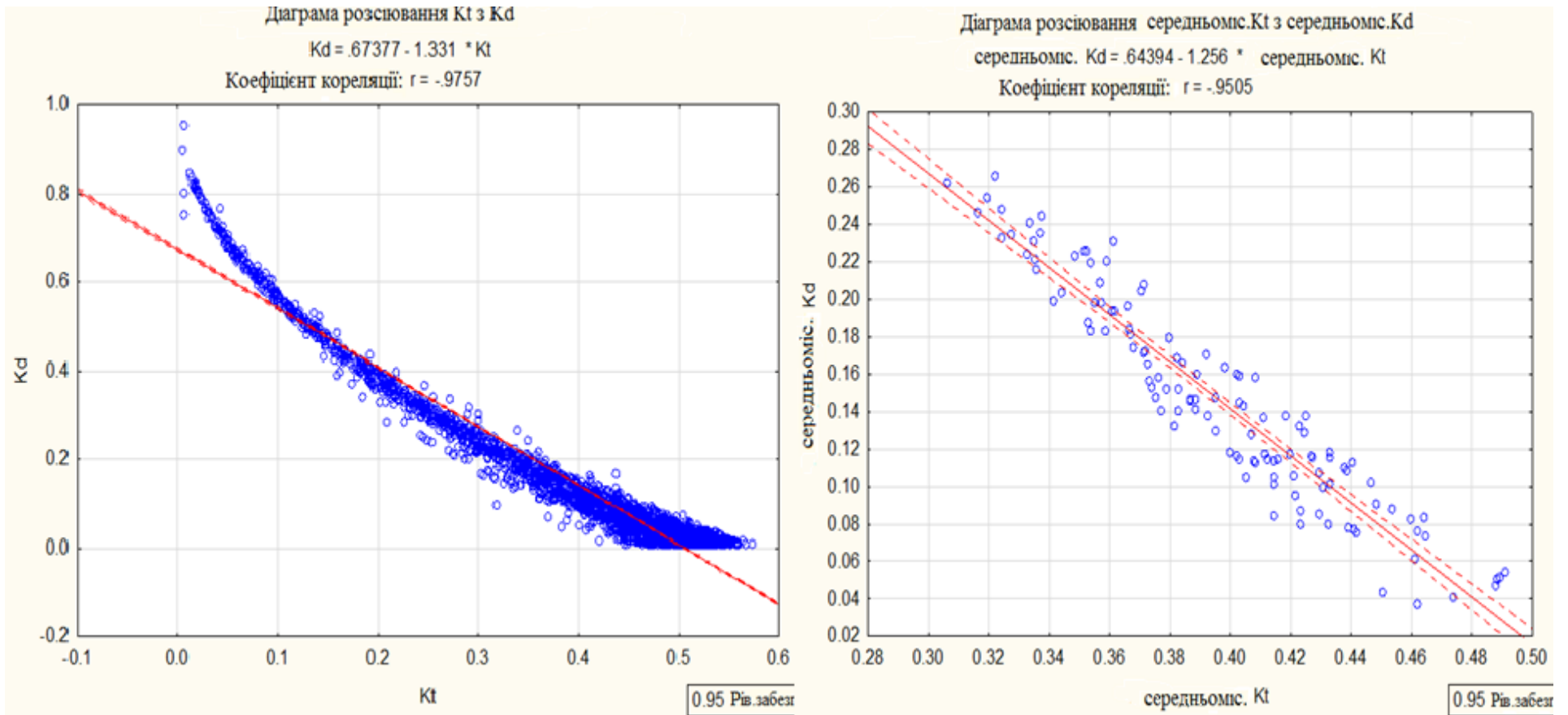
Рис. Л.16. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 46° пн.ш. 37° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

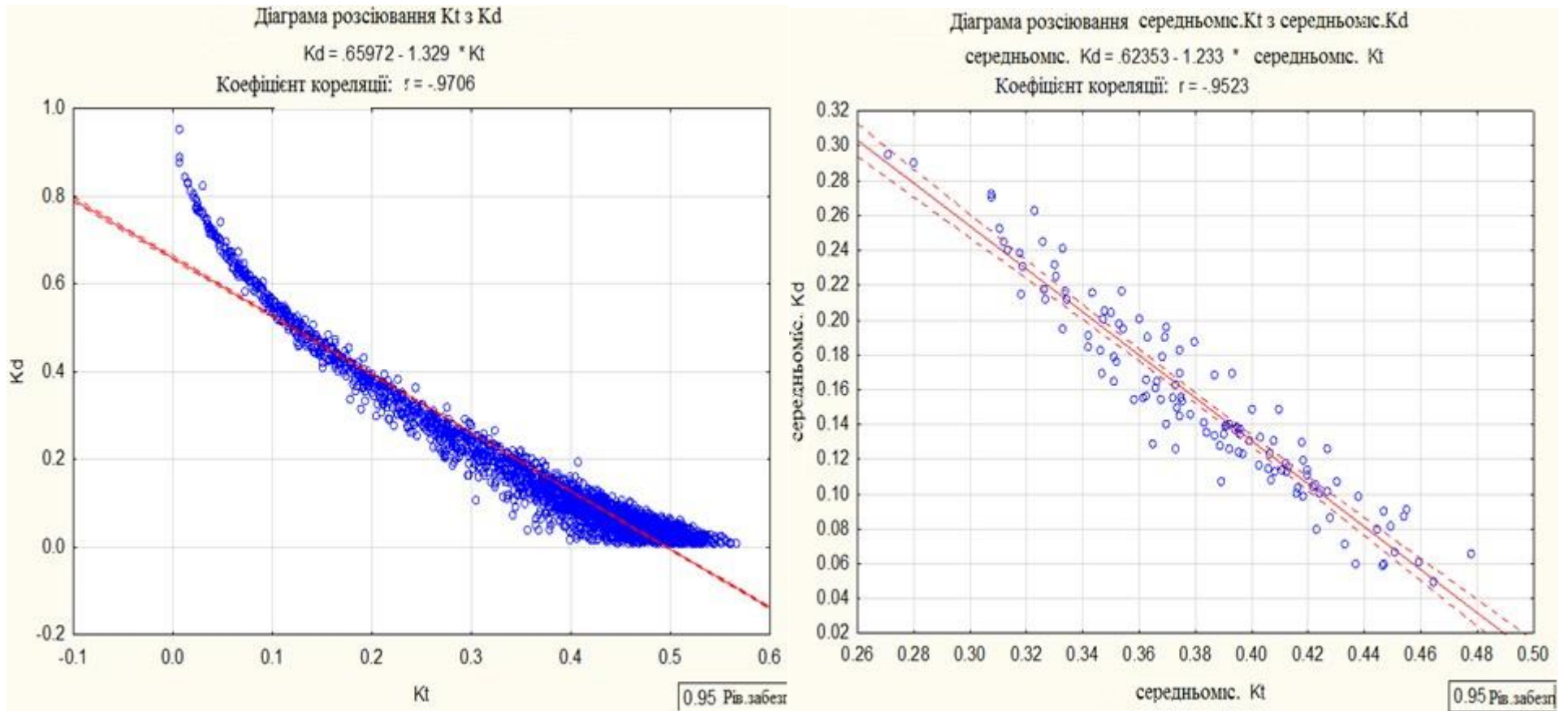
Рис. Л.17. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 46° пн.ш. 39° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

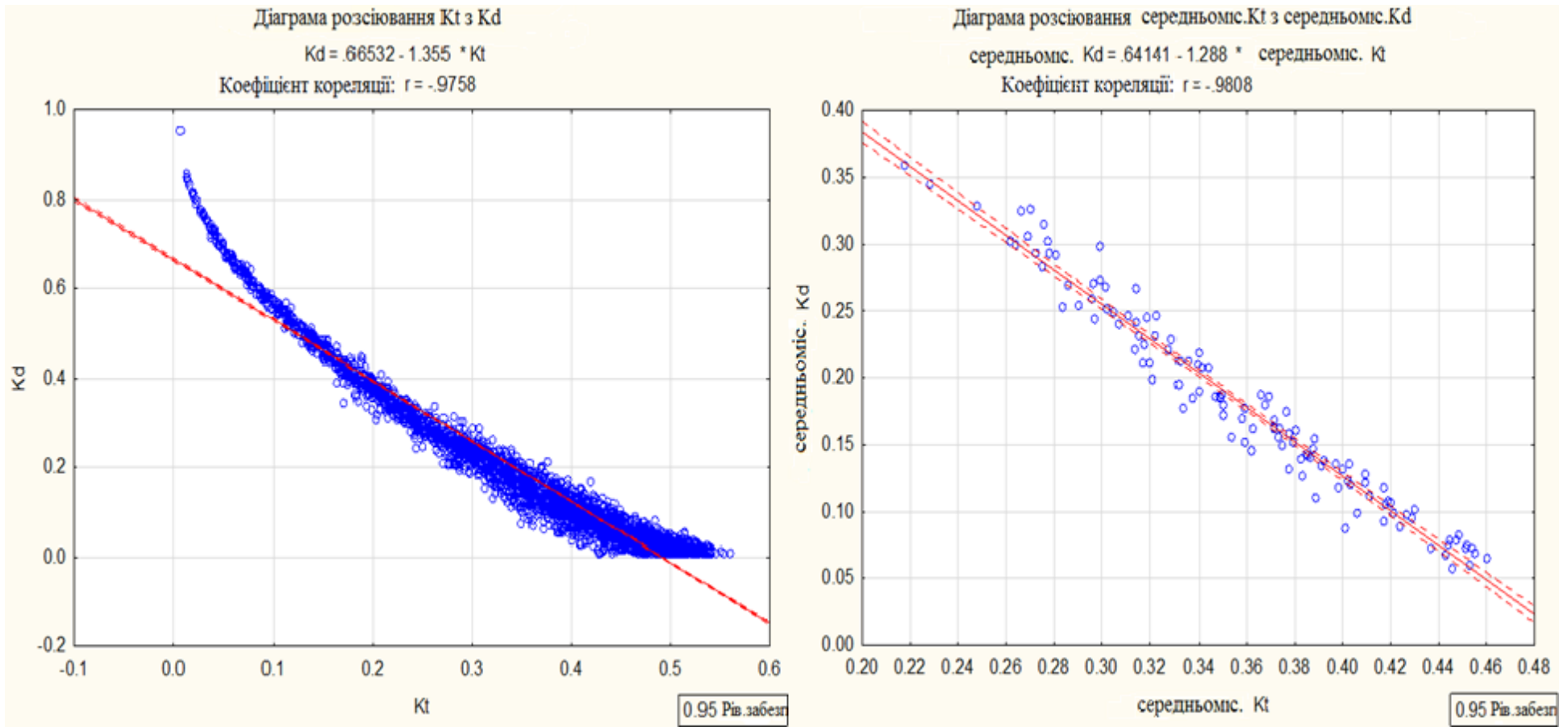
Рис. Л.18. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 45° пн.ш. 30° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

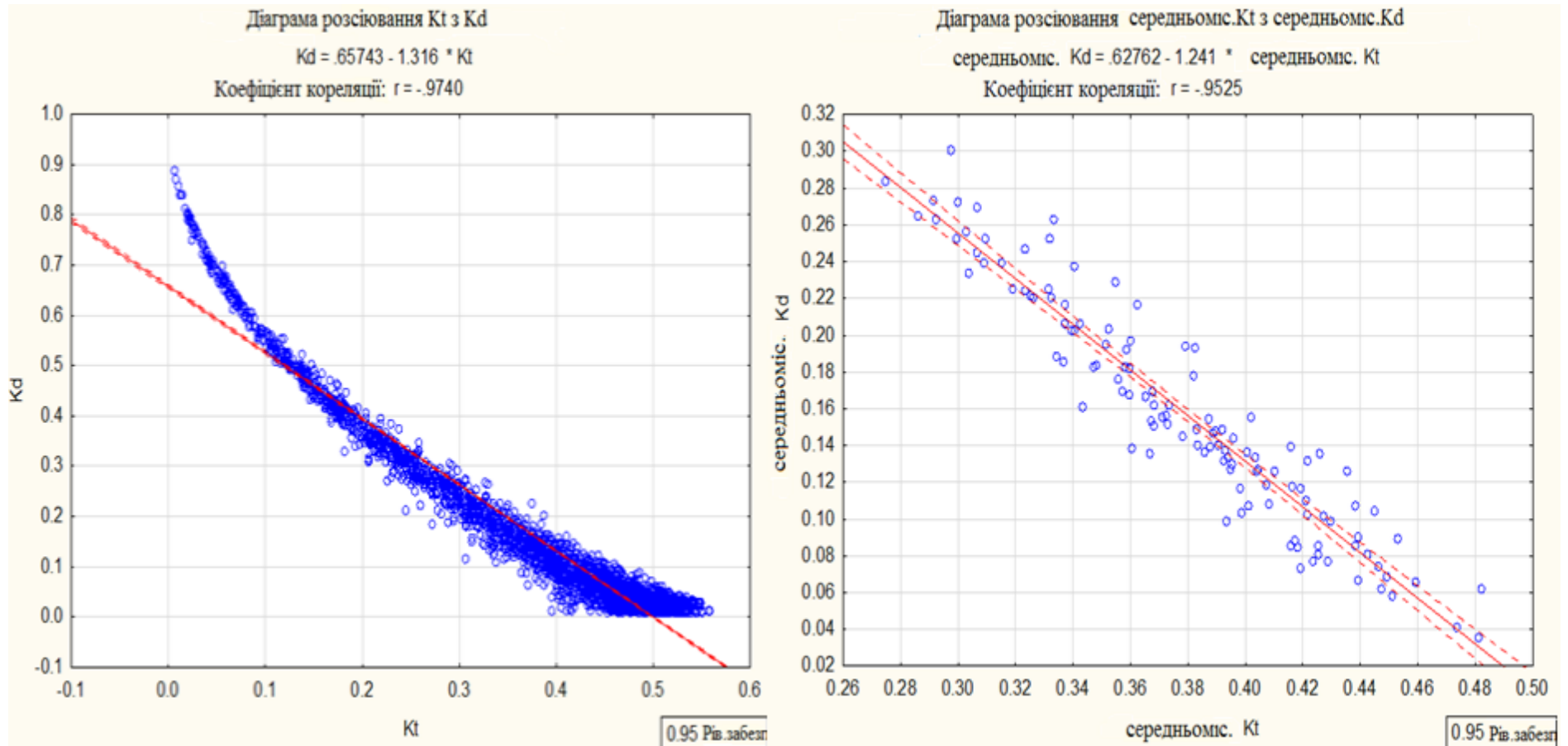
Рис. Л.19. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 45° пн.ш. 32° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

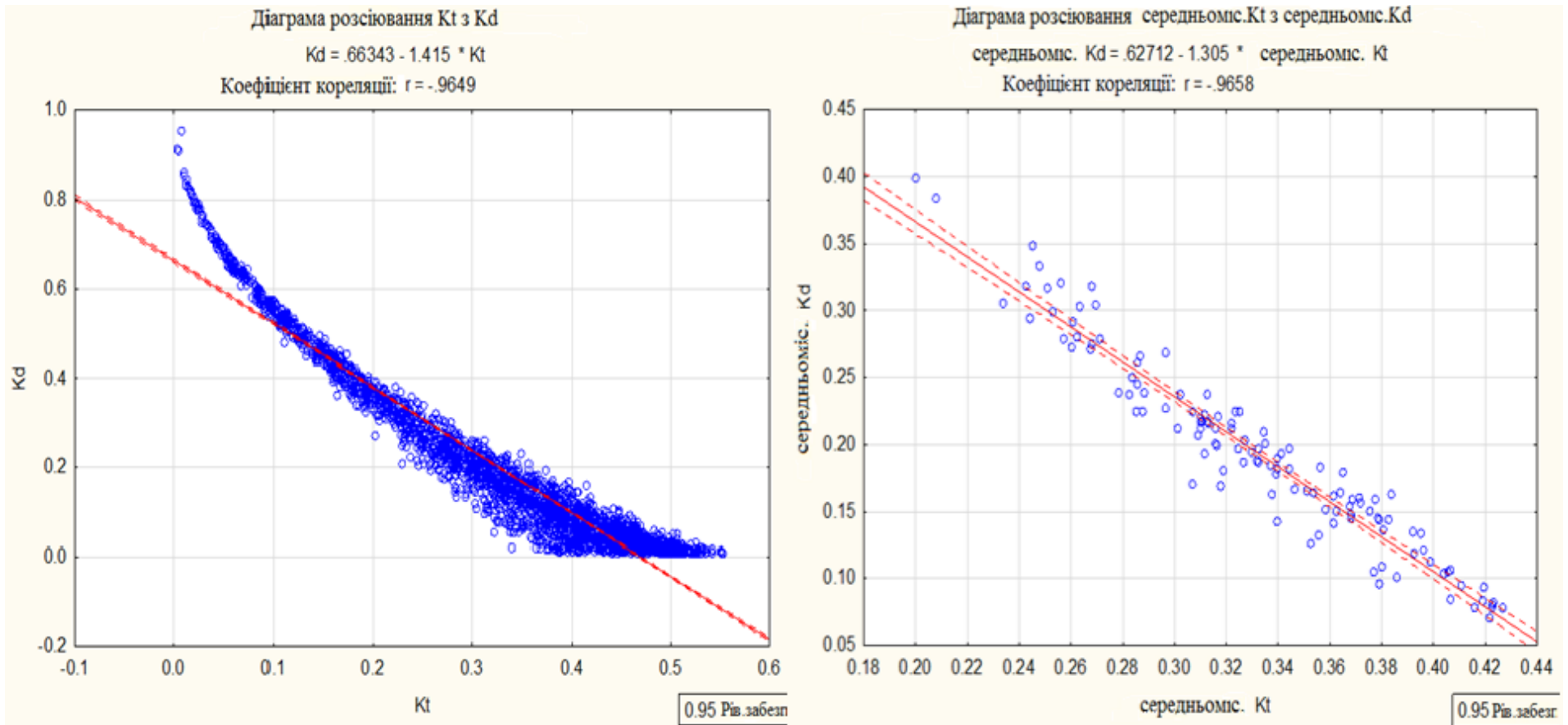
Рис. Л.20. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 45° пн.ш. 34° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

Рис. Л.21. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 45° пн.ш. 36° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років



(а)

(б)

Рис. Л.22. Діаграми розсіювання середньодобових (а) та середньомісячних (б) значень індексу хмарності K_d та індексу прозорості атмосфери K_t вузла 45° пн.ш. 38° сх.д. за період календарного літа 1981 – 2020 років

Додаток М

Середні значення індексу прозорості атмосфери K_t відповідності до кожного балу загальної кількості хмарного покриву на небосхилі за періодкалендарного літа 1981 – 2020 років

Вузол	0 балів	1 бал	2 бали	3 бали	4 бали	5 балів	6 балів	7 балів	8 балів	9 балів	10 балів
48 x 29	0.4921	0.4602	0.4774	0.4326	0.3698	0.3018	0.2336	0.1677	0.0831	0.0207	
48 x 31	0.5053	0.4751	0.4765	0.4188	0.3384	0.2565	0.1902	0.1346	0.0694	0.1428	
48 x 33	0.5057	0.5067	0.4739	0.4004	0.3303	0.2514	0.1810	0.1119	0.0565	0.0904	
48 x 35	0.5141	0.5134	0.4707	0.3998	0.3314	0.2558	0.1849	0.1083	0.0423		
48 x 37	0.5212	0.5201	0.4769	0.4000	0.3288	0.2535	0.1799	0.1176	0.0802	0.1045	0.0471
48 x 39	0.5298	0.5198	0.4757	0.4031	0.3297	0.2545	0.1814	0.1172	0.0679	0.0938	0.0496
47 x 30	0.5180	0.5178	0.4737	0.3991	0.3296	0.2567	0.1917	0.1187	0.0757		
47 x 32	0.5137	0.5145	0.4752	0.4002	0.3298	0.2600	0.1904	0.1205	0.0752	0.1555	0.1066
47 x 34	0.5022	0.5155	0.4724	0.3994	0.3302	0.2526	0.1897	0.1253	0.0893	0.1445	0.1413
47 x 36	0.5219	0.4834	0.4356	0.3835	0.3366	0.2847	0.2140	0.1687	0.1332	0.1150	0.0841
47 x 38	0.5231	0.4832	0.4358	0.3841	0.3379	0.2845	0.2299	0.1615	0.1305	0.1121	0.0967
46 x 29	0.5235	0.4815	0.4346	0.3838	0.3378	0.2892	0.2370	0.1516	0.1195	0.1077	0.1072
46 x 31	0.5244	0.4826	0.4361	0.3855	0.3382	0.2894	0.2451	0.1541	0.1239	0.1147	0.0932
46 x 33	0.5213	0.4814	0.4349	0.3840	0.3392	0.2894	0.2435	0.1575	0.1200	0.1162	0.0902
46 x 35	0.5202	0.4801	0.4347	0.3858	0.3366	0.2899	0.2402	0.1599	0.1459	0.1213	0.1040
46 x 37	0.5314	0.4828	0.4329	0.3831	0.3365	0.2846	0.2450	0.1602	0.1414	0.1048	0.0968
46 x 39	0.5382	0.4974	0.4537	0.4017	0.3573	0.2994	0.2474	0.1618	0.1555	0.1249	0.1068
45 x 30	0.5275	0.4814	0.4358	0.3869	0.3366	0.2913	0.2478	0.1623	0.1413	0.1266	0.1020
45 x 32	0.5258	0.4787	0.4352	0.3882	0.3397	0.2867	0.2476	0.1658	0.1559	0.1100	0.0881
45 x 34	0.5220	0.4821	0.4339	0.3800	0.3358	0.2861	0.2366	0.1591	0.1351	0.1141	0.1033
45 x 36	0.5233	0.4809	0.4356	0.3850	0.3381	0.2912	0.2464	0.1540	0.1203	0.1088	0.0989
45 x 38	0.5216	0.4783	0.4279	0.3796	0.3304	0.2797	0.2323	0.1469	0.1327	0.1100	0.0963
Загалом	0.5230	0.4868	0.4547	0.3960	0.3370	0.2739	0.2149	0.1451	0.1102	0.1124	0.0987

Додаток Н

Середні значення індексу хмарності K_{du} відповідності до кожного балу загальної кількості хмарного покриву на небосхилі за період календарного літа 1981 – 2020 років

Вузол	0 балів	1 бал	2 бали	3 бали	4 бали	5 балів	6 балів	7 балів	8 балів	9 балів	10 балів
48 x 29	0.0412	0.0676	0.0481	0.0543	0.1103	0.2078	0.3104	0.4309	0.6088	0.8103	
48 x 31	0.0203	0.0572	0.0333	0.0687	0.1569	0.2792	0.3863	0.5051	0.6645	0.4913	
48 x 33	0.0248	0.0347	0.0349	0.0841	0.1639	0.2803	0.3996	0.5342	0.6892	0.5860	
48 x 35	0.0227	0.0326	0.0392	0.0901	0.1699	0.2801	0.3969	0.5504	0.7210		
48 x 37	0.0190	0.0301	0.0362	0.0933	0.1760	0.2811	0.4033	0.5294	0.6365	0.5848	0.7127
48 x 39	0.0148	0.0328	0.0375	0.0839	0.1741	0.2780	0.4033	0.5281	0.6625	0.6051	0.6970
47 x 30	0.0182	0.0225	0.0333	0.0822	0.1653	0.2693	0.3798	0.5213	0.6416		
47 x 32	0.0259	0.0243	0.0333	0.0848	0.1649	0.2657	0.3828	0.5177	0.6399	0.4579	0.5724
47 x 34	0.0183	0.0194	0.0350	0.0883	0.1678	0.2809	0.3878	0.5136	0.6087	0.4935	0.5015
47 x 36	0.0144	0.0265	0.0570	0.1038	0.1586	0.2332	0.3511	0.4330	0.5055	0.5452	0.6036
47 x 38	0.0151	0.0268	0.0581	0.1004	0.1544	0.2324	0.3200	0.4461	0.5098	0.5431	0.5666
46 x 29	0.0138	0.0247	0.0544	0.0955	0.1493	0.2209	0.3032	0.4629	0.5361	0.5540	0.5437
46 x 31	0.0156	0.0284	0.0720	0.1248	0.1793	0.2444	0.3071	0.4728	0.5326	0.5364	0.5837
46 x 33	0.0139	0.0256	0.0573	0.0956	0.1567	0.2233	0.2943	0.4519	0.5307	0.5217	0.5882
46 x 35	0.0127	0.0288	0.0565	0.0985	0.1556	0.2247	0.2984	0.4500	0.4793	0.5187	0.5613
46 x 37	0.0176	0.0349	0.0824	0.1396	0.1947	0.2642	0.3227	0.4700	0.5009	0.5706	0.5696
46 x 39	0.0143	0.0246	0.0481	0.0926	0.1365	0.2162	0.3007	0.4508	0.4673	0.5165	0.5454
45 x 30	0.0185	0.0342	0.0783	0.1340	0.1915	0.2543	0.3143	0.4626	0.5126	0.5271	0.5764
45 x 32	0.0212	0.0380	0.0693	0.1141	0.1767	0.2495	0.3046	0.4478	0.4732	0.5463	0.6005
45 x 34	0.0159	0.0292	0.0717	0.1264	0.1829	0.2494	0.3191	0.4602	0.5108	0.5491	0.5600
45 x 36	0.0207	0.0320	0.0710	0.1253	0.1792	0.2469	0.3115	0.4685	0.5377	0.5518	0.5589
45 x 38	0.0141	0.0296	0.0654	0.0963	0.1592	0.2336	0.3121	0.4713	0.5050	0.5413	0.5630
Загалом	0.0190	0.0310	0.0532	0.0951	0.1622	0.2529	0.3481	0.4797	0.5632	0.5478	0.5713