

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

Магістерська робота

на тему: **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОГРАФІЧНОЇ
ВИСОТИ НА ВЕЛИЧИНУ ВІТРОВОГО
НАВАНТАЖЕННЯ НА БУДІВЕЛЬНІ ОБ'ЄКТИ**

Допустити до захисту

Завідувач кафедри БДМБ, к.т.н., професор

В.А. Настоящий

" ____ " _____ 2022 р.

Керівник магістерської роботи, к.т.н., ст. викладач

М.В. Пашинський

" ____ " _____ 2022 р.

Консультант з охорони праці, к.т.н., доцент

В.В. Дарієнко

" ____ " _____ 2022 р.

Виконав студент 6 курсу спеціальності

192 – Будівництво та цивільна інженерія

А.Б. Баран

" ____ " _____ 2022 р.

Кропивницький – 2022 рік

[illegible]

АНОТАЦІЯ

У роботі виконана статистична обробка даних, отримані числові характеристики, які дають змогу визначити розрахункові значення швидкості та тиску вітру за прийнятою імовірнісною моделлю послідовності річних та місячних максимумів швидкості вітру. У більшості випадків розрахункові значення, обчислені за місячними максимумами більші, ніж обчислені за річними максимумами. З метою підвищення точності в якості розрахункових значень приймалися осереднені значення. Також у роботі розроблена методика визначення коефіцієнту географічної висоти за даними локальної сукупності метеостанцій, створена база метеорологічних даних у табличному процесорі Microsoft Excel по вітровому навантаженню, до якої були відібрані дані 37 метеостанцій, з яких 26 станцій розташовані в районі Карпатських гір, решта – в районі Кримських гір. Для кожної метеостанції із метеорологічного довідника вибрані гістограми розподілу річних та місячних максимумів швидкості вітру з 1961 по 1993 роки. Таким чином, по кожній метеостанції враховано понад 90 тисяч результатів строкових спостережень за вітром.

За даними гірських метеостанцій України встановлена залежність тиску вітру від висоти місцевості над рівнем моря, яка дозволяє орієнтовно визначати розрахункові значення вітрового навантаження в гірській місцевості. У порівнянні з діючими ДБН В 1. 2.-2:2006 «Навантаження і впливи», отримані рекомендації призводять до збільшення розрахункових значень вітрового навантаження при проектуванні будівель і споруд. Це істотно підвищує рівень надійності конструкцій при порівняно невеликому зростанню їх вартості.

S U M M A R Y

In the work, statistical processing of data was performed, numerical characteristics were obtained, which make it possible to determine the estimated values of wind speed and pressure according to the accepted probabilistic model of the sequence of annual and monthly wind speed maxima. In most cases, the estimated values calculated from monthly maxima are greater than those calculated from annual maxima. In order to increase the accuracy, the averaged values were taken as the calculated values. The work also developed a method for determining the geographic height coefficient based on the data of a local set of weather stations, created a database of meteorological data in the Microsoft Excel spreadsheet for wind load, to which data from 37 weather stations were selected, of which 26 stations are located in the Carpathian Mountains, the rest - in the area Crimean mountains. For each weather station, histograms of the distribution of annual and monthly wind speed maxima from 1961 to 1993 were selected from the meteorological directory. Thus, more than 90,000 results of timely wind observations were taken into account for each weather station.

According to the data of the mountain weather stations of Ukraine, the dependence of the wind pressure on the height of the area above sea level has been established, which makes it possible to roughly determine the estimated values of the wind load in the mountainous area. In comparison with the current DBN V 1.2.-2:2006 "Loads and impacts", the received recommendations lead to an increase in the calculated values of wind load when designing buildings and structures. This significantly increases the level of reliability of structures with a relatively small increase in their cost.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Дослідження і нормування вітрового навантаження в гірській місцевості.....	7
1.1 Метеорологічні спостереження за вітром.....	7
1.2 Методи імовірнісного опису та обчислення розрахункових значень вітрового навантаження.....	12
1.3 Вітрове навантаження у вітчизняних та зарубіжних нормах проєктування.....	18
1.4 Визначення вітрового навантаження в гірській місцевості за вітчизняними та зарубіжними нормами проєктування.....	21
1.5 Висновки з розділу та завдання дослідження.....	25
2. Методика дослідження.....	27
2.1 Метеорологічні дані та формування бази даних.....	27
2.2 Методика статистичної обробки.....	30
2.3 Визначення розрахункових значень швидкості і тиску вітру....	33
2.4 Аналіз впливу висоти над рівнем моря.....	36
2.5 Висновки з розділу.....	41
3. Вітрове навантаження в гірських місцевостях України.....	42
3.1 База метеорологічних даних по вітровому навантаженню.....	42
3.2 Статистичні характеристики швидкості вітру.....	50
3.3 Розрахункові значення швидкості та тиску вітру.....	61
3.4 Залежності вітрового тиску від висоти над рівнем моря.....	68
3.5 Висновки з розділу.....	81

					КМР 21192232 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Баран А. Б.				Дослідження впливу висоти над рівнем моря на величину вітрового навантаження на будівельні об'єкти	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Пашинський М. В.					Д	2	104
						ЦНТУ, гр. БІ-21МЗ		
Н. контр.	Дарієнко В. В.							
Затв.	Настоящий В. А.							

4. Експериментальне проектування колон одноповерхової будівлі.....	82
4.1 Вихідні дані.....	82
4.2 Збір навантажень на поперечну раму.....	82
4.3 Статичний розрахунок поперечної рами.....	85
4.4 Підбір перерізу колон.....	86
4.5 Висновки з розділу.....	90
Висновки і рекомендації за результатами роботи.....	91
Список використаних джерел.....	92
5. Додаток А Охорона праці.....	95

ВСТУП

Актуальність теми. Дія вітру на споруди проявляється у вигляді статичного навантаження і в збудженні коливань конструкцій. Неточне урахування дії вітру призводило до руйнування мостів, висотних будівель, опор ліній електропередач та інших об'єктів. Тому проблема дослідження і нормування вітрового навантаження на будівельні конструкції залишається актуальною. Точне урахування впливу вітру при проектуванні будівельних конструкцій, особливо у гірській місцевості, має велике практичне та економічне значення. Сучасні будівельні норми ДБН В.1.2-2:2006 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування» враховують зростання вітрового навантаження зі збільшенням висоти над рівнем моря за допомогою коефіцієнта географічної висоти, але він встановлений за малим обсягом метеорологічних даних і потребує уточнення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема магістерської роботи відповідає науково-дослідницьким програмам кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва Центральноукраїнського національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження: уточнити за даними метеостанцій коефіцієнт географічної висоти для визначення вітрового навантаження у гірській місцевості. Для досягнення мети потрібно вирішити наступні **задачі:**

- 1) розробити методику статистичної обробки метеорологічних даних по швидкості і тиску вітру та визначити розрахункове значення вітрового навантаження;
- 2) розробити методику аналізу даних, яка забезпечує визначення коефіцієнту географічної висоти та встановити його залежність від висоти над рівнем моря;
- 3) сформувати електронну базу метеорологічних даних по вітровому навантаженню в гірській місцевості за результатами метеорологічних спостережень в районі Кримських та Карпатських гір;

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 4) виконати статистичну обробку метеорологічних даних, проаналізувати отримані статистичні характеристики;
- 5) визначити розрахункове значення вітрового навантаження за даними метеостанцій, розташованих в гірській місцевості;
- 6) визначити коефіцієнт географічної висоти і його залежність від висоти над рівнем моря. Розробити рекомендації про практичне використання коефіцієнту географічної висоти.

Об'єктом дослідження є середня складова вітрового тиску на будівлі.

Предметом дослідження є встановлення залежності розрахункових значень середньої складової вітрового тиску від висоти над рівнем моря у гірській місцевості.

Методи дослідження засновані на статистичній обробці результатів спостережень за вітром на метеостанціях України.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- 1) удосконалена методика обчислення розрахункових значень вітрового навантаження через вибірку річних і місячних максимумів швидкості вітру;
- 2) вперше запропоновано спосіб визначення коефіцієнту географічної висоти за даними локальної сукупності метеостанцій;
- 3) проаналізовано вплив зростання вітрового тиску в гірській місцевості на металоємність і вартість колон громадської будівлі.

Практичне значення одержаних результатів:

- 1) сформована електронна база метеорологічних даних щодо швидкості вітру в гірській місцевості;
- 2) отримана формула для обчислення коефіцієнту географічної висоти залежно від висоти розміщення об'єкта над рівнем моря.

Особистий внесок автора полягає в наступному:

- 1) виконано статистичний аналіз метеорологічних даних по швидкості і тиску вітру;

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2) розроблено методику визначення коефіцієнту географічної висоти та встановлено його залежність від висоти над рівнем моря.

Апробація та публікація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи представлені на Міжнародній науково-технічній on-line конференції “Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві” (м. Кропивницький, листопад, 2022 року).

Результати досліджень опубліковані в тезах доповіді:

Баран А.Б., Манько Є.В. Аналіз впливу географічної висоти над рівнем моря на снігове навантаження на будівлі // Тези Міжнародної науково-технічної online конференції “Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві”. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 3 с. [Електронний ресурс]

Структура роботи. Робота складається з 21 слайду мультимедійної презентації, пояснювальної записки на 105 сторінках, у тому числі 25 таблиць, 32 рисунків, списку з 26 використаних джерел. Текст пояснювальної записки містить вступ, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи та один додаток.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

Розділ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ Й НОРМУВАННЯ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

1.1 Метеорологічні спостереження за вітром

Первинна метеорологічна інформація отримується в результаті систематичних спостережень на метеорологічних станціях і постах, які розподілені по всій території України і складають єдину метеорологічну спостережну мережу. В даний час на території України працюють близько 200 метеостанцій та 450 метеопостів, що належать до системи Держкомгідромету. Переважну більшість складають рівнинні метеостанції та метеопости. Їх розміщення на території України досить рівномірне, за виключенням гірських районів: у районі Карпат та Кримських гір мережа метеостанцій та метеопостів дещо густіша, що цілком виправдано збільшенням територіальної мінливості вітрового навантаження внаслідок впливу складного гірського рельєфу. Спостереження за вітром проводять за методикою, регламентованою [1].

Метеорологічна станція складається з метеомайданчика, на якому розташована більшість приладів, що фіксують метеоеlementи, і замкнутого приміщення, в якому встановлюється інша частина приладів і ведеться обробка спостережень. Основні вимоги до розміщення метеомайданчика наступні: майданчик вибирається на ділянці, типовій для даної місцевості, не ближче ніж за 100 м від урізу води і не далі 150 м від службового приміщення. Окремі споруди повинні знаходитися від майданчика на відстані не менше їх 10-кратної висоти, а протяжні перешкоди (ліси, вулиці і т.д.) - не менше їх 20-кратної висоти. Сам майданчик має форму квадрата розміром 26х26 м [1].

Вітром називають рух повітря відносно земної поверхні, який визивається різницею тиску в атмосфері. Усі перепади тиску між різними

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

точками земної поверхні безпосередньо чи опосередковано зв'язані з перепадами температури. Якщо в якомусь районі температура вище, повітря в ньому нагрівається і піднімається вгору, створюючи внизу зону низького тиску, в яку починає сходитись холодне повітря з сусідніх районів. Чим більша різниця в двох областях, тим швидше між ними рухається повітря [2].

При спостереженнях на метеорологічних станціях під вітром розуміють тільки горизонтальну складову повітряного потоку, виражену в метрах за секунду. Напрямок вітру визначається стороною горизонту, звідки дме вітер, або кутом, який утворюється напрямком вітру з меридіаном місця спостереження, тобто його азимут. У першому випадку розрізняють 8 основних румбів горизонту: північ, північний схід, схід, південний схід, південь, південний захід, захід, північний захід і 8 проміжних. При кліматологічній обробці спостережень за вітром будують діаграму, що представляє собою розподіл повторюваності напрямків вітру по основних румбах - «розу вітрів».

В число вимірюваних характеристик вітру, на метеостанціях України, входять:

- а. середня швидкість вітру (м/с) в строк;
- б. середній напрямок вітру (кутовий градус, румб) в строк;
- с. максимальна швидкість вітру (максимальний порив) в строк;
- д. максимальна швидкість вітру між строками спостереження (максимальний порив за 3 год).

На всіх основних метеостанціях спостереження проводяться в єдині синхронні строки: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 годину за київським часом. Під строком спостережень розуміється інтервал часу тривалістю 10 хв, який закінчується точно в зазначений час. Для запису результатів вимірювання метеостанція забезпечується спеціальними журналами спостережень.

При вимірюванні характеристик вітру використовується анеморумбометр М-63 (або його модифікації) [3], який забезпечує автоматичне вимірювання середньої швидкості вітру за 10 хв із завчасним

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

включенням не менше 10 хв до початку вимірювань. Принцип дії анеморумбометра заснований на перетворенні вимірюваних характеристик швидкості і напрямку вітру в електричні величини, які передаються по сполучному кабелю у відповідні вузли вимірювального пульта. Прилад складається з датчиків швидкості і напрямку вітру, вимірювального пульта і блоку живлення (рис. 1.1). У датчику зосереджені чутливі елементи та первинні перетворювачі швидкості і напрямку. В якості чутливого елемента використовується чотирьохлопатевий повітряний гвинт з горизонтальною віссю обертання. Чутливим елементом для напрямку вітру є флюгарка, виконана у вигляді об'ємного обтічного корпусу приладу, на якому встановлений повітряний гвинт. Вимірювання середньої швидкості вітру засноване на визначенні числа обертів гвинта, що обертається повітряним потоком, за 10 хв. Число обертів гвинта, знижене механічним редуктором до часток повного обороту, може бути підраховане по шкалі показчика, градуйованого в м / с.



Рис. 1.1 - Анеморумбометр

Визначення миттєвої швидкості вітру засноване на вимірюванні напруги електричного струму, який індуктується в генераторі; обертання гвинта датчика передається ротору генератора так, що швидкість ротора в кожен момент часу дорівнює швидкості обертання гвинта. Вимірювання напрямку вітру засноване на дистанційній передачі положення флюгарки за допомогою

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

спеціального пристрою. Блоки датчиків анеморумбометра встановлюються на метеорологічному майданчику на щоглі висотою 10-12 м і орієнтуються за напрямком географічного меридіана. Вимірювальні пульти та реєстратори поміщають в будівлі станції.

За відсутності на станції мережевого живлення вимірювання швидкості і напрямку вітру проводиться комплектом флюгерів: флюгер з легкою дошкою застосовується для вимірювання швидкості вітру від 0 до 20 м / с, флюгер з важкою дошкою – при більших швидкостях вітру. Флюгер може застосовуватися на станції також в якості запасного приладу і по ньому можуть проводитись вимірювання при виході з ладу анеморумбометра. Який із флюгерів (з легкою чи важкою дошкою) встановлюється на станції в якості запасного, визначається в залежності від вітрового режиму на станції [4].

Приймачем швидкості вітру у флюгера є вертикально розташована дошка, прикріплена одним краєм до горизонтальної осі, яка вільно обертається. Завдяки флюгарці дошка обертається разом з вертикальною віссю і завжди знаходиться в положенні, перпендикулярному напрямку вітру. Під впливом вітру вона відхиляється від вертикального положення (рис. 1.2).

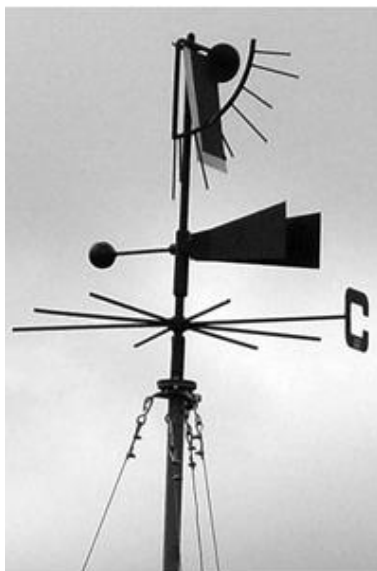


Рис. 1.2 – Флюгер на щоглі

Швидкість вітру визначається по тиску вітру на дошку, тобто по куту відхилення дошки від вертикалі. Ступінь відхилення дошки фіксується за допомогою восьми штифтів з номерами від 0 до 7 [3].

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Положення дошки між штифтами дає лише приблизне уявлення про швидкість вітру, тим більше що сила вітру швидко і часто змінюється. Дошка ніколи не залишається довго в якомусь одному положенні, а постійно коливається в деяких межах. Спостерігаючи протягом 2 хвилин за мінливим нахилом цієї дошки, визначають її середній нахил (розрахунок усередненням максимальних значень) і після цього судять про середню швидкість вітру.

Щогли з флюгером встановлюються в північній частині майданчика метеостанції. Датчики приладів влаштовують на висоті 10-12 м від поверхні землі. У виняткових випадках, коли вітровий потік сильно спотворюється перешкодами, висоту збільшують до 20 м.

Середня і максимальна швидкості вітру вимірюються за 10-хвилинний інтервал з точністю 0,5 м / с (тобто в цілих числах). Середній напрямок вітру - за 2-хвилинний інтервал у десятках градусів.

Результати метеорологічних спостережень накопичуються в централізованому банку даних Української гідрометеорологічної обсерваторії (м. Київ). До 1990 р. дані передавалися також в Обнінський гідрометеоцентр, де записувалися на машинні носії. Результати спостережень у первісному або узагальненому вигляді частково публікувалися в спеціалізованих виданнях: метеорологічних щомісячниках, щорічниках [5] та у деяких довідниках [6], де наведені дані про швидкість та напрямок вітру для кожного місяця. Об'єм метеорологічної інформації, яка накопилася до теперішнього часу, значно збільшився, що дає надійну основу для статичної обробки даних швидкості і напрямку вітру.

1.2 Методи імовірнісного опису та обчислення розрахункових значень вітрового навантаження

Для відображення процесів навантаження будівельних конструкцій застосовуються різноманітні імовірнісні моделі, вибір яких обумовлюється фізичною природою навантаження, особливостями статистичних даних, їх доступністю та трудомісткістю обробки, а також кінцевою метою дослідження. Для нормування вітрового навантаження рекомендується застосовувати три імовірнісні моделі: диференційований випадковий процес; розподіл результатів строкових вимірювань; послідовність максимальних значень [7].

Імовірнісна модель диференційованого випадкового процесу [7] дозволяє найбільш точно врахувати усі особливості процесів змінних навантажень. Для її застосування необхідно шляхом статистичної обробки встановити закон розподілу ординати та значення ефективної частоти. У деяких випадках необхідно визначити нормовану кореляційну функцію.

У зв'язку з сезонними змінами клімату вітрове навантаження має сезонний тренд характеристик і не може вважатися стаціонарним процесом, тому воно подається у формі квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу з річним періодом нестационарності закону розподілу ординати та зі стаціонарною частотною структурою. Для цього необхідно задати постійні у часі значення коефіцієнтів варіації V та асиметрії A , а також функцію математичного сподівання у вигляді алгебраїчного полінома третього ступеня [7]:

$$M(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (1.1)$$

Ці числові характеристики дають можливість встановити змінний у часі закон розподілу ординати з інтегральною функцією $F(q, t)$ та густиною $f(q, t)$. Частотна структура процесу навантаження відображується постійним у часі значенням ефективної частоти ω та нормованою кореляційною функцією у вигляді експоненти:

$$R(\tau) = \exp(-\alpha\tau), \quad (1.2)$$

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

де τ – інтервал часу між ординатами процесу;

α – параметр, визначений за дослідною корелограмою.

Розподіл ординати випадкового процесу вітрового навантаження описується законом Вейбулла, можливість застосування якого обґрунтована в численних дослідженнях метеорологів [4], [8] і який можна вважати загальноприйнятим для імовірнісного подання результатів строкових вимірювань швидкості вітру.

Розподіл Вейбулла має густину та інтегральну функцію [7]:

$$f(x) = \alpha \beta x^{\alpha-1} \exp(-\beta x^\alpha) \quad (1.3)$$

$$F(x) = 1 - \exp(-\beta x^\alpha) \quad (1.4)$$

параметри α і β яких визначаються з урахуванням отриманих при статистичній обробці даних значень математичного сподівання M та коефіцієнта варіації V . Параметр форми α обчислюється як корінь трансцендентного рівняння:

$$\frac{\Gamma(1+2/\alpha)}{[\Gamma(1+1/\alpha)]^2} = V + 1, \quad (1.5)$$

де $\Gamma(...)$ – гамма-функція. При розв'язанні рівняння (1.5) першим наближенням доцільно вважати $\alpha \approx 1/V$.

Параметр β визначається за формулою:

$$\beta = [\Gamma(1 + 1/\alpha)/M]^\alpha, \quad (1.6)$$

де α – значення параметра, обчислене з рівняння (1.5).

Розподіл Вейбулла визначений в області додатних чисел, тобто він існує при $x > 0$. Якщо параметр $\alpha > 1$, густина розподілу Вейбулла має односторонній характер з правосторонньою асиметрією, значенням $f(x)=0$ при $x=0$ та коефіцієнтом варіації $V < 1$. Якщо $\alpha < 1$, густина розподілу має експонентоподібний характер з $f(x) \rightarrow \infty$ при $x=0$ та коефіцієнтом варіації $V > 1$. Коефіцієнт асиметрії розподілу Вейбулла зв'язаний з його коефіцієнтом варіації чи параметром α .

Частинним випадком розподілу Вейбула є експоненціальний розподіл при $\alpha=1$. Його густина та інтегральна функція обчислюються за формулами:

$$f(x) = a \exp(-ax) \quad (1.7)$$

$$F(x) = 1 - \exp(-ax) \quad (1.8)$$

Параметр α визначається за формулою (1.9) через математичне сподівання M або стандарт S , так як коефіцієнт варіації $V=1$.

$$\alpha = 1/M = 1/S \quad (1.9)$$

Імовірнісна модель послідовності максимальних значень [7] використовується для відображення змінних навантажень. Для її розробки реалізація процесу навантаження розділяється на рівні відрізки, довжина яких τ повинна відповідати характерному для даного навантаження інтервалу часу (рік, місяць, доба) та забезпечувати належність ординат, віддалених на цей інтервал. На кожному інтервалі вибирається максимальне значення ординати і таким чином формується послідовність максимумів, яку можна вважати вибіркою незалежних даних. Завдяки рівномірності поділу на інтервали, послідовність максимальних значень несе інформацію про частотну структуру вихідного процесу. Така імовірнісна модель дозволяє за схемою незалежних випробувань визначити розрахункові значення змінних навантажень з урахуванням заданої забезпеченості P та строку служби конструкції T .

Вибірка максимумів описується подвійним експоненціальним законом Гумбеля, який має густину та інтегральну функцію [7]:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left[\frac{\alpha - x}{\beta} - \exp \left(\frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right], \quad (1.10)$$

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(\frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right], \quad (1.11)$$

де α і β – характеристичний екстремум (мода) і екстремальна інтенсивність (параметр масштабу) розподілу.

В граничному випадку, при великому обсязі екстремальної вибірки, параметри розподілу Гумбеля визначаються через математичне сподівання M та стандарт S вибірки максимумів за формулами [7]:

$$\alpha = M - 0.45 \cdot S; \quad \beta = 0.78 \cdot S \quad (1.12)$$

Вітрове навантаження є основним змінним повторним навантаженням, для якого можуть встановлюватися чотири розрахункові значення: граничне, експлуатаційне, квазіпостійне та циклічне [9].

Циклічне та квазіпостійне розрахункові значення можуть визначатися лише за моделлю диференційованого випадкового процесу. Для обчислення експлуатаційного розрахункового значення можуть застосовуватися дві моделі (диференційований випадковий процес та розподіл результатів строкових вимірювань), які приводять до одних і тих же розрахункових процедур. Граничне розрахункове значення вітрового навантаження може обчислюватися за трьома моделями (диференційований випадковий процес, послідовність максимальних значень та розподіл результатів строкових вимірювань).

Граничне розрахункове значення Q_m дорівнює максимуму змінного навантаження, який з заданою забезпеченістю P не може бути перевищений протягом встановленого строку служби конструкції T .

Допустима частота перевищення граничного розрахункового значення змінного навантаження має бути рівною [7]:

$$\lambda = -\ln(P)/T \approx (1 - P)/T \quad (1.13)$$

Імовірнісна модель диференційованого випадкового процесу дозволяє визначити частоту перевищень процесом навантаження $q(t)$ детермінованого значення Q_m , рівного граничному розрахунковому навантаженню, за формулами [7]:

$$\lambda(Q_m) = Wf(Q_m), \quad (1.14)$$

$$W = \omega S / \sqrt{2\pi} = 0.4\omega S, \quad (1.15)$$

де $f(Q_m)$ – щільність розподілу ординати;

W – математичне сподівання додатної похідної;

S – стандарт розподілу ординати;

ω – ефективна частота процесу навантаження.

Математичне сподівання вітрового навантаження додатної похідної процесу вітрового навантаження, отриманого в результаті квадратичного перетворення процесу швидкості вітру, залежить від рівня Q_m , для яких визначається частота перевищень [7]:

$$W = W(Q_m) = \omega \sqrt{Q_m S / 2\pi} = 0.4 \omega \sqrt{Q_m S} \quad (1.16)$$

Для обчислення граничного розрахункового значення змінного навантаження $Q_m(T)$ необхідно підставити до (1.14) математичне сподівання додатної похідної (1.15) чи (1.16), допустиму частоту перевищень $\lambda(Q_m)$ за (1.13), та густину розподілу ординати, що відповідає даному навантаженню. Розв'язок отриманого рівняння відносно Q_m і є шуканим розрахунковим значенням навантаження.

Підстановка до (1.14) густини розподілу Вейбулла (1.3) та математичного сподівання додатної похідної (1.15) дає рівняння:

$$0.4 \omega S Q_m^{\alpha-1} \alpha \beta \exp(-\beta Q_m^\alpha) = \lambda \quad (1.17)$$

яке є трансцендентним.

Імовірнісна модель послідовності максимальних значень базується на використанні розподілу Гумбеля. Двічі логарифмуючи функцію розподілу (1.11), можна знайти квантиль q , що відповідає заданому значенню функції розподілу F [7]:

$$q = \alpha - \beta \ln[-\ln(F)] \quad (1.18)$$

Допустиме значення функції розподілу в одному випробуванні визначається через (1.13) з урахуванням того, що в одиницю часу реалізується $n=1/\tau$ максимумів:

$$F = 1 - \lambda/n = 1 - \lambda \tau = 1 + \tau \ln P/T \quad (1.19)$$

Підстановка (1.19) до (1.18) дозволяє отримати формулу для обчислення граничного розрахункового значення змінного навантаження $Q_m(P, T)$, яке з імовірністю P не може бути перевищене протягом T років:

$$Q_m(P, T) = \alpha - \beta \ln[-\ln(1 + \tau \ln P/T)], \quad (1.20)$$

де α, β – параметри розподілу Гумбеля, обчислені за (1.12);

τ – періодичність вибірки максимумів.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

Для нормування за середнім періодом повторюваності можна скористатися формулою (1.20) при забезпеченості $P=0,368$.

Експлуатаційне розрахункове значення змінного навантаження $Q_e(\mu)$ залежить від частки строку служби конструкції μ , протягом якої воно може перевищуватися. Значення $Q_e(\mu)$ дорівнює квантилю закону розподілу ординати випадкового процесу навантаження, що відповідає значенню функції розподілу $F(Q_e)=1-\mu$, і обчислюється як корінь рівняння:

$$\mu = 1 - F(Q_m) = \int_{Q_e}^{\infty} f(q) dq \quad (1.21)$$

у якому $F(Q_e)$ та $f(q)$ – інтегральна функція та густина розподілу ординати випадкового процесу навантаження.

Для навантаження, розподіленого за законом Вейбула, експлуатаційне розрахункове значення дорівнює:

$$Q_e = \left[-\frac{\ln(\mu)}{\beta} \right]^{1/\alpha} \quad (1.22)$$

Наведені вище формули дозволяють обчислювати розрахункові значення швидкості і тиску вітру з використанням імовірнісних моделей стаціонарного диференційованого випадкового процесу, послідовності місячних максимумів, а також схеми незалежних випробувань на базі розподілів результатів строкових спостережень за швидкістю вітру. Вони відрізняються можливостями, точністю та трудомісткістю визначення розрахункових навантажень, а також метеорологічними даними, необхідними для оцінювання їх параметрів.

1.3 Вітрове навантаження у вітчизняних та зарубіжних нормах проєктування

Згідно з ДБН [9] вітрове навантаження є змінним навантаженням, для якого встановлені два розрахункові значення:

- граничне розрахункове значення;
- експлуатаційне розрахункове значення.

Вітрове навантаження на споруду слід розглядати як сукупність:

- а) нормального тиску, прикладеного до зовнішньої поверхні споруди або елемента;
- б) сил тертя, спрямованих по дотичній до зовнішньої поверхні і віднесених до площі її горизонтальної або вертикальної проекції;
- в) нормального тиску, прикладеного до внутрішніх поверхонь будівель.

Граничне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою [9]:

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C, \quad (1.23)$$

де γ_{fm} — коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження, який визначається залежно від заданого середнього періоду повторюваності T ;

W_0 — характеристичне значення вітрового тиску;

C — коефіцієнт, який визначається за (1.26).

Експлуатаційне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою [9]:

$$W_e = \gamma_{fe} W_0 C, \quad (1.24)$$

де γ_{fe} — коефіцієнт надійності за експлуатаційним розрахунковим значенням вітрового навантаження, який визначається залежно від частки часу η , протягом якої можуть порушуватися умови другого граничного стану.

Характеристичне значення вітрового тиску W_0 дорівнює середній (статичній) складовій тиску вітру на висоті 10 м над поверхнею землі, який може бути перевищений у середньому один раз за 50 років і досить точно визначається через швидкість вітру v за формулою [9]:

$$W_0 = 0.61v^2 \quad (1.25)$$

На території України характеристичне значення вітрового тиску W_0 визначається залежно від вітрового району по карті територіального районування вітрового тиску [9]. Карта територіального районування України за нормативними значеннями W_0 розподілена на п'ять районів, зі значенням вітрового навантаження від 400 до 600 Па. Район підвищеного вітрового навантаження розташовується в північно-західному Приазов'ї, а також на західному і східному краях Кримського півострова. Райони порівняно зниженого навантаження мають на Передкарпатті, а також на території Чернігівської, Сумської та Київської областей.

Коефіцієнт C визначається за формулою:

$$C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d, \quad (1.26)$$

де C_{aer} — аеродинамічний коефіцієнт, який визначається в залежності від форми споруди;

C_h — коефіцієнт висоти споруди враховує збільшення вітрового навантаження залежно від висоти споруди або її частини, що розглядається, над поверхнею землі та тип навколишньої місцевості;

C_{alt} — коефіцієнт географічної висоти, який враховує висоту H (в кілометрах) розміщення будівельного об'єкта над рівнем моря;

C_{rel} — коефіцієнт рельєфу, який враховує мікрорельєф місцевості поблизу площадки розташування будівельного об'єкта;

C_{dir} — коефіцієнт напрямку, який враховує нерівномірність вітрового навантаження за напрямками вітру;

C_d — коефіцієнт динамічності, який враховує вплив пульсаційної складової вітрового навантаження і просторову кореляцію вітрового тиску на споруду.

На території країн-членів ЄС та ЄАСТ вітрове навантаження на конструкції і конструктивні елементи визначається з урахуванням зовнішнього та внутрішнього вітрового тиску [10].

Відповідно до [10] вітрове навантаження діє у формі тиску на внутрішні поверхні зовнішнього огороження будівель, а внаслідок його проникності – також на внутрішні поверхні. Тиск вітру діє по нормалі до поверхні.

Вітровий тиск, що діє на зовнішню поверхню конструкцій будівлі визначається за формулою [10]:

$$W_e = q_p(z_e) C_{pe}, \quad (1.27)$$

де $q_p(z_e)$ – пікове значення швидкісного напору вітру;

z_e – базова висота для зовнішнього тиску;

C_{pe} – аеродинамічний коефіцієнт зовнішнього тиску.

Вітровий тиск, що діє на внутрішню поверхню конструкцій будівлі визначається за формулою [10]:

$$W_i = q_p(z_i) C_{pi}, \quad (1.28)$$

де $q_p(z_i)$ – пікове значення швидкісного напору вітру;

z_i – базова висота для внутрішнього тиску;

C_{pi} – аеродинамічний коефіцієнт внутрішнього тиску.

Пікове значення швидкісного напору на висоті z , включає в себе середні і короткотривалі зміни (коливання) швидкості вітру і визначається за формулою [10]:

$$q_p(z) = c_0(z) q_b, \quad (1.29)$$

де c_0 – коефіцієнт орографії;

q_b – значення середнього (базового) швидкісного напору, який визначається за формулою:

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2, \quad (1.30)$$

де v_b – базова швидкість вітру;

ρ – щільність повітря, яка залежить від висоти над рівнем моря, температури та барометричного тиску.

Значення базової швидкості вітру обчислюється за формулою [11]:

$$v_b = C_{DIR} C_{TEM} C_{ALT} v_{b,o}, \quad (1.31)$$

де $v_{b,o}$ – основне значення базової швидкості вітру;

C_{DIR} – коефіцієнт напрямку вітру;

C_{TEM} – сезонний коефіцієнт;

C_{ALT} коефіцієнт, який враховує висоту над рівнем моря.

Основне значення базової швидкості вітру – це характеристичні значення середньої швидкості вітру на рівні 10 м над поверхнею землі для відкритого типу місцевості, що відповідає 10-хвилинному інтервалу осереднення з річною імовірністю перевищення 0.02, що відповідає середньому періоду повторюваності 50 років.

Для країн-членів ЄС та ЄАСТ основне значення базової швидкості вітру визначається за картами розрахункових швидкостей вітру [11].

1.4 Визначення вітрового навантаження в гірській місцевості за вітчизняними та зарубіжними нормами проєктування

Вплив вітру на будівлю залежить від таких факторів навколишнього середовища, як рельєф і форма території.

В гірській місцевості вітровий тиск збільшується, так як зі зростанням висоти над рівнем моря збільшується середня швидкість вітру. Ступінь її збільшення залежить від особливостей земної поверхні, так як поблизу землі через тертя вітер затухає.

При визначенні вітрового навантаження в гірській місцевості за українськими та зарубіжними нормами проєктування [9], [11] вводиться поправка – коефіцієнт C_{alt} , який враховує висоту H місцевості над рівнем моря.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

В Україні коефіцієнт географічної висоти C_{alt} враховує висоту H (в кілометрах) розміщення будівельного об'єкта над рівнем моря і враховується при визначенні вітрового тиску. У європейських нормах проєктування коефіцієнт C_{alt} враховує збільшення швидкості вітру на великих висотах над рівнем моря, враховується при визначенні базової швидкості вітру і обчислюється для кожної країни по різному (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Поправочні коефіцієнти на висоту над рівнем моря

Країна	Джерело	Формула	Обмеження
Україна	[9]	$C_{alt}=2 H$	$H>0,5$ км
Великобританія	[10]	$C_{alt}=1+0,001 H$	H - в метрах
Німеччина	[10]	$C_{alt}=0,65+H/2270$	$800 \text{ м}<H<1100 \text{ м}$
Італія	[10]	$C_{alt}=1+0,00035 H$ $C_{alt}=1+0,00055 H$	Альпи; решта території; H - в метрах
Польща	[15]	$W_n=250+0,5 H \geq 350 \text{ Па}$	$H \geq 200$ метрів

У польських нормах наведена формула для безпосереднього обчислення тиску вітру W_n , відношення якого до мінімального значення $W = 350 \text{ Па}$ також можна вважати поправкою. Якщо польські норми встановлюють лінійну залежність тиску вітру від висоти місцевості над рівнем моря, то норми інших країн рекомендують лінійні залежності для поправок до швидкості вітру. Норми Великобританії та Італії враховують зростання швидкості вітру, починаючи з нульової висоти, а в інших випадках зростання швидкості починається з 200 - 800 м над рівнем моря.

За формулами таблиці 1.1 визначені поправки занесені до таблиці 1.2 і побудовані залежності на рисунку 1.3 дозволяють порівняти поправки до тиску вітру, пропоновані нормами різних країн. Для приведення до одного вигляду на рисунку 1.3 зображені квадрати поправок норм європейських країн, які відносяться до швидкості вітру.

Таблиця 1.2 – Поправочні коефіцієнти до швидкості вітру на висоту над рівнем моря

Країна	Висота над рівнем моря, м								
	0	200	500	800	1000	1100	1500	2000	2500
Велико-британія	1	1,44	2,25	3,24	4	4,41	-	-	-
Німеччина	-	-	-	1,00	1,19	1,29	-	-	-
Італія Альпи	1	1,14	1,38	1,64	1,82	1,92	2,33	2,89	3,52
Італія решта території	1	1,23	1,63	2,07	2,40	2,58	3,33	4,41	-
Україна	-	-	1	1,6	2	2,2	3	4	-
Польща	-	1,00	1,43	1,86	2,14	2,29	2,86	3,57	4,29

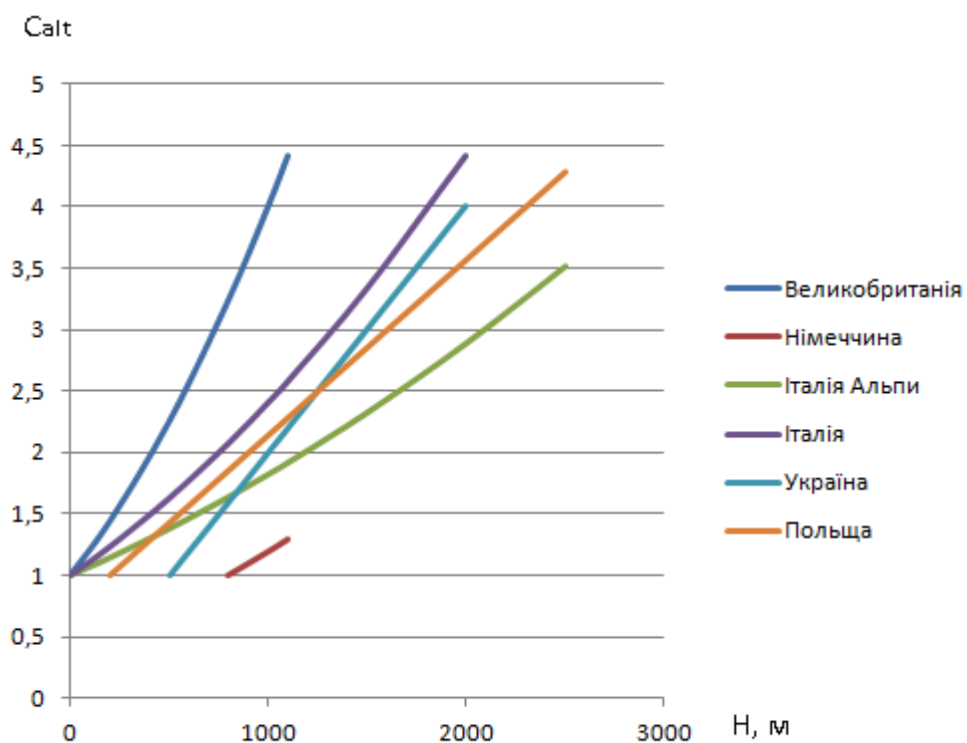


Рис. 1.3 - Поправки C_{alt} до тиску вітру на висоту H місцевості над рівнем моря

Із таблиці 1.2 та рисунка 1.3 видно, що поправки до швидкості вітру C_{alt} , пропоновані нормами різних країн, істотно відрізняються один від одного. Норми Великобританії та Італії враховують зростання швидкості вітру, починаючи з нульової висоти, а в інших випадках зростання швидкості починається з висоти 200 - 800 м над рівнем моря, нижче якої станції вважаються рівнинними. Найбільші за величиною поправки пропонують норми Великобританії, а найменші - норми Німеччини.

Формули в таблиці 1.1 дають орієнтовні оцінки швидкості і тиску вітру в запас надійності, а тому за наявності надійних метеорологічних даних для конкретного майданчика будівництва слід встановлювати розрахункові значення вітрового навантаження безпосередньо за цими даними [16].

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

1.5 Висновки з розділу та завдання досліджень

1. На території України працюють близько 200 метеостанцій та 450 метеопостів, які проводять спостереження за вітром. При вимірюванні характеристик вітру на станції використовується анеморумбометр. Вітрове навантаження розглядається як сума двох складових: середньої, що створює статистичні навантаження на конструкції, і пульсаційної, яка викликає динамічні ефекти в конструкціях. Середня складова визначається за результатами строкових вимірювань швидкості вітру з десятихвилинним періодом осереднення. Пульсаційна складова враховує мікропульсації вітрового потоку та визначається в результаті аналізу безперервних записів швидкості вітру. Результати метеорологічних спостережень накопичуються в централізованому банку даних Української гідрометеорологічної обсерваторії і періодично публікуються.

2. Для вітрового навантаження встановлено два розрахункові значення: граничне та експлуатаційне. Для їх нормування рекомендується застосовувати три імовірнісні моделі: диференційований випадковий процес; розподіл результатів строкових вимірювань; послідовність максимальних значень, вибір яких обумовлюється фізичною природою навантаження, особливостями статистичних даних, їх доступністю та трудомісткістю обробки, а також кінцевою метою дослідження.

3. Основою для визначення вітрового навантаження на споруди в зарубіжних стандартах, як і в Україні, є розрахункова швидкість, яка визначається при статистичній обробці даних по швидкості вітру на висоті 10 м над поверхнею землі для відкритого типу місцевості з періодом повторюваності 50 р. Формули для розрахунку вітрового навантаження в різних країнах дещо відрізняються по величині коефіцієнтів, які до них входять.

4. Для визначення вітрового навантаження в гірській місцевості в українських та зарубіжних нормах проєктування вводиться поправка на висоту над рівнем моря C_{alt} , яка обчислюється для кожної країни по різному і

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

дає досить грубу оцінку швидкості або тиску вітру в запас надійності. При наявності достовірних метеорологічних даних для конкретної гірської місцевості вітрове навантаження краще розраховувати за цими даними.

Виходячи з наведених результатів огляду літератури, поставлене наступне **завдання** магістерської роботи:

1. Розробити методику статистичної обробки метеорологічних даних по швидкості і тиску вітру та визначити розрахункове значення вітрового навантаження.

2. Розробити методику аналізу даних, яка забезпечує визначення коефіцієнту географічної висоти та встановити його залежність від висоти над рівнем моря.

3. Сформувати електронну базу метеорологічних даних по вітровому навантаженню в гірській місцевості за результатами метеорологічних спостережень в районі Кримських та Карпатських гір.

4. Виконати статистичну обробку метеорологічних даних, проаналізувати отримані статистичні характеристики.

5. Визначити розрахункове значення вітрового навантаження за даними метеостанцій, розташованих в гірській місцевості.

6. Визначити коефіцієнт географічної висоти і його залежність від висоти над рівнем моря. Розробити рекомендації про практичне використання коефіцієнту географічної висоти.

Розділ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Метеорологічні дані та формування бази даних

Вимірювання швидкості та напрямку вітру на території України проводиться на всіх метеостанціях Держкомгідромету за методикою описаною у розділі 1. Дані спостережень за вітром, які реєструються метеорологами, накопичуються в централізованому банку даних Української гідрометеорологічної обсерваторії і періодично публікуються у спеціалізованих виданнях [5], [6].

Для створення бази метеорологічних даних використані дані спостережень за вітром на метеостанціях України, що опубліковані в довіднику [6], у якому наведено довідкові дані про вітрове навантаження та вітроенергетичні ресурси на основі однорідного ряду анеморумбометричних спостережень, проведених у період з 1961 по 1993 рік на 223 станціях України. Матеріали довідника ґрунтуються на вітрових спостереженнях за 16 румбами з 10-хвилинним усередненням швидкості і напрямку вітру. Найменшим інтервалом є один місяць.

Для кожної з 223 метеостанцій у довідку розроблені гістограми швидкостей вітру для кожного місяця, річних та місячних максимумів швидкості вітру, рози вітрів, які характеризують повторюваність напрямку та середні швидкості вітру по румбах та інші статистичні дані. Окрім того, наводяться основні характеристики метеостанції: назва, географічна довгота і широта, висота над рівнем моря та номер, який не змінюється в усіх виданнях серії технічної метеорології України.

Для встановлення залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря, із довідника [6] вибрані гістограми місячних (рис. 2.1) та річних (рис. 2.2) максимумів швидкості вітру.

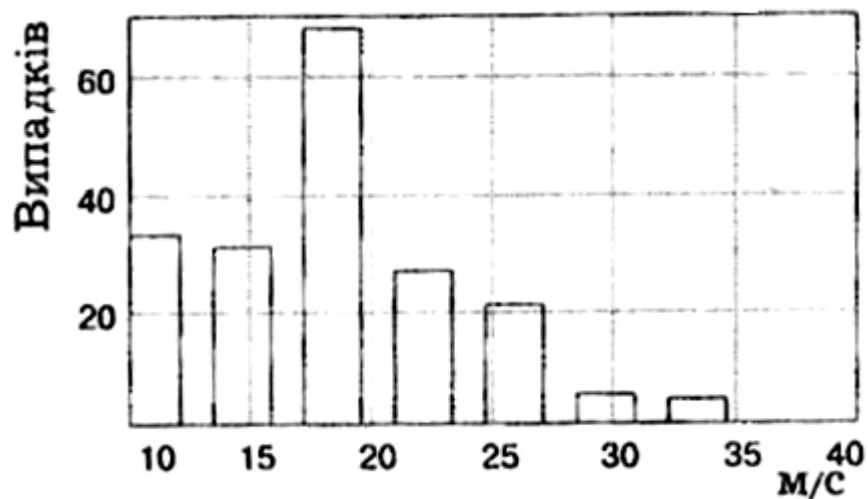


Рис. 2.1 – Гістограма місячних максимумів швидкості вітру на метеостанції Стрий

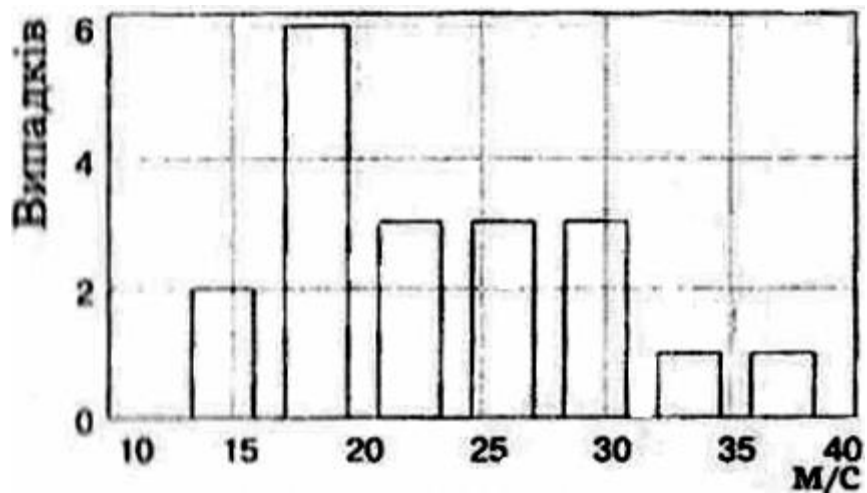
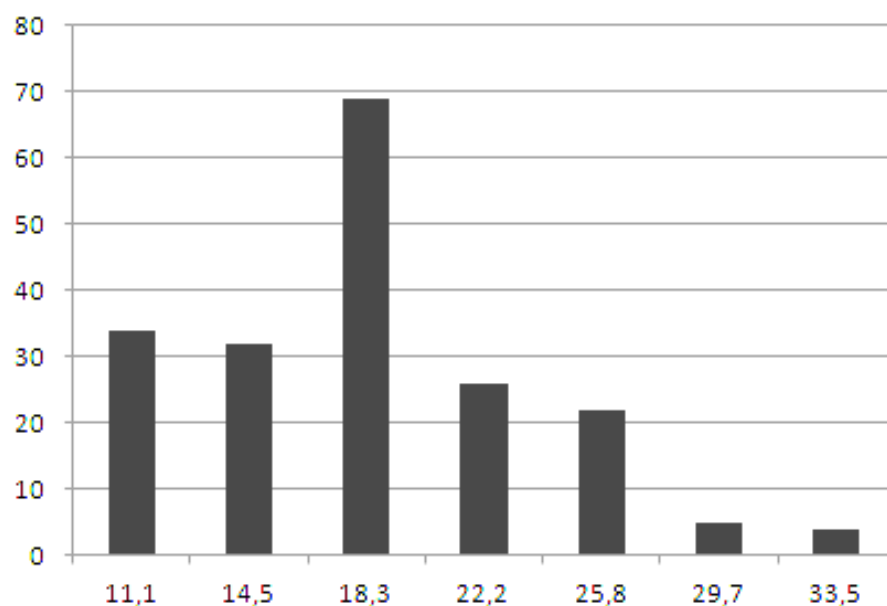


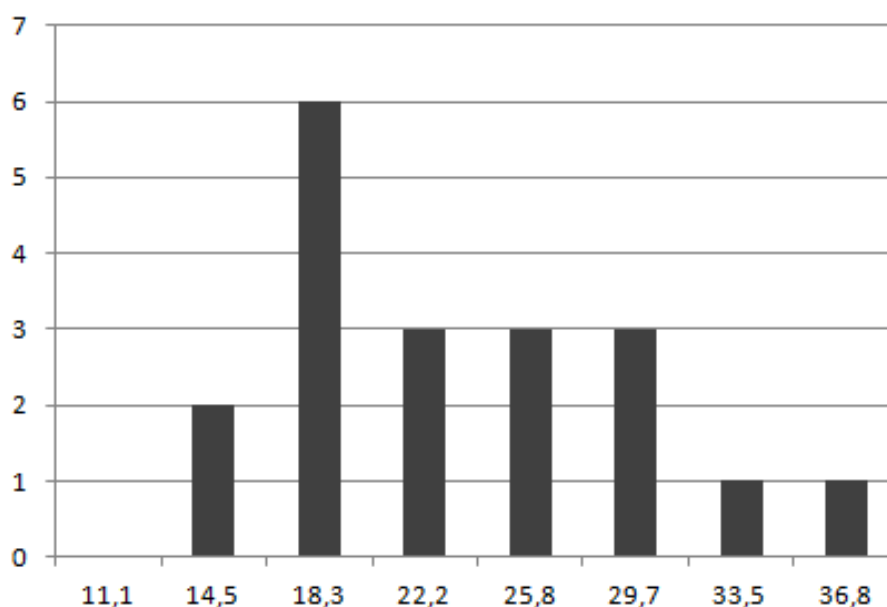
Рис. 2.2 – Гістограма річних максимумів швидкості вітру на метеостанції Стрий

За даними гістограм річних і місячних максимумів швидкості вітру визначаємо розрахункові швидкості вітру. Інтервали гістограм можуть бути різні, тому потрібно використовувати середини інтервалів. (рис. 2.3). Шляхом вимірювання визначаємо середину інтервалів і кількість даних.

Розрахункові швидкості вітру необхідні для розрахунку вітрового навантаження на споруди, які за формулою (1.25) перераховуються у розрахункові значення вітрового тиску.



а)



б)

Рис. 2.3 – Гістограма місячних а) та річних б) максимумів швидкості вітру (з урахуванням середини інтервалів) на метеостанції Стрий

База метеорологічних даних формується у програмному середовищі Microsoft Excel. Зведені дані, що характеризують метеостанції, мають форму таблиць. До першої таблиці заносяться основні характеристики метеостанції (табл. 2.1), до другої – річні та місячні максимуми швидкості вітру і кількість їх випадків (табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Загальна характеристика бази метеорологічних даних (фрагмент)

Номер станції	Назва станції	Координати		Висота над рівнем моря, м
		широта, пн. ш	довгота, сх. д	
Львівська область				
18	Стрий	49,3°	23,9°	297

Таблиця 2.2 – Річні та місячні максимуми швидкості вітру (фрагмент)

Станція	18. Стрий							
Швидкість вітру, м/с	11,1	14,5	18,3	22,2	25,8	29,7	33,5	36,8
Річні максимуми		2	6	3	3	3	1	1
Місячні максимуми	34	32	69	26	22	5	4	

До електронної бази метеорологічних даних заносяться дані метеостанцій, які розташовані в районі Кримських та Карпатських гір, що дасть змогу, після остаточного завершення роботи над формуванням бази, встановити залежність розрахункових значень вітрового навантаження від висоти розташування будівельного об'єкта над рівнем моря, шляхом статистичної обробки даних.

2.2 Методика статистичної обробки

Обробку інформації можна здійснити, використовуючи комплекси засобів обчислювальної та інформаційної техніки, за допомогою якої можна виконувати такі операції: збір і передача інформації в ПЕОМ, її обробка за заздалегідь розробленими алгоритмами та програмами, видавання обробленої інформації користувачам, зберігання й пошук інформації.

Статистична обробка метеорологічних даних виконується на персональному комп'ютері із використанням табличного процесора Microsoft Excel, який має необхідні вбудовані статистичні функції.

Метою статистичної обробки даних є представлення їх у формі, зручній для проведення аналізу з метою виявлення залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря. Компактною та наочною формою

					КМР 21192232 ПЗ			Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				30

подання даних, отриманих в результаті статистичної обробки, є статистичні таблиці та графіки.

Порядок розв'язання відповідає методиці статистичної обробки вибірок випадкових величин, описаній в [13].

За гістограмою розподілу (рис. 2.3), яка задається значеннями середин інтервалів та кількістю випадків, необхідно визначити числові характеристики вибірки: середнє значення M , яке визначає положення центра розподілу випадкової величини, та стандарт S (середнє квадратичне відхилення), що характеризує міру розкиду випадкової величини відносно центра розподілу, а також обсяг вибірки N .

Відомо, що числові характеристики визначаються за гістограмою розподілу, яка задається значеннями середин інтервалів та ймовірностей попадання випадкової величини до цих інтервалів P_j . У такому випадку середнє значення M та стандарт S визначаються за формулами [14]:

$$M = \sum_{j=1}^L P_j X_j ; \quad S = \sqrt{\sum_{j=1}^L P_j (X_j - M)^2} , \quad (2.1)$$

де X_j – елемент вибірки;

$j = 1 \dots L$ – кількість елементів у вибірці.

Оскільки у довіднику [6] для кожної метеостанції наведені гістограми розподілу місячних та річних максимумів швидкості вітру задані кількістю випадків випадкової величини, то для обчислення середнього значення M використаємо функцію Excel *СУММПРОИЗВ*, яка повертає суму добутків відповідних елементів масивів. а для обчислення стандарту S – функцію *КОРЕНЬСУММПРОИЗВ*. Обсяг вибірки N визначаємо функцією *СУММ*, яка сумує аргументи масиву даних.

Обсяг вибірки даних N обчислюємо за кількістю випадків максимумів швидкості вітру. Для розрахунку середнього значення M використовуємо масив даних швидкості вітру та кількість випадків, а також обсяг вибірки N . Для обчислення середнього квадратичного відхилення S використовуємо кількість випадків максимумів швидкості вітру, обсяг вибірки N , а також

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

новий масив даних, який розраховуємо окремо для річних та місячних значень швидкості вітру за формулою [13]:

$$A = (v - M)^2, \quad (2.2)$$

де A – елемент масиву;

v – максимум швидкості вітру;

M – середнє значення вибірки даних.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Масив даних для розрахунку стандарту S (фрагмент)

Станція	18. Стрий								M
Швидкість вітру v , м/с	11,1	14,5	18,3	22,2	25,8	29,7	33,5	36,8	
$(v-M_{pic})^2$	148,2	76,98	24,74	1,153	6,382	41,3	104,6	183	23,2
$(v-M_{mic})^2$	53,18	15,15	0,009	14,5	54,87	127,9	228,2	338,8	18,3

Числові характеристики N , M , та S обчислюємо для кожної метеостанції для річних та місячних максимумів швидкості вітру. Результати заносимо до таблиці, фрагмент якої наведений в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Числові характеристики максимумів швидкості вітру (фрагмент)

Станція	Річні			Місячні		
	N	M	S	N	M	S
18. Стрий	19	23.3	6.2	192	18.4	5.3

Статистична обробка отриманих даних виконана з урахуванням виду імовірнісних моделей, використаних для представлення вітрового навантаження. Визначенні числові характеристики дають змогу в подальшому визначити розрахункові значення швидкості вітру, які використовуються для обчислення вітрового тиску на споруди.

2.3 Визначення розрахункових значень швидкості і тиску вітру

Вітрове навантаження на конструкції створюється тиском вітрового потоку. При виконанні інженерних розрахунків тиск вітрового потоку W (в паскалях) на плоску поверхню, перпендикулярну до його напрямку, досить точно визначається за наведеною в ДБН [9] формулою (1.25).

Історично перший спосіб нормування вітрового навантаження зводився до того, що в якості розрахункової приймалася максимальна швидкість вітру, зареєстрована за весь період спостережень на даній метеостанції [17]. Використання такого способу могло бути виправдане в тому випадку, коли період спостережень на всіх метеостанціях мав би достатньо велику і однакову тривалість. На практиці ж максимальні швидкості вітру, вибрані з ряду різної тривалості, мають різну забезпеченість і тому непорівнянні один з одним. У результаті розрахункове вітрове навантаження встановлюється по єдиному максимуму. Тому виникла ідея при визначенні вітрового навантаження на споруди використовувати розрахункові швидкості вітру заданої забезпеченості, певними ймовірнісними методами на основі всієї сукупності спостережень або значної її частини. При цьому основним розрахунковим параметром вітрового навантаження стає максимальна швидкість вітру, яка може реалізуватися один раз на задане число років.

При нормуванні вітрового навантаження виконується статистична обробка даних по швидкості вітру і визначається розрахункова швидкість.

Розрахункова швидкість вітру - це швидкість, яку приймають для розрахунку вітрового навантаження на споруди при проектуванні. В залежності від класу споруди в розрахунок приймається швидкість із заданою повторюваністю - 1 раз на рік, в 5, 10, 15, 20, 50 і 100 років. Визначається методом статистичної екстраполяції розподілу швидкостей, що спостерігалися. Період повторюваності вибирається відповідно до заданої надійності споруди. Нормативний період повторюваності дорівнює 50 р.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

Розрахункові значення швидкості вітру для періодів повторюваності $T = 10, 50, 200$ років за місячними максимумами обчислюються за формулою (2.3), а за річними максимумами – за формулою (2.4) [14]:

$$v(T) = M + S[0.78 \times \ln(12T) - 0.45], \quad (2.3)$$

$$v(T) = M + S[0.78 \times \ln(T) - 0.45], \quad (2.4)$$

де M і S – середнє значення та стандарт розподілу місячних або річних максимумів швидкості вітру;

$\ln T$ – натуральний логарифм періоду повторюваності.

Отримані за формулами (2.3) та (2.4) розрахункові значення швидкості вітру (м/с) перераховуються в розрахункові значення вітрового тиску (Па) [14]:

$$W(T) = 0.61[v(T)]^2 \quad (2.5)$$

Розрахунки виконуються в програмному середовищі Microsoft Excel для кожної метеостанції за річними та місячними максимумами швидкості вітру. Результати обчислень заносяться до таблиць 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5 – Розрахункові річні значення швидкості і тиску вітру (фрагмент)

Станція	Висота над рівнем моря, м	$v(T)$			$W(T)$		
		Період повторюваності					
		10	50	200	10	50	200
18. Стрий	297	31,7	39,5	46,2	611	950	1302

Таблиця 2.6 – Розрахункові місячні значення швидкості і тиску вітру (фрагмент)

Станція	Висота над рівнем моря, м	$\nu(T)$			$W(T)$		
		Період повторюваності					
		10	50	200	10	50	200
18. Стрий	297	35,9	42,5	48,3	784	1104	1422

З таблиць 2.5 і 2.6 видно, що розрахункові значення, обчислені за вибірками річних і місячних максимумів швидкості вітру, дещо відрізняються. Відхилення викликані як методичними похибками внаслідок використання вибірок різної періодичності, так і неточністю вимірювання середин інтервалів на графічних зображеннях гістограм в довіднику [6]. Виходячи з цього, для проведення аналізу впливу висоти над рівнем моря на вітрове навантаження краще використовувати осереднені значення швидкості та тиску вітру, які обчислюються за формулами (2.6) та (2.7) відповідно [13]:

$$v_{oc} = \frac{v_M \sqrt{N_M} + v_P \sqrt{N_P}}{\sqrt{N_M} + \sqrt{N_P}}, \quad (2.6)$$

де v_{oc} – осереднене значення розрахункової швидкості вітру;

v_M, v_P – значення відповідно місячного та річного максимуму швидкості вітру;

N_M, N_P – обсяг вибірки місячних та річних максимумів швидкості вітру відповідно;

$$W_{oc} = \frac{W_M \sqrt{N_M} + W_P \sqrt{N_P}}{\sqrt{N_M} + \sqrt{N_P}}, \quad (2.7)$$

де W_{oc} – осереднене значення розрахункового вітрового тиску;

W_M, W_P – значення відповідно місячного та річного вітрового тиску;

Розрахунки виконуємо в програмному середовищі Microsoft Excel для кожного періоду повторюваності, результати заносимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Осереднені розрахункові значення швидкості та тиску вітру (фрагмент)

Станція	Висота над рівнем моря, м	V_{oc}			W_{oc}		
		Період повторюваності					
		10	50	200	10	50	200
18. Стрий	297	34,9	41,8	47,8	742,9	1066,9	1393,4

За отриманими значеннями розрахункової швидкості і розрахункового тиску вітру будуються графіки залежності і проводиться аналіз впливу

висоти над рівнем моря на вітрове навантаження та уточнюється поправка на географічну висоту над рівнем моря C_{alt} , наведену в ДБН [9].

2.4 Аналіз впливу висоти над рівнем моря

В гірській місцевості вітрове навантаження збільшується, так як зі зростанням висоти над рівнем моря збільшується середня швидкість вітру. Ступінь її збільшення залежить від особливостей земної поверхні, так як поблизу землі через тертя вітер затухає.

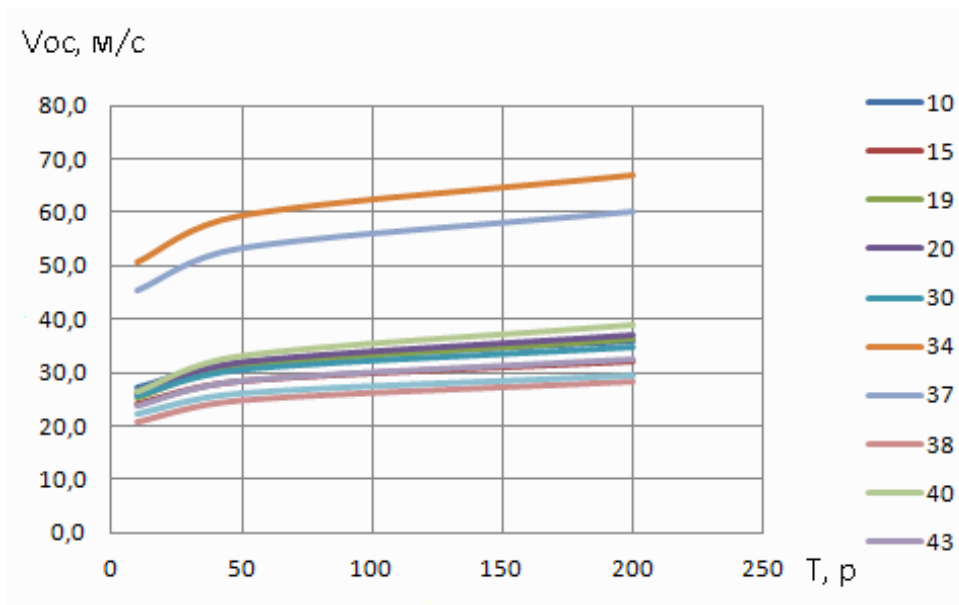
З метою врахування мінливості вітрового тиску зі збільшенням висоти над рівнем моря в українських та зарубіжних нормах проєктування [9], [11] вводиться поправка – коефіцієнт C_{alt} , який враховує висоту H місцевості над рівнем моря при визначенні вітрового навантаження.

Для встановлення залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря і уточнення поправки на географічну висоту C_{alt} , наведену в ДБН [9], було створено електронну базу метеорологічних даних, до якої занесені значення річних та місячних максимумів швидкості вітру, що опубліковані в [6], та проведена статистична обробка цих даних.

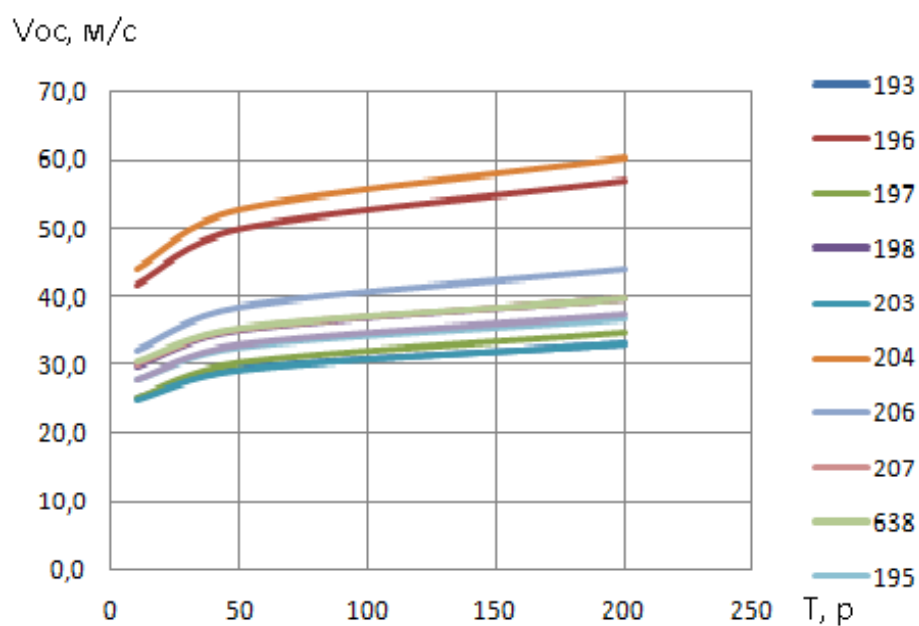
За метеорологічними даними по кожній метеостанції, які розташовані в районі Кримських та Карпатських гір, з використанням формули (2.3) та (2.4) обчислені розрахункові значення швидкості вітру $v(T)$ для періодів повторюваності 10, 50 і 200 років. Отримані значення швидкості перераховувались в значення вітрового тиску $W(T)$ за формулою (2.5). Всі розрахунки виконувались в табличному процесорі Microsoft Excel, який має необхідні вбудовані функції для розрахунку і зберігання даних. Результати розрахунків зводились в таблиці 2.5 і 2.6 з яких видно, що розрахункові значення, обчислені за вибірками річних і місячних максимумів швидкості вітру, дещо відрізняються, тому для проведення аналізу впливу висоти над рівнем моря на вітрове навантаження краще використовувати осереднені значення швидкості та тиску вітру, які обчислені за формулою (2.6) та (2.7)

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

для періодів повторюваності 10, 50 та 200 років. Залежність розрахункових осереднених значень швидкості вітру $v_{oc}(T)$ і вітрового тиску $W_{oc}(T)$ від періоду повторюваності T приведена на рис. 2.4 та 2.5 відповідно.

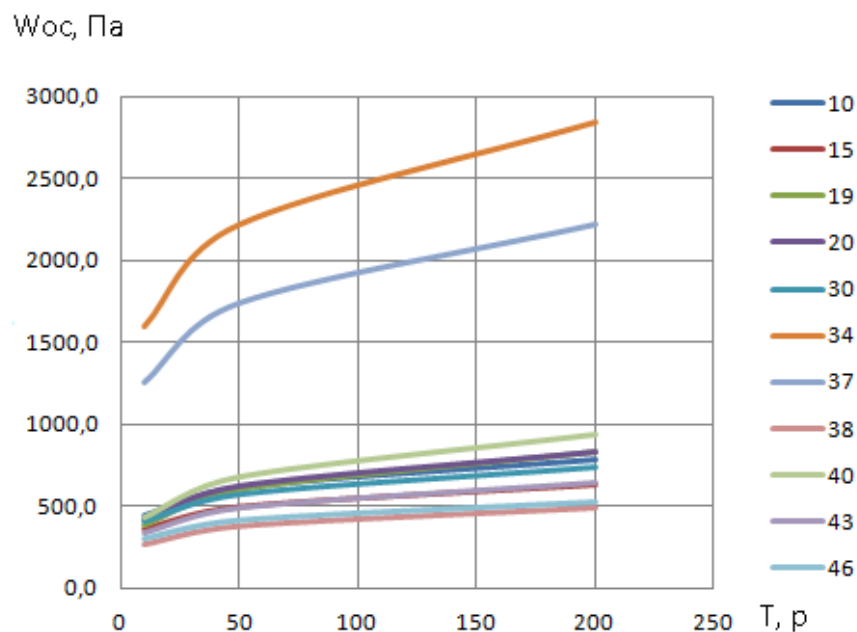


а)

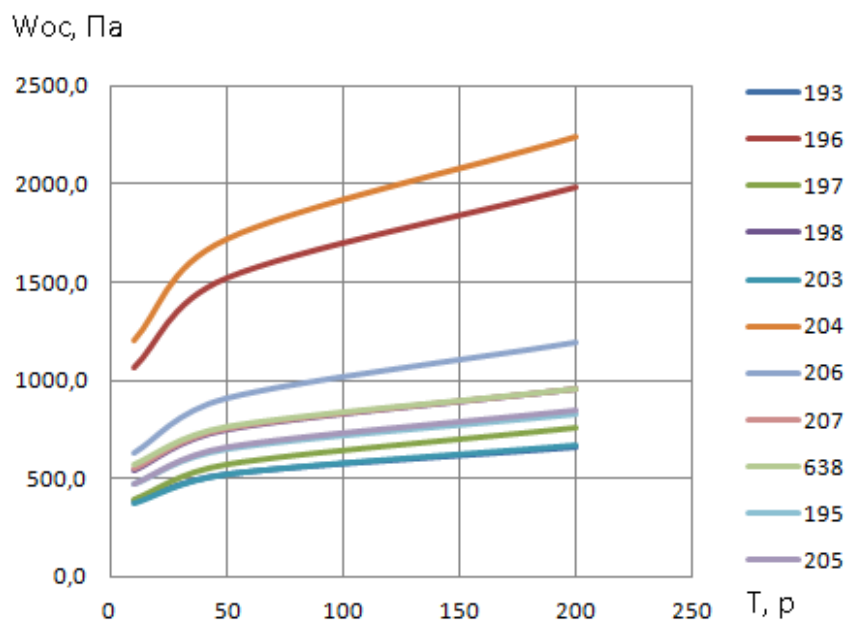


б)

Рис. 2.4 Залежність розрахункових осереднених значень швидкості вітру $v_{oc}(T)$ від періоду повторюваності T в Карпатах а) та в Криму б)



а)



б)

Рис. 2.5 Залежність розрахункових осереднених значень вітрового тиску $W_{oc}(T)$ від періоду повторюваності T в Карпатах а) та в Криму б)

Із рисунка 2.4 та 2.5 видно, що залежності швидкості $v(T)$ та тиску $W(T)$ вітру мають логарифмічний характер, який відмічався і в роботах [7], [18]. При збільшенні періоду повторюваності в 10 разів розрахункові значення швидкості вітру збільшуються в 1,15...1,3 разів, а вітрового тиску в 1,35...1,6 разів.

Для метеостанції № 35 «Великий Березний» характерні невеликі значення вітрового навантаження; розташовані в Кримських горах на висоті 1180 м метеостанція № 204 «Ай-Петрі» та на висоті 988 м метеостанція № 196 «Караби-Яйла» відрізняються дуже сильними вітрами; в Карпатах великі значення швидкості вітру зафіксовані на метеостанції № 34 «Пожежевська», яка розташована на висоті 1451 м над рівнем моря та станції № 37 «Плай», що знаходиться на висоті 1330 м; метеостанція № 41 «Берегове» з висотою 113 м над рівнем моря займає проміжне положення, яке відповідає рівнинній території України.

Остаточно для встановлення залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря використані розрахункові значення вітрового тиску для нормативного періоду повторюваності 50 років.

Після усіх проведених розрахунків, описаних в даному розділі будуються графіки залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря та уточнюється поправка на географічну висоту над рівнем моря C_{alt} , наведену в ДБН [9].

Для уточнення коефіцієнта C_{alt} , який враховує висоту розташування будівельного об'єкта над рівнем моря, заносимо в таблицю 2.8 гірські метеостанції та рівнинні метеостанції, які їх оточують (рис. 2.6), а також розрахунковий вітровий тиск $W_{oc}(50)$, що на них спостерігається. Гірськими вважаються метеостанції, які розташовуються на висоті понад 500 м над рівнем моря [7]. Обчислюємо середнє значення вітрового тиску по рівнинним метеостанціям $W_{сер}$ за формулою (2.8) та знаходимо поправку C_{alt} , шляхом ділення вітрового тиску, що спостерігається на гірській метеостанції на вітровий тиск рівнинної метеостанції (формула 2.9).

$$W_{сер} = \frac{(\sum W_{oc(50)})}{n}, \quad (2.8)$$

де $W_{oc(50)}$ – осереднене розрахункове значення вітрового тиску на рівнинній метеостанції;

n - кількість рівнинних метеостанцій, які оточують гірську метеостанцію.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{alt} = \frac{W_{oc(50)}}{W_{сep}}, \quad (2.9)$$

де $W_{oc(50)}$ – осереднене розрахункове значення вітрового тиску на гірській метеостанції;



Рис. 2.6 Карта гірських метеостанцій і рівнинних, що їх оточують (фрагмент для метеостанції Турка)

Розрахунок коефіцієнта C_{alt} , проводиться для гірських метеостанцій. За даними довідника [6] в районі Карпатських гір налічується шість гірських метеостанцій: № 19 «Турка» з висотою розташування над рівнем моря 594 м; № 20 «Славськ» - 592 м; № 34 «Пожежевська» - 1451 м; № 37 «Плай» - 1330 м; № 38 «Нижній Студений» - 615 м та № 46 «Селятин» - 762 м, а в районі Кримських гір чотири метеостанції знаходиться на висоті понад 500 м: № 196 «Караби-Яйла» з висотою розташування над рівнем моря 988 м; № 198 «Ангарський Перевал» - 765 м; № 204 «Ай-Петрі» - 1180 м; № 638 «Карадаг» - 577 м.

Таблиця 2.8 – Поправка C_{alt} вітрового навантаження на висоту над рівнем моря

Гірська станція	Висота над рівнем моря, м	$W_{oc}(50)$, Па	Рівнинна метеостанція	Висота над рівнем моря, м	$W_{oc}(50)$, Па	$W_{сер}(50)$, Па	C_{alt}
19. Турка	594	602,98	16. Самбір	296	687,63	677,21	0,89
			17. Дрогобич АМСЦ	275	763,54		
			18. Стрий	297	1066,89		
			35. Великий Березний	205	404,14		
			36. Нижні Ворота	486	463,84		

За даними таблиці 2.8 будується графік залежності коефіцієнта C_{alt} від висоти розташування гірських метеостанцій над рівнем моря та встановлюється залежність вітрового навантаження від географічної висоти.

2.5 Висновки з розділу

Виконані в даному розділі дослідження та отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

1. Електронна база метеорологічних даних по швидкості та тиску вітру повинна включати такі дані: номер та назву метеостанції, висоту її розташування над рівнем моря, географічні координати, гістограми річних та місячних значень швидкості вітру, які задані серединами інтервалів та кількістю спостережень.

2. Розроблена електронна таблиця забезпечує обчислення статистичних характеристик вибірок річних та місячних максимумів швидкості вітру.

3. В програмному середовищі Microsoft Excel реалізовано обчислення розрахункових значень швидкості та тиску вітру залежно від заданого періоду повторюваності (10, 50, 200 р) за вибірками річних та місячних максимумів, а також їх осереднення.

4. Розроблена методика визначення коефіцієнту географічної висоти C_{alt} з урахуванням даних найближчих рівнин метеостанцій.

					КМР 21192232 ПЗ		Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			41

Розділ 3

ВІТРОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ В ГІРСЬКИХ МІСЦЕВОСТЯХ УКРАЇНИ

3.1 База метеорологічних даних по вітровому навантаженню

Для створення бази метеорологічних даних були використані гістограми розподілу річних та місячних максимумів швидкості вітру періоду з 1961 до 1993 року, які наведені у [6], за методикою описаною у розділі 2.

Для встановлення залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря відібрані дані метеостанцій, які знаходяться в районі Кримських та Карпатських гір. При попередньому відборі відкинуті метеостанції, дані яких містять великі пропуски. Таким чином відібрані дані 37 метеостанцій, перелік яких наведено в таблиці 3.1, а схема їх розташування показана на рисунку 3.2 та 3.3.

Згущення метеостанцій в районі Кримських та Карпатських гір оправдано складним рельєфом. Наведена на рисунку 3.1 гістограма розподілу метеостанцій за висотою над рівнем моря показує, що більшість метеостанцій розташовані на висоті понад 300 м над рівнем моря. Така географічна локалізація дозволить встановити залежність розрахункових значень вітрового навантаження від висоти розташування над рівнем моря.

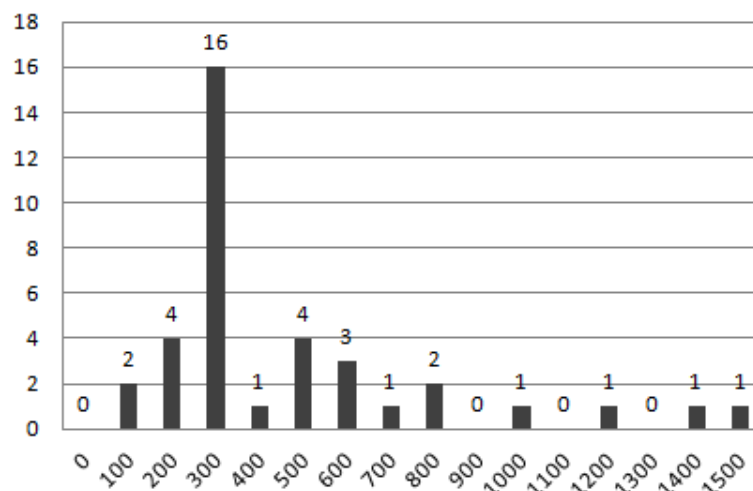


Рис. 3.1 – Гістограма розподілу метеостанцій за висотою над рівнем моря



Рис. 3.2 Розташування метеостанцій в районі Карпатських гір

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КМР 21192232 ПЗ

Лист

43

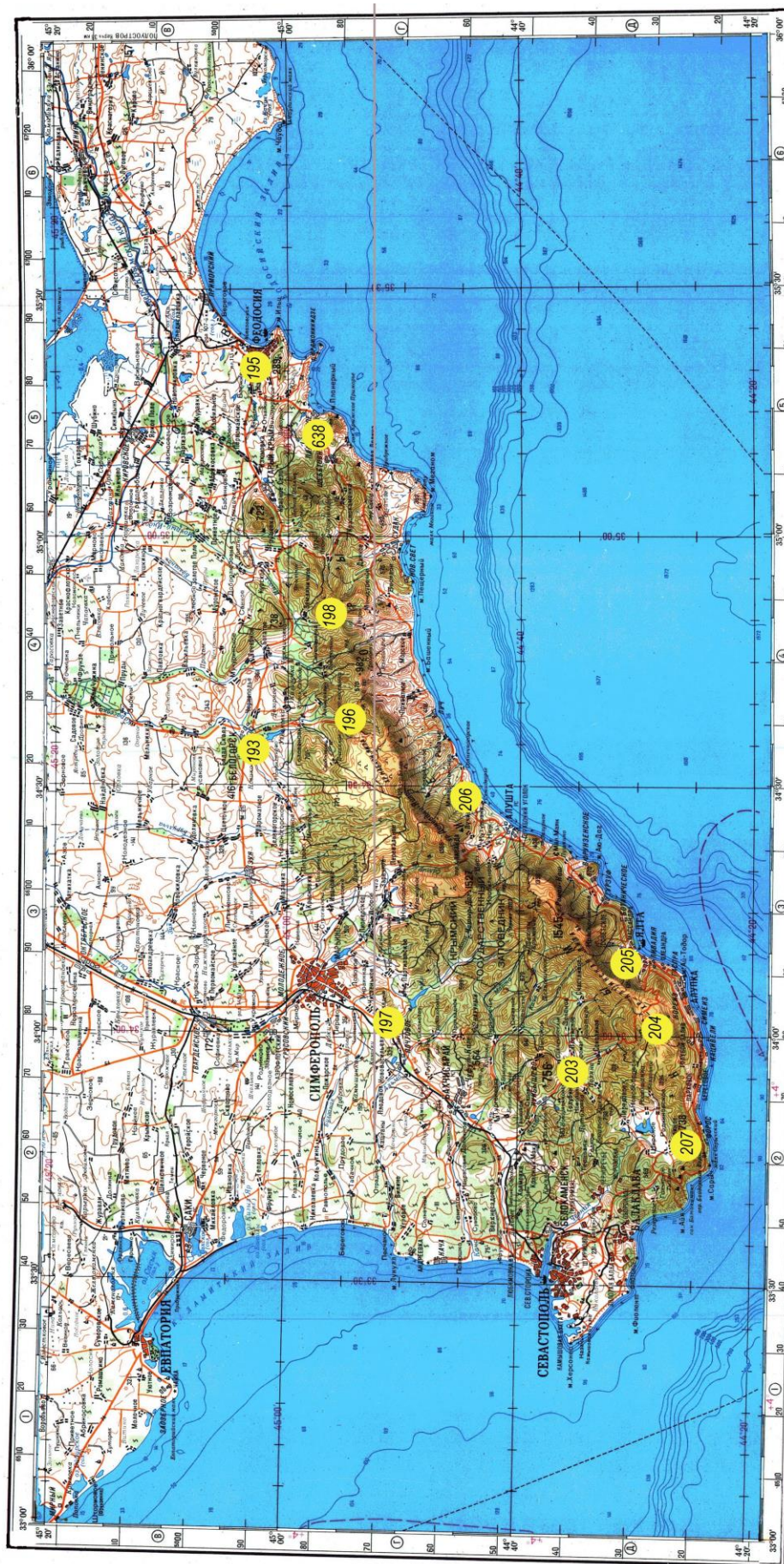


Рис. 3.3 Розташування метеостанцій в районі Кримських гір

Таблиця 3.1 – Основні характеристики метеостанцій

Номер станції	Назва станції	Координати		Висота над рівнем моря, м
		широта, пн. ш.	довгота, сх. д.	
Львівська область				
10	Рава-Руська	50,3°	23,6°	252
11	Кам`янка-Буська	50,1°	24,4°	212
12	Броди	50,1°	25,2°	227
14	Мостиська	49,8°	23,2°	232
15	Львів АМСЦ	49,3°	24,1°	319
16	Самбір	49,5°	23,2°	296
17	Дрогобич АМСЦ	49,4°	23,5°	275
18	Стрий	49,3°	23,9°	297
19	Турка	49,2°	23,0°	594
20	Славськ	48,9°	23,5°	592
Івано-Франківська область				
30	Долина	48,9°	24,0°	470
31	Івано-Франківськ АМСЦ	48,9°	24,7°	275
33	Коломия	48,5°	25,0°	295
34	Пожежевська	48,2°	24,5°	1451
Закарпатська область				
35	Великий Березний	48,9°	22,5°	205
36	Нижні Ворота	48,8°	23,1°	486
37	Плай	48,7°	23,2°	1330
38	Нижній Студений	48,7°	23,4°	615
39	Ужгород АМСЦ	48,6°	22,3°	115
40	Міжгір`я	48,5°	23,5°	456
41	Берегове	48,2°	22,6°	113
42	Хуст	48,2°	23,3°	164
43	Рахів	48,1°	24,2°	430
Чернівецька область				
44	Новодністровськ	48,6°	27,4°	242
45	Чернівці АМСЦ	48,3°	25,9°	242
46	Селятин	47,9°	25,2°	762
Крим				
193	Білогірськ	45,1°	34,6°	205
195	Феодосія	45,0°	34,4°	22
196	Караби-Яйла	44,9°	34,5°	988

Продовження табл. 3.1

197	Поштова	44,8°	33,9°	172
198	Ангарський перевал	44,8°	34,3°	765
203	Голубинка	44,6°	33,9°	218
204	Ай-Петрі	44,5°	34,1°	1180
205	Ялта	44,5°	34,2°	66
206	Нікітський Сад	44,5°	34,3°	207
207	Орлине	44,4°	33,8°	268
638	Карадаг			577

Для проведення аналізу залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря у гірській місцевості, із довідника [6] вибрані гістограми місячних та річних максимумів швидкості вітру по кожній наведеній вище метеостанції. За даними гістограм, шляхом вимірювання і візуального усереднення середини інтервалів гістограм, було визначено розрахункові максимальні швидкості вітру та кількість їх випадків за місяць і рік. Визначені метеорологічні дані по кожній станції наведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Річні та місячні максимуми швидкості вітру

Львівська область								
Станція	10. Рава-Руська							
Швидкість вітру, м/с	12,1	14,4	16,7	18,9	21,1	23,6	25,7	28
Річні максимуми	3		1	7	1	2	3	2
Місячні максимуми	64	25	49	31	18	7	1	
Станція	11. Кам'янка-Бузька							
Швидкість вітру, м/с	11,1	13,5	15,8	18,4	20,5	23,3	25,4	27,8
Річні максимуми	6	2	2	3	2	1	2	1
Місячні максимуми	25	48	50	25	5	5		
Станція	12. Броди							
Швидкість вітру, м/с	11	14,5	18	21,6	25,3	29	36,2	
Річні максимуми	3	1	6	7	1		1	
Місячні максимуми	76	58	24	20	10	2	2	
Станція	14. Мостиська							
Швидкість вітру, м/с	8,2	10,8	13,5	16	18,9	21,4	26,7	
Річні максимуми		1	7		4	5	2	
Місячні максимуми	12	51	48	35	34	12		
Станція	15. Львів АМСЦ							
Швидкість вітру, м/с	8,4	10,8	13,2	15,8	18,2	20,8	23,2	25,8
Річні максимуми	1	4	4		1	4		1

Продовження табл. 3.2

Місячні максимуми	2	20	63	68	26	13	5	
Станція	<i>16. Самбір</i>							
Швидкість вітру, м/с	7,3	10,1	12,8	15,5	18,4	21,1	23,9	26,8
Річні максимуми	2		2	6	1			2
Місячні максимуми	26	32	29	19	24	3	8	
Станція	<i>17. Дрогобич АМСЦ</i>							
Швидкість вітру, м/с	10,9	13,8	17,2	20,5	23,5	26,8	33,3	
Річні максимуми	2	3	7	3	2		2	
Місячні максимуми	22	75	60	14	19	5	2	
Станція	<i>18. Стрий</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,1	14,5	18,3	22,2	25,8	29,7	33,5	36,8
Річні максимуми		2	6	3	3	3	1	1
Місячні максимуми	34	32	69	26	22	5	4	
Станція	<i>19. Турка</i>							
Швидкість вітру, м/с	5,8	8,8	11,8	15	18,2	21,2	24,4	27,5
Річні максимуми	1	4	3	1	1	2	3	4
Місячні максимуми	28	44	71	27	7	7	2	
Станція	<i>20. Славськ</i>							
Швидкість вітру, м/с	8,7	11,9	15,2	18,5	21,5	24,8	31,3	
Річні максимуми	2	9	1	3	2		1	
Місячні максимуми	53	51	41	26	4	5	1	
Івано-Франківська область								
Станція	<i>30. Долина</i>							
Швидкість вітру, м/с	10,6	13,4	16,1	19,1	21,9	24,7	27,7	30,6
Річні максимуми	4	1	9	1		1	1	1
Місячні максимуми	28	65	65	13	17		2	
Станція	<i>31. Івано-Франківськ</i>							
Швидкість вітру, м/с	8	12	15,3	20	24,1	28,1	32,1	36
Річні максимуми	3	3	4	2	2		1	1
Місячні максимуми	41	49	44	38	11	2		1
Станція	<i>33. Коломия</i>							
Швидкість вітру, м/с	4,8	8,6	12,1	15,8	19,2	23	30,3	
Річні максимуми	1	3	3	8	3		1	
Місячні максимуми	2	15	53	79	33	14		
Станція	<i>34. Пожежевська</i>							
Швидкість вітру, м/с	13,9	17,2	20,8	27,7	31,3	38,3		
Річні максимуми					1	18		
Місячні максимуми	30	34	18	36	29	37		
Закарпатська область								
Станція	<i>35. Великий Березний</i>							
Швидкість вітру, м/с	9,1	11,3	13,7	15,8	18,1	20,4	22,7	24,6

Продовження табл. 3.2

Річні максимуми		3	5		5	2	2	1
Місячні максимуми	32	74	42	29	8	3		1
Станція	<i>36. Нижні Ворота</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,1	13,3	15,7	17,8	20,1	22,4	24,7	26,9
Річні максимуми	2	2	6	2	3	2	1	1
Місячні максимуми	15	45	29	43	1	2	1	
Станція	<i>37. Плай</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,8	15,8	19,3	23,2	26,9	30,6	34,3	38,2
Річні максимуми				4	1		1	12
Місячні максимуми	4	15	33	38	34	44		16
Станція	<i>38. Нижній Студений</i>							
Швидкість вітру, м/с	8	10,2	12,3	14,3	16,4	18,6	20,8	22,8
Річні максимуми	1	3	6	1			1	1
Місячні максимуми	22	34	44	25	15	2		2
Станція	<i>39. Ужгород АМСЦ</i>							
Швидкість вітру, м/с	8,2	11,3	14,7	18,3	21,6	24,8	28,3	8,2
Річні максимуми	3	3	4	3	4		2	3
Місячні максимуми	28	75	63	17	8	5	2	28
Станція	<i>40. Міжгір'я</i>							
Швидкість вітру, м/с	8,3	12,5	16,7	20,8	25,4	29,4	37,8	
Річні максимуми	3	11		1			1	
Місячні максимуми	106	46	25	4	2	2	2	
Станція	<i>41. Берегове</i>							
Швидкість вітру, м/с	7,1	9,4	11,7	13,9	16,1	18,3	20,6	28
Річні максимуми			2	2	7	6	1	1
Місячні максимуми	22	53	40	54	29	6	2	
Станція	<i>42. Хуст</i>							
Швидкість вітру, м/с	5,6	8	10,6	13,1	15,7	18,4	23,9	
Річні максимуми	4	2	1	4	9	1	1	
Місячні максимуми	15	57	77	24	15	13	1	
Станція	<i>43. Рахів</i>							
Швидкість вітру, м/с	8,5	11,1	13,5	16,2	18,9	21,6	24,3	26,8
Річні максимуми		3	1	7	3	3	1	1
Місячні максимуми	65	57	39	19	12	6	1	
Чернівецька область								
Станція	<i>44. Новодністровськ</i>							
Швидкість вітру, м/с	7,4	9,9	12,8	15,4	18,1	20,9	23,6	
Річні максимуми	1	2	4		2		1	
Місячні максимуми		14	40	31	8	5	1	

Продовження табл. 3.2

Станція	<i>45. Чернівці АМСЦ</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,3	13,8	16,2	18,8	21,2	23,6	26,2	28,6
Річні максимуми			4	4	3	2	3	3
Місячні максимуми	22	73	52	30	8	5		
Станція	<i>46. Селятин</i>							
Швидкість вітру, м/с	9,4	11,9	14,1	16,9	19,1	26,8		
Річні максимуми	2	2	3	11		1		
Місячні максимуми	44	94	29	23	15	1		
Крим								
Станція	<i>193. Білогірськ</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,3	13,8	16,3	18,6	21,3	23,8	28,8	
Річні максимуми	2	5	4	5	1	1	1	
Місячні максимуми	9	75	38	29	12	5	1	
Станція	<i>195. Феодосія</i>							
Швидкість вітру, м/с	12,6	15,5	18,3	21,1	24,1	26,7	32,5	
Річні максимуми	3	4	5	4	2		1	
Місячні максимуми	58	52	51	12	12	2	1	
Станція	<i>196. Караби Яйла</i>							
Швидкість вітру, м/с	10	14,6	19,2	23,7	28,6	33,1	37,6	
Річні максимуми	2	2	1	5	5	1	2	
Місячні максимуми	1	32	29	54	36	17	4	
Станція	<i>197. Поштова</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,9	15,7	19,5	23,3	26,8	38,2		
Річні максимуми	5	1	1	1		1		
Місячні максимуми	89	75	6		2	1		
Станція	<i>198. Ангарський Перевал</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,3	13,7	16,3	18,7	21,3	23,8	26,3	28,9
Річні максимуми	1		3	5	1	4	3	2
Місячні максимуми	14	58	32	38	28	22	5	
Станція	<i>203. Голубинка</i>							
Швидкість вітру, м/с	8,9	10,4	12,6	14,9	17,1	19,4	21,4	23,9
Річні максимуми				6	2	2	1	2
Місячні максимуми	12	39	25	22	20	18		2
Станція	<i>204. Ай-Петрі</i>							
Швидкість вітру, м/с	10	14,6	19,1	23,7	28,3	32,9	37,4	
Річні максимуми		1			13		5	
Місячні максимуми	14	39	33	58	3	34	6	
Станція	<i>205. Ялта</i>							
Швидкість вітру, м/с	11,6	14,7	17,7	20,6	23,6	26,5	29,5	32,6
Річні максимуми		1	12	2	1	1	1	1
Місячні максимуми	55	35	49	15	14	1		

Продовження табл. 3.2

Станція	206. Нікітський Сад							
Швидкість вітру, м/с	12,8	16,3	19,8	23,3	26,7	30,3	33,9	37,3
Річні максимуми	3	4	4	1	3	2		2
Місячні максимуми	51	55	50	3	15	2	1	
Станція	207. Орлине							
Швидкість вітру, м/с	11,9	14,6	17,2	19,9	22,4	25,1	27,7	
Річні максимуми		1	2	2	2	5	1	
Місячні максимуми	36	16	25	30	18	4	2	
Станція	638. Карадаг							
Швидкість вітру, м/с	16,1	18,6	20,9	23,3	25,7	32,8		
Річні максимуми	2		2			1		
Місячні максимуми	10	14	16	7	3	1		

За отриманими значеннями максимальних швидкостей вітру виконується статистична обробка метеорологічних даних за методикою описаною в розділі 2. Вона проводиться для представлення даних у формі, зручній для аналізу залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря у гірській місцевості.

3.2 Статистичні характеристики швидкості вітру

До статистичних характеристик вибірки відносять середнє значення M , яке визначає положення центра розподілу випадкової величини, та стандарт S (середнє квадратичне відхилення), що характеризує міру розкиду випадкової величини відносно центра розподілу, а також обсяг вибірки N .

Статистичні характеристики вітру обчислюються за методикою описаною в розділі 2 для місячних та річних значень максимальної швидкості вітру по кожній метеостанції. Обсяг вибірки даних N обчислено за кількістю випадків максимумів швидкості вітру. Для розрахунку середнього значення M використано масив даних швидкості вітру та кількість випадків, а також обсяг вибірки N . Для обчислення середнього квадратичного відхилення S використовуємо кількість випадків максимумів швидкості вітру, обсяг вибірки N , а також новий масив даних, який розрахований окремо для річних

та місячних значень швидкості вітру за формулою (2.2) і занесений до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Масив даних для розрахунку стандарту S

Львівська область									
Станція	10. Рава-Руська								M
Швидкість вітру v, м/с	12,1	14,4	16,7	18,9	21,1	23,6	25,7	28	
$(v-M_{p10})^2$	68,1	35,4	13,3	2,1	0,6	10,5	28,6	58,5	20,4
$(v-M_{mic})^2$	14,8	2,4	0,6	8,7	26,6	58,6	95,2	145,3	15,9
Станція	11. Кам'янка-Буська								M
Швидкість вітру v, м/с	11,1	13,5	15,8	18,4	20,5	23,3	25,4	27,8	
$(v-M_{p10})^2$	35,0	12,4	1,5	1,9	12,1	39,5	70,3	116,3	17,0
$(v-M_{mic})^2$	16,4	2,7	0,4	10,5	28,6	66,3	105,0	159,9	15,2
Станція	12. Броди								M
Швидкість вітру v, м/с	11	14,5	18	21,6	25,3	29	36,2		
$(v-M_{p10})^2$	70,2	23,8	1,9	4,9	35,1	92,6	282,9		19,4
$(v-M_{mic})^2$	17,9	0,5	7,7	40,6	101,4	189,6	439,7		15,2
Станція	14. Мостиська								M
Швидкість вітру v, м/с	8,2	10,8	13,5	16	18,9	21,4	26,7		
$(v-M_{p10})^2$	95,32	51,31	19,92	3,854	0,878	11,81	76,33		17,9
$(v-M_{mic})^2$	37,91	12,65	0,735	2,698	20,64	49,6	152,3		14,3
Станція	15. Львів АМСЦ								M
Швидкість вітру v, м/с	8,4	10,8	13,2	15,8	18,2	20,8	23,2	25,8	
$(v-M_{p10})^2$	49,56	21,53	5,018	0,13	7,618	28,73	60,22	107,3	15,4
$(v-M_{mic})^2$	46,52	19,54	4,082	0,336	8,879	31,13	63,68	111,9	15,2

Продовження табл. 3.3

Станція	16. Самбір								М
Швидкість вітру v , м/с	7,3	10,1	12,8	15,5	18,4	21,1	23,9	26,8	
$(v-M_{piv})^2$	71,99	32,31	8,908	0,081	6,84	28,25	65,86	121,3	15,7
$(v-M_{mic})^2$	35,96	10,22	0,246	4,856	26,05	60,9	112,4	182,3	13,3
Станція	17. Дрогобич АМСЦ								М
Швидкість вітру v , м/с	10,9	13,8	17,2	20,5	23,5	26,8	33,3		
$(v-M_{piv})^2$	63,66	25,8	2,819	2,628	21,35	62,74	208		18,8
$(v-M_{mic})^2$	30,82	7,029	0,561	16,39	49,68	107,1	283,9		16,4
Станція	18. Стрий								М
Швидкість вітру v , м/с	11,1	14,5	18,3	22,2	25,8	29,7	33,5	36,8	
$(v-M_{piv})^2$	148,2	76,98	24,74	1,153	6,382	41,3	104,6	183	23,2
$(v-M_{mic})^2$	53,18	15,15	0,009	14,5	54,87	127,9	228,2	338,8	18,3
Станція	19. Турка								М
Швидкість вітру v , м/с	5,8	8,8	11,8	15	18,2	21,2	24,4	27,5	
$(v-M_{piv})^2$	140,2	78,18	34,13	6,981	0,311	12,66	45,67	97,18	17,6
$(v-M_{mic})^2$	31,16	6,665	0,175	13,09	46,49	96,4	169,5	259,8	11,3
Станція	20. Славськ								М
Швидкість вітру v , м/с	8,7	11,9	15,2	18,5	21,5	24,8	31,3		
$(v-M_{piv})^2$	39,34	9,439	0,052	12,45	42,61	96,59	266,6		14,9
$(v-M_{mic})^2$	21,48	2,057	3,481	26,68	66,68	131,5	322,8		13,3
Івано-Франківська область									
Станція	30. Долина								М
Швидкість вітру v , м/с	10,6	13,4	16,1	19,1	21,9	24,7	27,7	30,6	

Продовження табл. 3.3

$(v-M_{pich})^2$	38,72	11,71	0,522	5,188	25,78	62,06	118,3	189,8	16,8
$(v-M_{mic})^2$	21,27	3,284	0,788	15,12	44,73	90,02	155,9	236,8	15,2
Станція	<i>31. Івано-Франківськ</i>								<i>M</i>
Швидкість вітру v , м/с	8	12	15,3	20	24,1	28,1	32,1	36	
$(v-M_{pich})^2$	87,31	28,56	4,177	7,056	45,65	115,7	217,7	348,1	17,3
$(v-M_{mic})^2$	42,92	6,508	0,561	29,69	91,18	183,6	308	460,1	14,5
Станція	<i>33. Коломия</i>								<i>M</i>
Швидкість вітру v , м/с	4,8	8,6	12,1	15,8	19,2	23	30,3		
$(v-M_{pich})^2$	100	38,44	7,29	1	19,36	67,24	240,3		14,8
$(v-M_{mic})^2$	108,6	43,86	9,753	0,333	15,82	60,48	227,3		15,2
Станція	<i>34. Пожежевська</i>								<i>M</i>
Швидкість вітру v , м/с	13,9	17,2	20,8	27,7	31,3	38,3			
$(v-M_{pich})^2$	77,5 ⁵	429,8	293,5	104,7	43,98	0,136			37,9
$(v-M_{mic})^2$	35,3 ¹	69,45	22,41	4,693	33,25	163			25,5
<i>Закарпатська область</i>									
Станція	<i>35. Великий Березний</i>								<i>M</i>
Швидкість вітру v , м/с	9,1	11,3	13,7	15,8	18,1	20,4	22,7	24,6	
$(v-M_{pich})^2$	60,41	31,05	10,06	1,15	1,507	12,45	33,96	59,72	16,8
$(v-M_{mic})^2$	12,63	1,833	1,094	9,898	29,66	60	100,9	142,7	12,6
Станція	<i>36. Нижні Ворота</i>								<i>M</i>
Швидкість вітру v , м/с	11,1	13,3	15,7	17,8	20,1	22,4	24,7	26,9	
$(v-M_{pich})^2$	42,87	18,9	3,792	0,023	6,015	22,59	49,74	85,61	17,6
$(v-M_{mic})^2$	17,3	3,84	0,194	6,454	23,43	50,99	89,12	135,5	15,2

Продовження табл. 3.3

Станція	37. Плай								М
Швидкість вітру v , м/с	11,8	15,8	19,3	23,2	26,9	30,6	34,3	38,2	
$(v-M_{pich})^2$	493,8	332	216,7	117,1	50,73	11,71	0,077	17,45	34,0
$(v-M_{mic})^2$	185,2	92,3	37,3	4,871	2,229	26,97	79,08	163,7	25,4
Станція	38. Нижній Студений								М
Швидкість вітру v , м/с	8	10,2	12,3	14,3	16,4	18,6	20,8	22,8	
$(v-M_{pich})^2$	26,01	8,41	0,64	1,44	10,89	30,25	59,29	94,09	13,1
$(v-M_{mic})^2$	17,26	3,821	0,021	4,602	18,02	41,54	74,74	113,3	12,1
Станція	39. Ужгород АМСЦ								М
Швидкість вітру v , м/с	8,2	11,3	14,7	18,3	21,6	24,8	28,3		
$(v-M_{pich})^2$	70,38	27,98	3,57	2,926	25,11	67,41	137,1		16,5
$(v-M_{mic})^2$	27,81	4,723	1,505	23,3	66,04	128,3	219,8		13,4
Станція	40. Міжгір'я								М
Швидкість вітру v , м/с	8,3	12,5	16,7	20,8	25,4	29,4	37,8		
$(v-M_{pich})^2$	30,39	1,723	8,338	48,83	134,3	243	575,4		13,8
$(v-M_{mic})^2$	9,907	1,108	27,59	87,47	194,7	322,3	694,4		11,4
Станція	41. Берегове								М
Швидкість вітру v , м/с	7,1	9,4	11,7	13,9	16,1	18,3	20,6	28	
$(v-M_{pich})^2$	97,28	57,2	27,7	9,383	0,745	1,787	13,23	21,8	16,9
$(v-M_{mic})^2$	24,92	7,246	0,153	3,27	16,07	38,54	72,39	253,1	12,1
Станція	42. Хуст								М
Швидкість вітру v , м/с	5,6	8	10,6	13,1	15,7	18,4	23,9		
$(v-M_{pich})^2$	54,09	24,55	5,544	0,021	7,538	29,65	119,8		12,9

Продовження табл. 3.3

$(v-M_{mic})^2$	26,41	7,5	0,019	5,576	24,62	58,7	173,2		10,7
Станція	43. Рахів								М
Швидкість вітру v , м/с	8,5	11,1	13,5	16,2	18,9	21,6	24,3	26,8	
$(v-M_{pich})^2$	81,28	41,16	16,13	1,731	1,916	16,68	46,03	86,2	17,5
$(v-M_{mic})^2$	12,68	0,924	2,07	17,13	46,77	90,99	149,8	217,2	12,1
Чернівецька область									
Станція	44. Новодністровськ								М
Швидкість вітру v , м/с	7,4	9,9	12,8	15,4	18,1	20,9	23,6		
$(v-M_{pich})^2$	41,22	15,37	1,04	2,496	18,32	50,13	95,65		13,8
$(v-M_{mic})^2$	45,57	18,07	1,824	1,561	15,6	45,56	89,29		14,1
Станція	45. Чернівці АМСЦ								М
Швидкість вітру v , м/с	11,3	13,8	16,2	18,8	21,2	23,6	26,2	28,6	
$(v-M_{pich})^2$	111,4	64,84	31,95	9,319	0,426	3,053	18,9	45,53	21,8
$(v-M_{mic})^2$	17,86	2,98	0,454	10,72	32,19	65,18	113,9	170,9	15,5
Станція	46. Селятин								М
Швидкість вітру v , м/с	9,4	11,9	14,1	16,9	19,1	26,8			
$(v-M_{pich})^2$	39,23	14,16	2,443	1,53	11,81	124			15,6
$(v-M_{mic})^2$	11,77	0,866	1,611	16,56	39,31	195,1			12,8
Крим									
Станція	193. Білогірськ								М
Швидкість вітру v , м/с	11,3	13,8	16,3	18,6	21,3	23,8	28,8		
$(v-M_{pich})^2$	32,91	10,48	0,543	2,443	18,17	45,74	138,4		17,0
$(v-M_{mic})^2$	21,81	4,708	0,109	6,918	28,41	61,31	164,6		15,9

Продовження табл. 3.3

Станція	195. Феодосія								М
Швидкість вітру v , м/с	12,6	15,5	18,3	21,1	24,1	26,7	32,5		
$(v-M_{pich})^2$	37,92	10,61	0,21	5,485	28,54	63,08	188,8		18,7
$(v-M_{mic})^2$	15,06	0,962	3,309	21,34	58,05	104,4	256,6		16,4
Станція	196. Караби Яйла								М
Швидкість вітру v , м/с	10	14,6	19,2	23,7	28,6	33,1	37,6		
$(v-M_{pich})^2$	205,8	94,95	26,47	0,415	18,11	76,66	175,7		24,3
$(v-M_{mic})^2$	180,8	78,29	18,05	0,064	26,54	93,16	200,3		23,4
Станція	197. Поштова								М
Швидкість вітру v , м/с	11,9	15,7	19,5	23,3	26,8	38,2			
$(v-M_{pich})^2$	29,76	2,741	4,599	35,34	89,2	434,5			17,3
$(v-M_{mic})^2$	4,996	2,448	28,78	83,99	160,4	579,1			14,1
Станція	198. Ангарський Перевал								М
Швидкість вітру v , м/с	11,3	13,7	16,3	18,7	21,3	23,8	26,3	28,9	
$(v-M_{pich})^2$	102,3	59,53	26,17	7,376	0,013	5,684	23,86	56,01	21,4
$(v-M_{mic})^2$	37,75	14,02	1,309	1,577	14,87	40,4	78,43	131,2	17,4
Станція	203. Голубинка								М
Швидкість вітру v , м/с	8,9	10,4	12,6	14,9	17,1	19,4	21,4	23,9	
$(v-M_{pich})^2$	79,48	54,99	27,2	8,499	0,512	2,511	12,85	7,02 ³	17,8
$(v-M_{mic})^2$	23,29	11,06	1,268	1,378	11,38	32,19	58,89	103,5	13,7
Станція	204. Ай-Петрі								М
Швидкість вітру v , м/с	10	14,6	19,1	23,7	28,3	32,9	37,4		
$(v-M_{pich})^2$	398,9	236,4	118,2	39,36	2,801	8,563	55,15		29,9

Продовження табл. 3.3

$(v-M_{mic})^2$	147,6	57,01	9,307	2,4	37,81	115,5	232,5		22,2
Станція	205. Ялта								M
Швидкість вітру v , м/с	11,6	14,7	17,7	20,6	23,6	26,5	29,5	32,6	
$(v-M_{pic})^2$	71	28,37	5,412	0,329	12,77	41,91	89,75	158,1	20,0
$(v-M_{mic})^2$	18,42	1,42	3,27	22,17	59,42	112,5	185,2	279,2	15,8
Станція	206. Нікітський Сад								M
Швидкість вітру v , м/с	12,8	16,3	19,8	23,3	26,7	30,3	33,9	37,3	
$(v-M_{pic})^2$	87,96	34,56	5,659	1,257	20,44	65,95	137,4	228,6	22,2
$(v-M_{mic})^2$	22,45	1,532	5,117	33,2	83,94	162,9	267,7	390,5	17,5
Станція	207. Орлине								M
Швидкість вітру v , м/с	11,9	14,6	17,2	19,9	22,4	25,1	27,7		
$(v-M_{pic})^2$	103,3	55,67	23,63	4,672	0,115	9,232	31,79		22,1
$(v-M_{mic})^2$	27,67	6,555	0,002	7,506	27,45	63,04	111,1		17,2
Станція	638. Карадаг								M
Швидкість вітру v , м/с	16,1	18,6	20,9	23,3	25,7	32,8			
$(v-M_{pic})^2$	27,67	7,618	0,212	3,764	18,84	130,9			21,4
$(v-M_{mic})^2$	16,59	2,473	0,529	9,781	30,55	159,5			20,2

Статистичні характеристики обсяг вибірки N , середнє значення M та середнє квадратичне відхилення S обчислені в програмному середовищі Microsoft Excel для кожної із 37 метеостанцій за методикою описаною в розділі 2. Результати розрахунків зведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Числові характеристики максимумів швидкості вітру

Станція	Річні			Місячні		
	N	M	S	N	M	S
<i>Львівська область</i>						
10. Рава-Руська	19	20,35	4,90	195	15,95	3,43
11. Кам'янка-Буська	19	17,02	5,45	158	15,16	2,87
12. Броди	19	19,38	5,61	192	15,23	4,93
14. Мостиська	19	17,96	4,62	192	14,36	3,63
15. Львів АМСЦ	15	15,44	5,07	197	15,22	2,95
16. Самбір	13	15,78	5,63	141	13,30	4,67
17. Дрогобич АМСЦ	19	18,88	6,03	197	16,45	4,22
18. Стрий	19	23,3	6,2	192	18,4	5,3
19. Турка	19	17,64	7,66	186	11,38	3,93
20. Славськ	18	14,97	5,54	181	13,33	4,29
<i>Івано-Франківська область</i>						
30. Долина	18	16,82	5,51	190	15,21	3,35
31. Івано-Франківськ АМСЦ	16	17,34	8,04	186	14,55	5,22
33. Коломия	19	14,80	5,35	196	15,22	3,77
34. Пожежевська	19	37,93	1,6	184	25,53	8,72
<i>Закарпатська область</i>						
35. Великий Березний	18	16,87	4,11	189	12,65	2,75
36. Нижні Ворота	19	17,65	4,26	136	15,26	2,61
37. Плай	18	34,02	6,36	184	25,41	6,35
38. Нижній Студений	13	13,10	4,02	144	12,15	2,89
39. Ужгород АМСЦ	19	16,59	6,04	198	13,47	4,04
40. Міжгір'я	16	13,81	6,77	187	11,45	4,94
41. Берегове	19	16,96	3,44	206	12,09	3,08
42. Хуст	22	12,95	4,71	202	10,74	3,35
43. Рахів	19	17,52	4,23	199	12,06	3,57

Продовження табл. 3.4

<i>Чернівецька область</i>						
44. Новодністровськ	10	13,82	4,57	99	14,15	2,87
45. Чернівці АМСЦ	19	21,85	4,39	190	15,53	2,85
46. Селятин	19	15,66	3,66	206	12,83	2,97
<i>Крим</i>						
193. Білогірськ	19	17,04	4,20	169	15,97	3,04
195. Феодосія	19	18,76	4,7	188	16,48	3,7
196. Караби-Яйла	18	24,34	7,99	173	23,45	6,15
197. Поштова	9	17,36	8,34	173	14,14	3,14
198. Ангарський Перевал	19	21,42	4,72	197	17,44	3,99
203. Голубинка	13	17,82	3,33	138	13,73	3,60
204. Ай-Петрі	19	29,97	5,37	187	22,15	7,38
205. Ялта	19	20,03	4,6	169	15,89	3,8
206. Нікітський Сад	19	22,18	7,53	177	17,54	4,41
207. Орлине	13	22,06	3,83	131	17,16	4,19
638. Карадаг	5	21,36	6,11	51	20,17	3,22

Числові характеристики використовуються в подальшому для визначення розрахункових значень швидкості та тиску вітру.

Як видно з рис. 3.4 середнє значення, яке обчислене за місячними максимумами швидкості вітру M_m по всіх метеостанціям знаходиться в межах від 10.74 до 25.53, а середнє значення, яке отримане за річними максимумами швидкості вітру M_p – від 12.95 до 37.93, при чому між ними існує досить тісний зв'язок.

Рис. 3.5 показує, що стандарт (середнє квадратичне відхилення) обчислений за річними значеннями максимальної швидкості вітру S_p по усім метеостанціям змінюється від 1.6 до 8.34, а стандарт отриманий за місячними значеннями швидкості вітру S_m – від 2.61 до 8.72. З рис. 3.5 видно, що їх можна вважати незалежними.

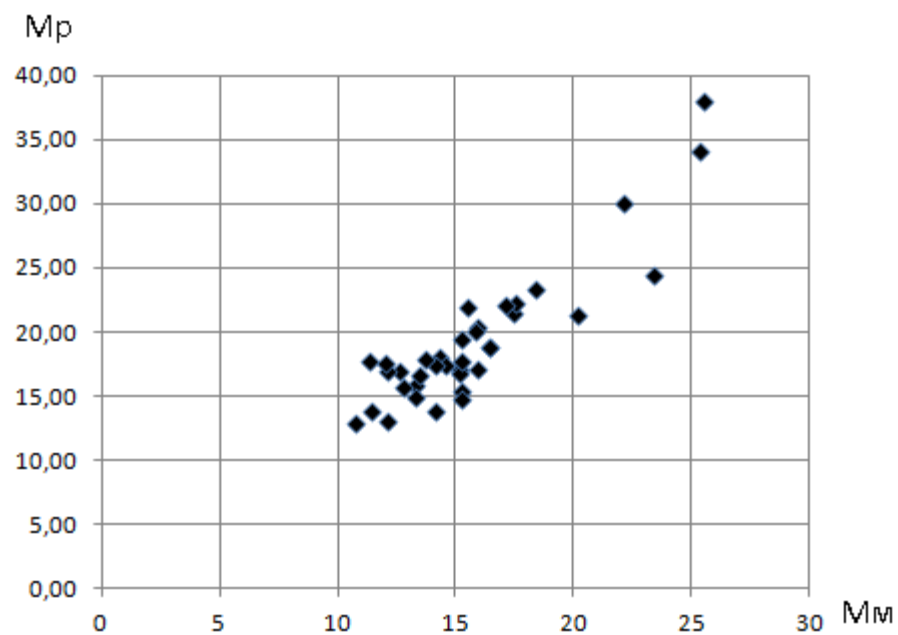


Рисунок 3.4 – Статистичні характеристики: середнє значення по річним M_r та місячним M_m максимумах швидкості вітру

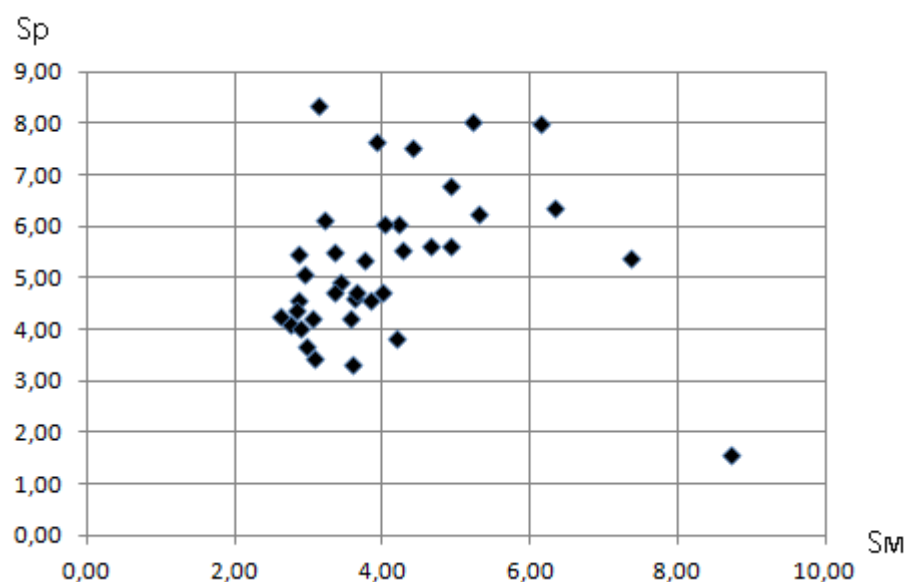


Рисунок 3.5 – Статистичні характеристики: стандарт по річним S_r та місячним S_m максимумах швидкості вітру

При порівнянні статистичних характеристик видно, що середні значення, обчислені за річними максимумами швидкості вітру більші, ніж обчислені за місячними, а стандарти приблизно однакові.

3.3 Розрахункові значення швидкості та тиску вітру

Дія вітру на споруди проявляється у вигляді навантаження, величина якого залежить від значення розрахункової швидкості вітру. Для встановлення розрахункової швидкості вітру використовуються результати строкових спостережень за вітром на метеостанціях Держкомгідромету України. Перелік метеостанцій з вказівкою їх умовних координат та висоти розташування над рівнем моря наведений в табл. 3.1. По кожній метеостанції використані опубліковані в довіднику [6] результати строкових вимірювань швидкості вітру за період приблизно 32 р. У відповідності з [1] середня швидкість вітру вимірювалась анеморумбометрами, які розташовані на висоті приблизно 10 м, при 10-хвилинному періоді осереднення.

За методикою описаною в розділі 2 для кожної метеостанції визначається розрахункова швидкість вітру v за вибіркою річних та місячних максимумів швидкості вітру для періоду повторюваності 10, 50 і 200 р, яка перераховується в розрахункове значення вітрового тиску W . Результати розрахунків зведені в табл. 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5 – Розрахункові річні значення швидкості і тиску вітру

Станція	Висота над рівнем моря, м	$v(T)$			$W(T)$		
		Період повторюваності					
		10	50	200	10	50	200
<i>Львівська область</i>							
10. Рава-Руська	252	27	33,1	38,4	443	669	900
11. Кам`янка-Буська	212	24,3	31,2	37,1	362	593	839
12. Броди	227	26,9	34	40	442	704	978
14. Мостиська	232	24,2	30	35	357	549	747
15. Львів АМСЦ	319	22,3	28,6	34,1	302	500	710
16. Самбір	296	23,4	30,4	36,5	333	565	813
17. Дрогобич АМСЦ	275	27	34,6	41,1	445	729	1030

Продовження табл. 3.5

18. Стрий	297	31,7	39,5	46,2	611	950	1302
19. Турка	594	27,9	37,6	45,8	476	860	1282
20. Славськ	592	22,4	29,4	35,4	307	527	764
<i>Івано-Франківська область</i>							
30. Долина	470	24,4	31,2	37,1	358	592	840
31. Івано-Франківськ	275	28,2	38,3	47	484	893	1346
33. Коломия	295	22	28,7	34,5	295	503	726
34. Пожежевська	1451	40,04	42	43,69	978	1076	1164
<i>Закарпатська область</i>							
35. Великий Березний	205	22,4	27,6	32	306	463	624
36. Нижні Ворота	486	23,4	28,7	33,3	334	504	678
37. Плай	1330	42,6	50,6	57,5	1106	1560	2014
38. Нижній Студений	615	18,5	23,6	27,9	209	338	475
39. Ужгород АМСЦ	115	24,7	32,3	38,8	373	636	920
40. Міжгір'я	456	22,9	31,4	38,8	321	603	916
41. Берегове	113	21,6	25,9	29,6	285	410	536
42. Хуст	164	19,3	25,2	30,3	227	388	560
43. Рахів	430	23,2	28,5	33,1	329	469	668
<i>Чернівецька область</i>							
44. Новодністровськ	242	20	25,7	30,6	243	403	572
45. Чернівці АМСЦ	242	27,8	33,3	38	470	675	881
46. Селятин	762	20,6	25,2	29,2	259	387	518
<i>Крим</i>							
193. Білогірськ	205	22,7	28	32,5	314	477	644
195. Феодосія	22	25,1	31,1	36,2	385	589	798
196. Караби-Яйла	988	35,1	45,1	53,8	751	1242	1763
197. Поштова	172	28,6	39,1	48,1	498	930	1409

Продовження табл. 3.5

198. Ангарський Перевал	765	27,8	33,7	38,8	471	693	919
203. Голубинка	218	22,3	26,5	30,1	303	427	552
204. Ай-Петрі	1180	37,2	44	49,8	844	1178	1510
205. Ялта	66	26,2	31,9	36,8	418	621	828
206. Нікітський Сад	207	32,3	41,8	49,9	637	1064	1519
207. Орлине	268	27,2	32	36,2	452	625	798
638. Карадаг	577	29,6	37,3	43,9	534	847	1173

Таблиця 3.6 – Розрахункові місячні значення швидкості і тиску вітру

Станція	Висота над рівнем моря, м	$v(T)$			$W(T)$		
		Період повторюваності					
		10	50	200	10	50	200
Лівівська область							
10. Рава-Руська	252	27,2	31,5	35,2	451	605	756
11. Кам`янка- Буська	212	24,6	28,2	31,3	369	484	597
12. Броди	227	31,4	37,6	42,9	602	862	1124
14. Мостиська	232	26,3	30,8	34,7	421	580	737
15. Львів АМСЦ	319	24,9	28,6	31,8	379	500	618
16. Самбір	296	28,6	34,5	39,5	500	725	953
17. Дрогобич АМСЦ	275	30,3	35,6	40,2	561	774	986
18. Стрий	297	35,9	42,5	48,3	784	1104	1422
19. Турка	594	24,3	29,2	33,5	360	521	683
20. Славськ	592	27,4	32,8	37,4	458	656	855
Івано-Франківська область							
30. Долина	470	26,2	30,4	34	419	564	706
31. Івано- Франківськ АМСЦ	275	31,7	38,2	43,9	612	892	1174
33. Коломия	295	27,6	32,3	36,4	465	638	809

Продовження табл. 3.6

34. Пожежевська	1451	54,2	65,1	74,5	1790	2586	3390
<i>Закарпатська область</i>							
35. Великий Березний	205	21,7	25,2	28,1	287	386	483
36. Нижні Ворота	486	23,8	27,1	30	347	449	547
37. Плай	1330	46,3	54,2	61,1	1306	1794	2278
38. Нижній Студений	615	21,7	25,3	28,4	286	390	493
39. Ужгород	115	26,7	31,8	36,2	436	618	799
40. Міжгір'я	456	27,7	33,9	39,2	467	700	938
41. Берегове	113	22,2	26,1	29,4	301	415	528
42. Хуст	164	21,7	25,9	29,6	228	410	533
43. Рахів	430	23,8	28,3	32,1	345	488	630
<i>Чернівецька область</i>							
44. Новодністровськ	242	23,6	27,2	30,3	339	451	560
45. Чернівці	242	24,9	28,4	31,5	377	494	606
46. Селятин	762	22,6	26,3	29,5	311	422	531
<i>Крим</i>							
193. Білогірськ	205	26	29,8	33,1	411	541	668
195. Феодосія	22	28,5	33,1	37	495	667	836
196. Караби-Яйла	988	43,7	51,4	58	1163	1611	2055
197. Поштова	172	24,4	28,4	31,8	364	491	615
198. Ангарський Перевал	765	30,6	35,6	39,9	570	772	970
203. Голубинка	218	25,5	30,1	34	398	551	703
204. Ай-Петрі	1180	46,4	55,6	63,6	1312	1888	2468
205. Ялта	66	28,5	33,4	37,5	496	679	858
206. Нікітський Сад	207	32	37,5	42,3	625	860	1092
207. Орлине	268	30,9	36,2	40,7	583	798	1010
638. Карадаг	577	30,7	34,8	38,3	577	738	893

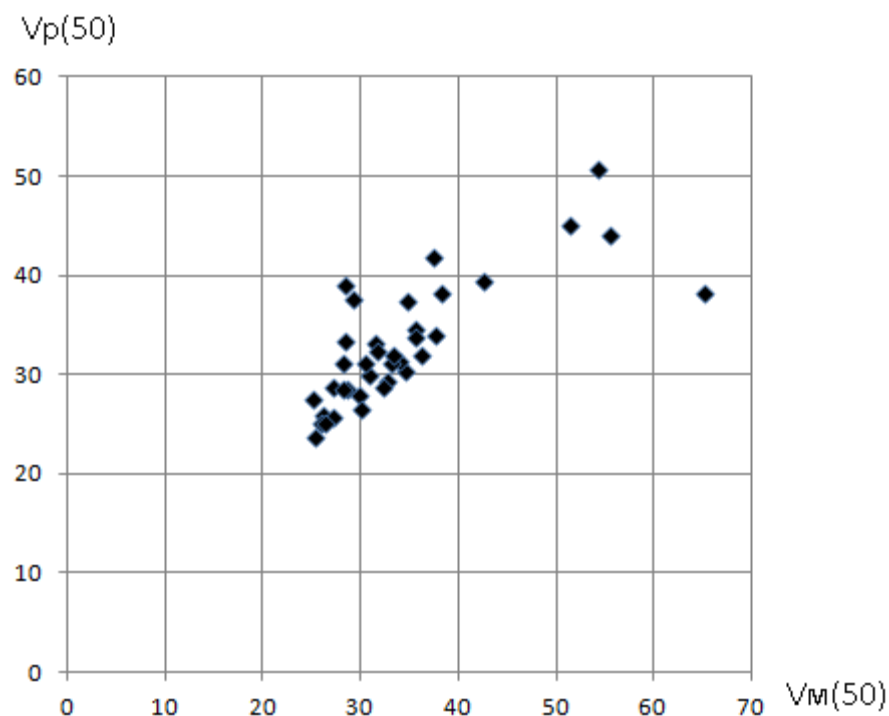


Рисунок 3.6 – Розрахункові швидкості вітру по річних V_p та місячних V_m вибірках швидкості вітру для періоду повторюваності 50 р

При порівнянні розрахункових швидкостей вітру, обчислених за річними та місячними значеннями максимальної швидкості вітру по всіх метеостанціям для базового періоду повторюваності 50 р (рис. 3.6), було встановлено, що для більшості метеостанцій розрахункові швидкості, які обчислені за вибіркою місячних максимумів швидкості вітру є більшими, ніж обчислені за вибіркою річних максимумів. На станції Пожежевська різниця в значеннях сягає 23,1 м. Це пояснюється географічними умовами вимірювань швидкості вітру, які характеризуються розподілом метеостанцій по висоті над рівнем моря і по висоті розташування анеморумбометра, яка коливається від 8 до 12 м по всіх метеостанціях, а також похибка при візуальному вимірюванні значень швидкості вітру по гістограмам у довіднику [6]. Тому для проведення аналізу впливу висоти над рівнем моря на вітрове навантаження використовуємо осереднене значення швидкості вітру, обчислене за методикою описаною в розділі 2. Отримані значення швидкості вітру перераховуємо у вітровий тиск. Результати обчислень зведені в таблицю 3.7

Таблиця 3.7 – Осереднені розрахункові значення швидкості та тиску вітру

Станція	Висота над рівнем моря, м	$v_{oc}(T)$			$W_{oc}(T)$		
		Період повторюваності					
		10	50	200	10	50	200
Лівівська область							
10. Рава-Руська	252	27,1	31,9	36,0	449,2	620,2	790,1
11. Кам`янка-Буська	212	24,5	29,0	32,8	366,8	512,5	659,3
12. Броди	227	30,3	36,7	42,2	563,7	824,3	1088,9
14. Мостиська	232	25,8	30,6	34,8	405,7	572,2	739,0
15. Львів АМСЦ	319	24,3	28,6	32,3	362,2	499,9	637,5
16. Самбір	296	27,4	33,5	38,8	460,7	687,6	920,2
17. Дрогобич	275	29,5	35,4	40,4	533,4	763,5	996,1
18. Стрий	297	34,9	41,8	47,8	742,9	1066,9	1393,4
19. Турка	594	25,2	31,2	36,5	388,0	603,0	828,1
20. Славськ	592	26,2	32,0	36,9	422,1	625,1	832,8
Івано-Франківська область							
30. Долина	470	25,7	30,6	34,8	404,7	570,7	737,9
31. Івано-Франківськ АМСЦ	275	30,9	38,2	44,6	583,3	892,1	1213,1
33. Коломия	295	26,3	31,5	36,0	424,6	606,0	789,3
34. Пожежевська	1451	50,7	59,5	67,0	1592,4	2219,1	2848,4
Закарпатська область							
35. Великий Березний	205	21,9	25,7	29,0	291,6	404,1	516,1
36. Нижні Ворота	486	23,7	27,6	30,9	343,3	463,8	583,0
37. Плай	1330	45,4	53,4	60,2	1258,2	1738,7	2214,8
38. Нижній Студений	615	20,9	24,9	28,3	268,3	378,2	488,5
39. Ужгород	115	26,3	31,9	36,8	421,3	622,0	827,4
40. Міжгір`я	456	26,6	33,3	39,1	434,0	677,9	933,2
41. Берегове	113	22,1	26,0	29,5	297,2	413,8	529,7

Продовження табл. 3.6

42. Хуст	164	21,1	25,8	29,7	273,0	404,8	539,7
43. Рахів	430	23,7	28,3	32,4	341,4	489,8	639,1
<i>Чернівецька область</i>							
44. Новодністровськ	242	22,7	26,8	30,4	316,0	439,2	562,7
45. Чернівці АМСЦ	242	25,6	29,6	33,1	399,7	537,2	672,3
46. Селятин	762	22,1	26,0	29,4	298,6	413,6	527,9
<i>Крим</i>							
193. Білогірськ	205	25,1	29,3	32,9	386,9	525,1	661,7
195. Феодосія	27,7	32,6	36,8	468,4	648,2	827,0	27,7
196. Караби-Яйла	988	41,6	49,9	57,0	1062,5	1520,9	1983,9
197. Поштова	172	25,2	30,4	34,8	389,1	572,5	762,8
198. Анггарський Перевал	765	29,9	35,1	39,6	546,1	753,1	958,3
203. Голубинка	218	24,8	29,2	33,0	375,8	522,2	667,6
204. Ай-Петрі	1180	44,2	52,8	60,3	1198,9	1716,6	2236,8
205. Ялта	27,9	33,0	37,3	476,6	664,1	850,7	27,9
206. Нікітський Сад	207	32,1	38,6	44,2	628,0	910,1	1197,2
207. Орлине	268	30,0	35,2	39,6	551,3	756,4	958,9
638. Карадаг	577	30,5	35,4	39,6	566,4	764,0	960,1

Отримані таким чином розрахункові значення швидкості та тиску вітру на усіх проаналізованих метеостанціях дозволяють збудувати графіки їх залежностей від висоти над рівнем моря, проаналізувати вплив висоти на величину вітрового навантаження та уточнити поправку на географічну висоту над рівнем моря C_{alt} , наведену в ДБН [9].

3.4 Залежності вітрового тиску від висоти над рівнем моря

Для встановлення залежності вітрового тиску від висоти над рівнем моря були використані дані 37 метеостанцій України, з яких 26 станцій розташовані в районі Карпатських гір, решта – в районі Кримських гір.

На рисунку 3.7 збудований графік залежності вітрового тиску від висоти над рівнем моря за даними таблиці 3.6 для усіх метеостанцій. У відповідності з проаналізованими у розділі 2 графіками залежностей розрахункових осереднених значень вітрового тиску $W_{oc}(T)$ від періоду повторюваності T , для встановлення залежностей вітрового навантаження від висоти над рівнем моря були використані осереднені значення вітрового тиску з періодом повторюваності 50 років.

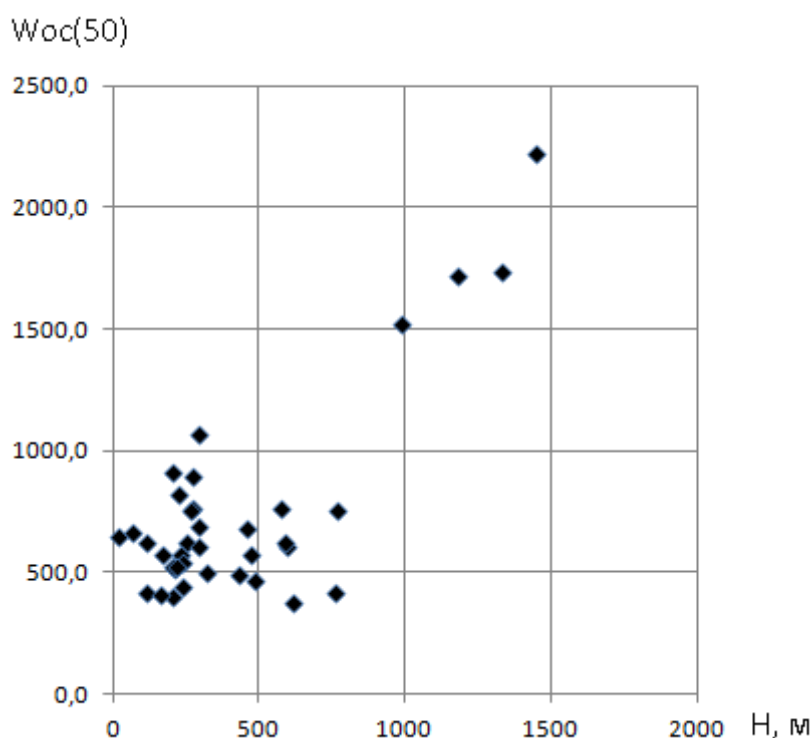


Рис. 3.7 – Залежність вітрового тиску від висоти над рівнем моря для усіх метеостанцій

Як видно з рисунку 3.7 більшість метеостанцій, які розташовані на висоті до 1000 м над рівнем моря, мають розрахункове навантаження до 1000 Па. Лише чотири станції, що знаходяться на висоті від 1000 до 1500 відрізняються більшими показниками вітрового тиску.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

Для зручності побудови графіків залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря по вітровим зонам ДБН [9] створено таблицю 3.7, у якій розділено метеостанції у відповідності з рисунками 3.2, 3.3, 3.8 та 3.9 по вітровим зонам.

Таблиця 3.8 – Розподіл метеостанцій по вітровим зонам ДБН

Номер метеостанції	Назва метеостанції	Висота над рівнем моря, м	Осереднене значення вітрового тиску, Па
Зона 1			
35	Великий Березний	205	404,1
36	Нижні Ворота	486	463,8
37	Плай	1330	1738,7
38	Нижній Студений	615	378,2
39	Ужгород	115,0	622,0
40	Міжгір'я	456	677,9
41	Берегове	113	413,8
42	Хуст	164	404,8
43	Рахів	430	489,8
Зона 2			
19	Турка	594	603,0
20	Славськ	592	625,1
30	Долина	470	570,7
34	Пожежевська	1451	2219,1
46	Селятин	762	413,6
Зона 3			
14	Мостиська	232	572,2
16	Самбір	296	687,6
17	Дрогобич	275	763,5
18	Стрий	297	1066,9
31	Івано-Франківськ	275	892,1
33	Коломия	295	606,0
45	Чернівці	242	537,2
193	Білогорськ	205	525,1

Продовження табл. 3.8

195	Феодосія	22	648,2
196	Караби-Яйла	988	1520,9
197	Поштова	172	572,5
198	Ангарський Перевал	765	753,1
203	Голубинка	218	522,2
204	Ай-Петрі	1180	1716,6
205	Ялта	66	664,1
206	Нікітський Сад	207	910,1
207	Орлине	268	756,4
638	Карадаг	577	764,0
Зона 4			
10	Рава-Руська	252	620,2
11	Кам'янка-Буська	212	512,5
12	Броди	227	824,3
15	Львів	319	499,9

За даними таблиці 3.7 будуюмо графіки залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря по вітровим зонам, розроблених у ДБН [9].

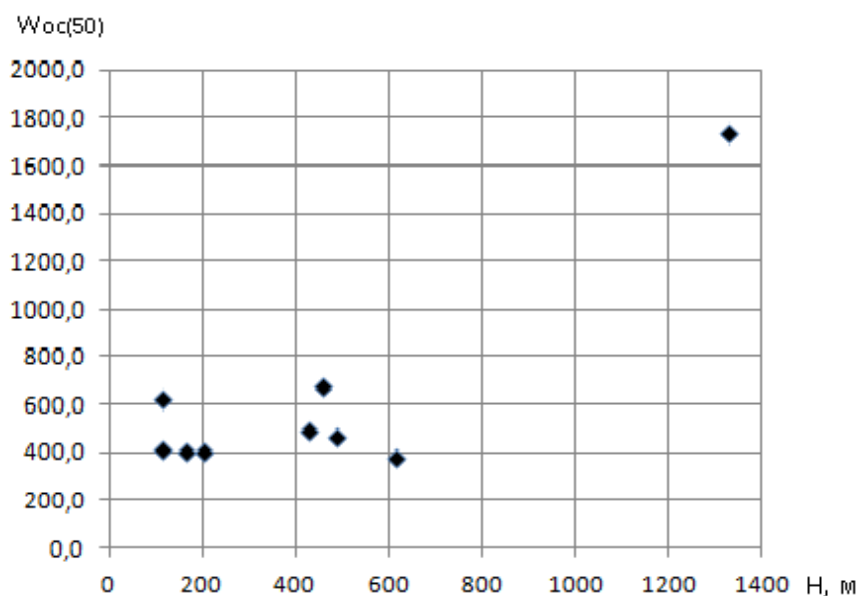


Рис. 3.10 – Залежність вітрового навантаження від висоти над рівнем моря на метеостанціях, які розташовані в першій зоні

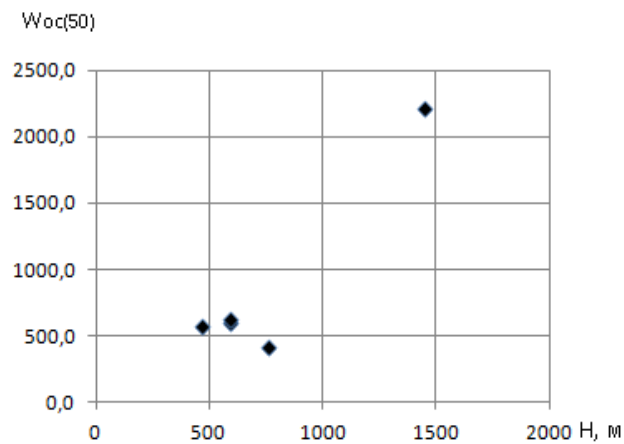


Рис. 3.11 – Залежність вітрового навантаження від висоти над рівнем моря на метеостанціях, які розташовані в другій зоні

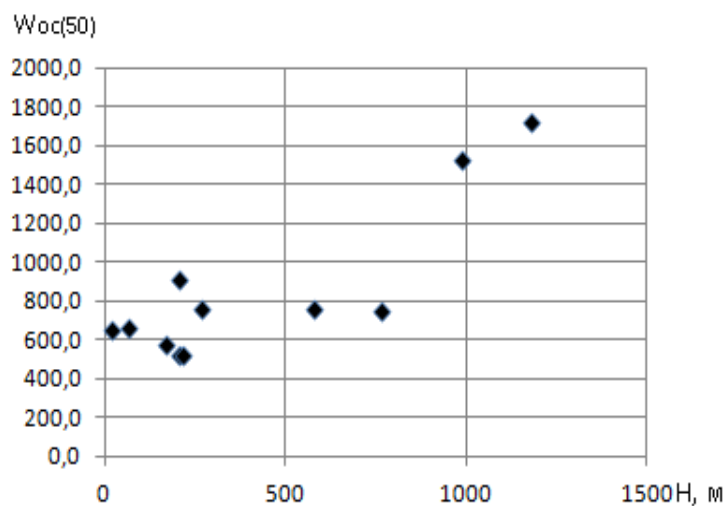
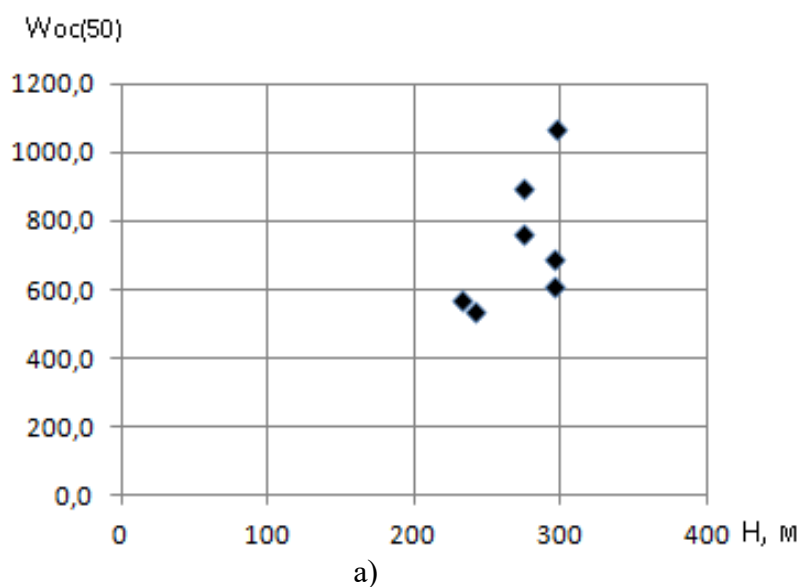


Рис. 3.12 – Залежність вітрового навантаження від висоти над рівнем моря на метеостанціях, які розташовані в третій зоні а) Карпат, б) Криму

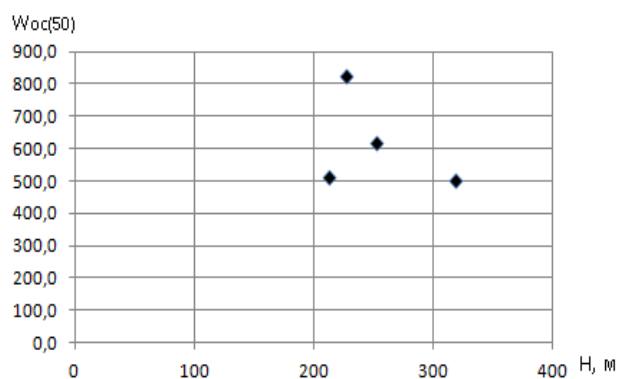


Рис. 3.13 – Залежність вітрового навантаження від висоти над рівнем моря на метеостанціях, які розташовані в четвертій зоні

Побудовані залежності на рисунках 3.10, 3.11, 3.12 та 3.13 також мають розмитий характер і малу кількість точок, тому для встановлення залежності вітрового навантаження від висоти над рівнем моря скористаємось методикою описаною в розділі 2. Для цього за даними таблиці 3.1, були відібрані гірські метеостанції з висотою розташування над рівнем моря понад 500 м та рівнинні метеостанції, які їх оточують. До гірських метеостанцій в районі Карпат відносяться такі метеостанції як № 19 «Турка»; № 20 «Славськ»; № 34 «Пожежевська»; № 37 «Плай»; № 38 «Нижній Студений» та № 46 «Селятин»; в районі Кримських гір - № 196 «Караби-Яйла»; № 198 «Ангарський перевал»; № 204 «Ай-Петрі» і № 638 «Карадаг».

Як видно з рисунку 3.14 для станції № 19 «Турка» рівнинними будують станції №16 «Самбір», № 17 «Дрогобич АМСЦ», № 18 «Стрий», № 35 «Великий Березний», та № 36 «Нижні Ворота». Станцію № 20 «Славськ» оточують такі рівнинні метеостанції як № 17 «Дрогобич АМСЦ», № 18 «Стрий», № 30 «Долина», № 36 «Нижні Ворота» та №40 «Міжгір'я». Навколо станції № 34 «Пожежевська» розташовуються станції № 33 «Коломия», № 42 «Хуст», № 43 «Рахів» і № 45 «Чернівці АМСЦ». Такі рівнинні метеостанції як № 36 «Нижні Ворота» та №40 «Міжгір'я» знаходяться найближче до станції № 37 «Плай». Станція № 38 «Нижній Студений» розташовується поруч з метеостанціями № 30 «Долина», № 36 «Нижні Ворота» та №40 «Міжгір'я». Для станції № 46 «Селятин» рівнинними є станції № 33 «Коломия», № 43 «Рахів» і № 45 «Чернівці АМСЦ».

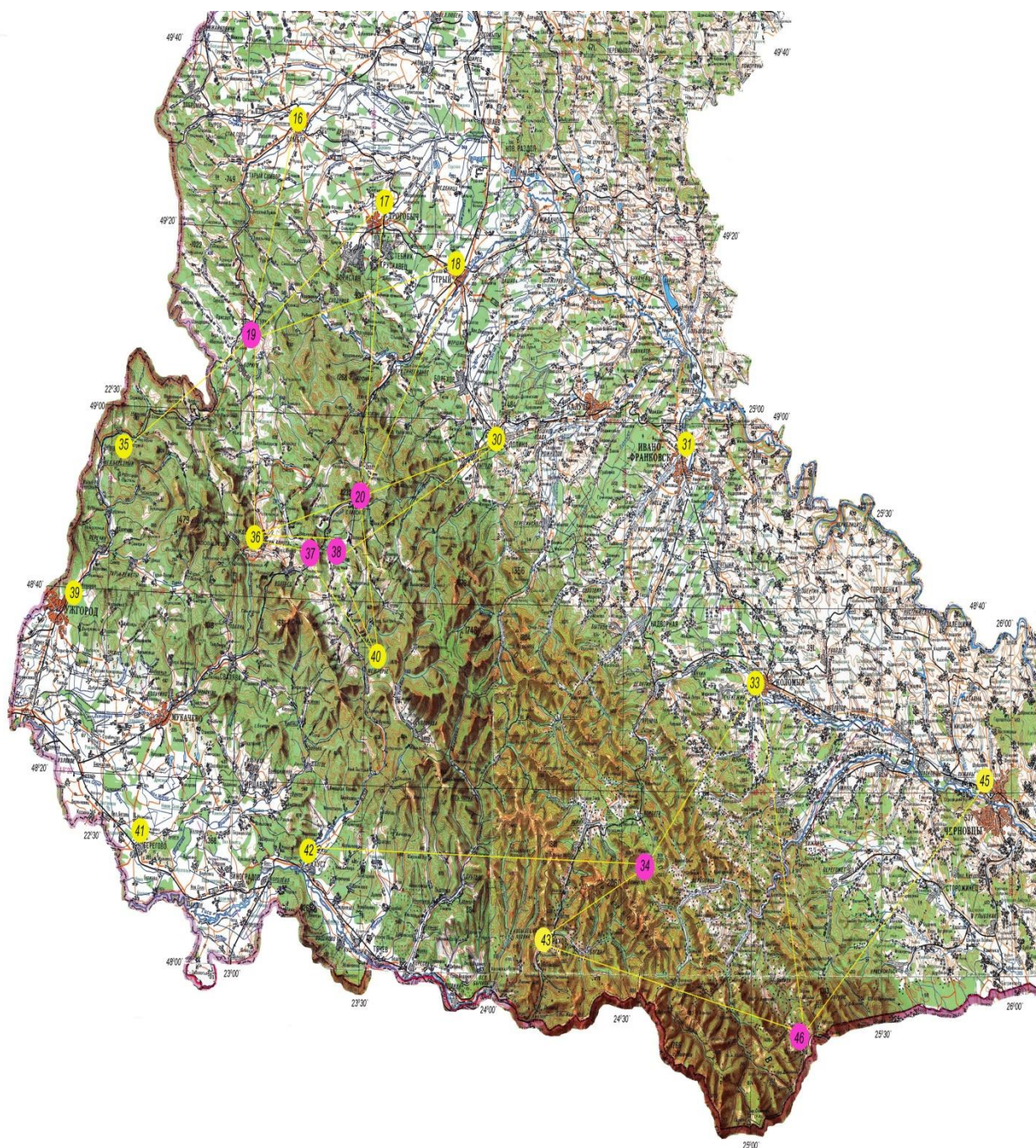


Рис. 3.14 - Карта гірських метеостанцій і рівнинних, що їх оточують

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КМР 21192232 ПЗ

Лист

74

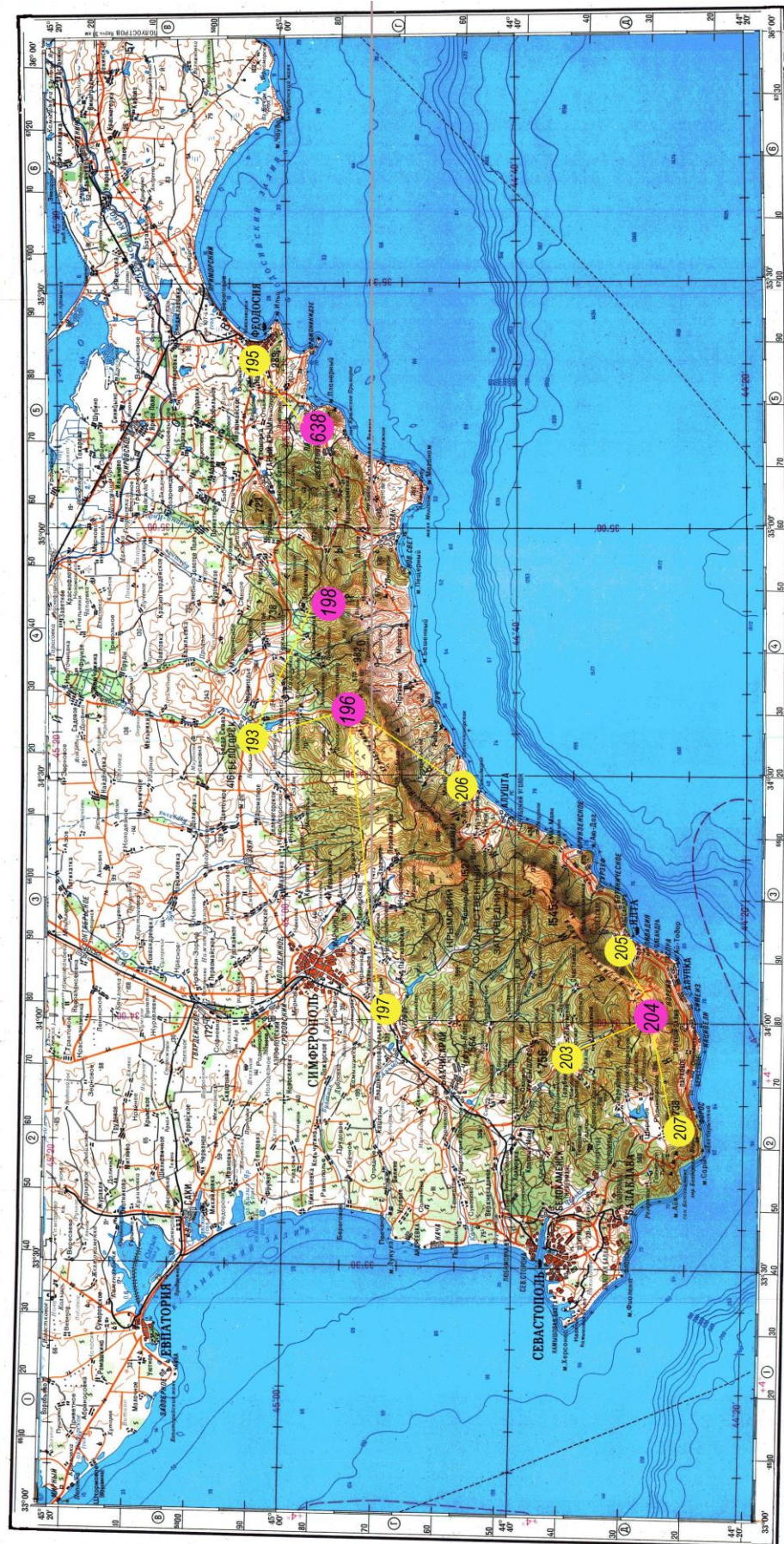


Рис. 3.15 - Карта гірських метеостанцій і рівнинних, що їх оточують

В районі Кримських гір знаходяться чотири гірські метеостанції. Рисунок 3.15 показує, що для метеостанції № 196 «Караби-Яйла» найближчими рівнинними є метеостанції № 193 «Білогорськ», № 197 «Поштова» та № 206 «Нікітський Сад». Біля метеостанції № 198 «Ангарський Перевал» знаходиться лише одна рівнинна метеостанція № 193 «Білогорськ». Найвищу станцію Криму № 204 «Ай-Петрі» оточують три рівнинні: № 203 «Голубинка», № 205 «Ялта» та № 207 «Орлине». Поблизу станції № 638 «Карадаг» розташовується одна рівнинна метеостанція № 195 «Феодосія».

Описані вище метеостанції заносяться до таблиці 3.8 з позначкою висоти над рівнем (таблиця 3.1), з осередненим розрахунковим значенням вітрового тиску для періоду повторюваності 50 р (таблиця 3.6) та проводяться розрахунки у програмному середовищі Microsoft Excel по визначенню коефіцієнта географічної висоти C_{alt} у відповідності з розділом 2.

Коефіцієнт C_{alt} дорівнює відношенню вітрового тиску, що спостерігається на гірській метеостанції та вітрового тиску рівнинної метеостанції.

Таблиця 3.8 – Поправка C_{alt} вітрового навантаження на висоту над рівнем моря

Гірська станція	Висота над рівнем моря, м	$W_{oc(50)}$, Па	Рівнинна метеостанція	Висота над рівнем моря, м	$W_{oc(50)}$, Па	$W_{сер(50)}$, Па	C_{alt}
Карпати							
19. Турка	594	602,98	16. Самбір	296	687,63	677,21	0,89
			17. Дрогобич АМСЦ	275	763,54		
			18. Стрий	297	1066,89		
			35. Великий Березний	205	404,14		
			36. Нижні Ворота	486	463,84		

Продовження табл. 3.8

20. Славськ	592	625,10	17. Дрогобич АМСЦ	275	763,54	708,58	0,88
			18. Стрий	297	1066,89		
			30. Долина	470	570,68		
			36. Нижні Ворота	486	463,84		
			40. Міжгір'я	456	677,94		
34. Поже- жевська	1451	2219,06	33. Коломия	295	605,97	509,43	4,36
			42. Хуст	164	404,76		
			43. Рахів	430	489,79		
			45. Чернівці	242	537,20		
37. Плай	1330	1738,68	36. Нижні Ворота	486	463,84	570,89	3,05
			40. Міжгір'я	456	677,94		
38. Нижній Студений	615	378,21	30. Долина	470	570,68	570,82	0,66
			36. Нижні Ворота	486	463,84		
			40. Міжгір'я	456	677,94		
46. Селятин	762	413,65	33. Коломия	295	605,97	544,32	0,76
			43. Рахів	430	489,79		
			45. Чернівці	242	537,20		
Крим							
196. Караби- Яйла	988	1520,90	193. Білогорськ	205	525,13	548,83	2,77
			197. Поштова	172	572,53		
			206. Нікітський Сад	207	910,115		
198. Ангарський Перевал	765	753,10	193. Білогорськ	205	525,13	525,13	1,43
204. Ай- Петрі	1180	1716,57	203. Голубинка	218	522,21	647,55	2,65
			205. Ялта	66	664,10		
			207. Орлине	268	756,35		
638. Карадаг	577	764,01	195. Феодосія	22	648,163	648,16	1,18

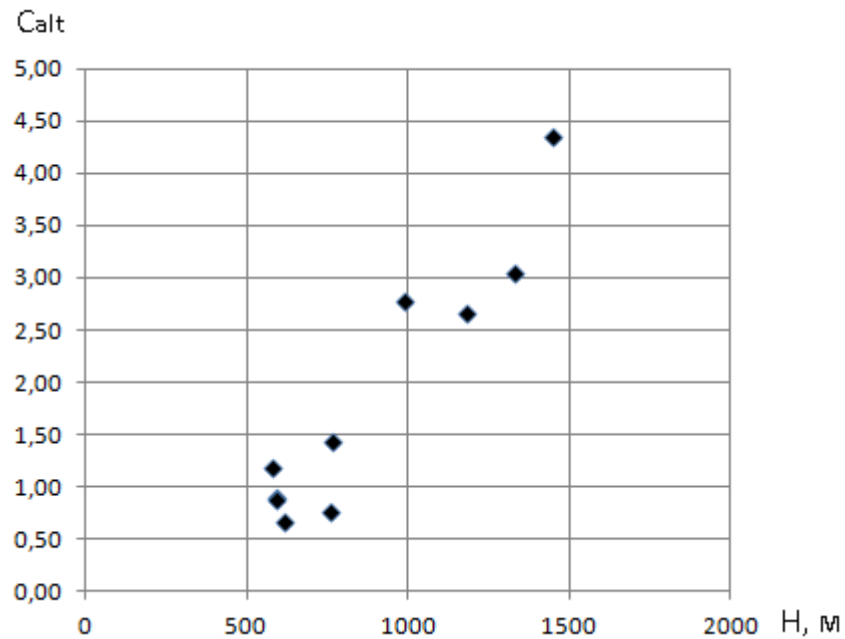


Рис. 3.16 – Залежність коефіцієнту C_{alt} від висоти над рівнем моря

Отримана на рис. 3.16 залежність є досить тісною і дозволяє описати її прямою лінією, яка проходить по верхній межі дослідних точок (рис. 3.17). Тоді значення коефіцієнту C_{alt} на висоті H над рівнем моря визначається за формулою (3.1), а графік матиме вигляд, зображений на рисунку 3.17.

$$C_{alt} = 3 \cdot H - 0,5, \quad H > 500 \text{ м} \quad (3.1)$$

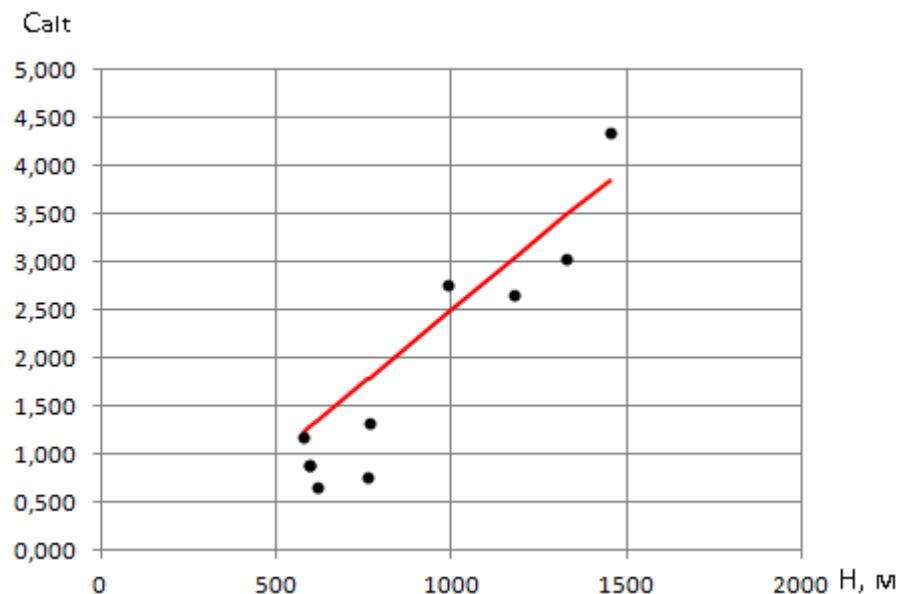


Рис. 3.17 – Залежність коефіцієнту C_{alt} від висоти над рівнем моря описана прямою за формулою (3.1)

Для більшого запасу надійності значення коефіцієнту C_{alt} на висоті H над рівнем моря можна обчислити за формулою (3.2), тоді графік залежності матиме вигляд, зображений на рисунку 3.18.

$$C_{alt} = 3,5 \cdot H - 0,75, \quad H > 500 \text{ м} \quad (3.2)$$

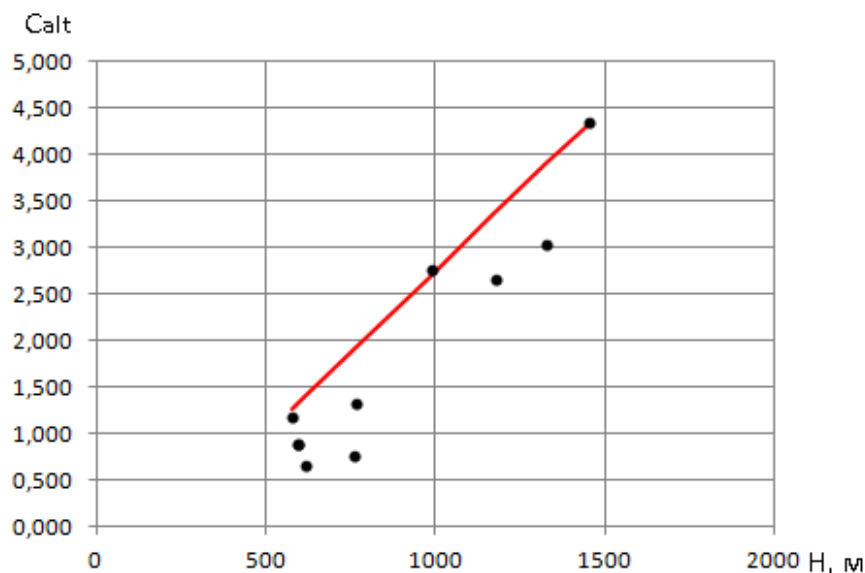


Рис. 3.18 – Залежність коефіцієнту C_{alt} від висоти над рівнем моря описана прямою за формулою (3.2)

Із рисунків 3.17 та 3.18 видно, що залежності (3.1) та (3.2) дають близькі значення поправок. Враховуючи невелику кількість даних по гірським метеостанціям, використаним для отримання поправок (3.1) та (3.2), можна зупинитися на будь-якій з них.

Цікаво порівняти отримані поправки з тою, що рекомендується державними будівельними нормами України [9] та обчислюється за формулою, яка наведена в таблиці 1.1.

Рисунок 3.19 показує, що поправка, яка рекомендована будівельними нормами занижена і дає малий запас надійності при проєктуванні будівель і споруд. Тому доцільно рекомендувати формули (3.1) та (3.2) для коригування розрахункових значень тиску вітру. Ці формули дають орієнтовну оцінку тиску вітру в запас надійності, а тому за наявності надійних метеорологічних даних для конкретного будівельного майданчика слід встановлювати розрахункові значення вітрового навантаження безпосередньо за цими даними.

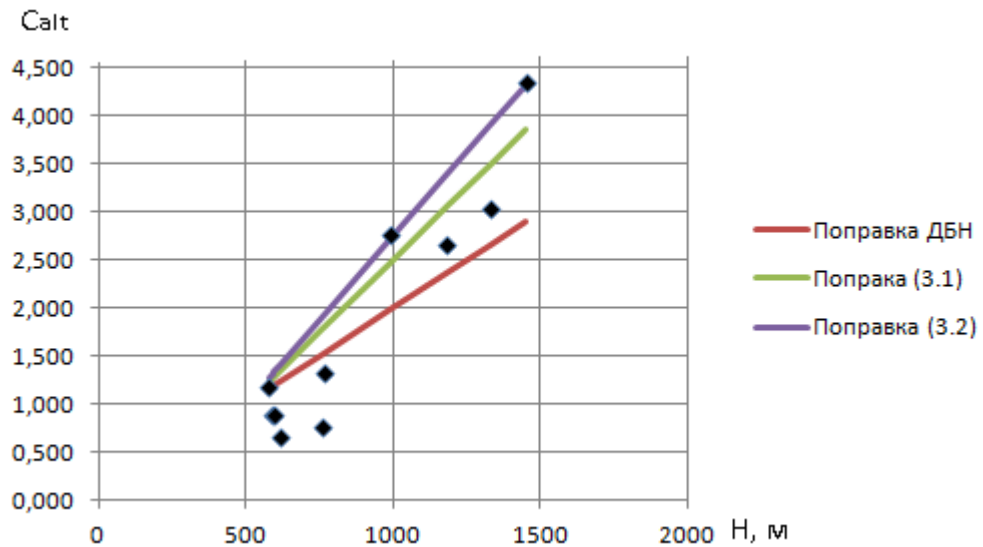


Рис. 3.19 – Порівняння отриманих залежностей коефіцієнту C_{alt} від висоти над рівнем моря та тою, що рекомендована ДБН

Порівняємо отримані результати з встановленими діючими нормами України [9], а також загальноєвропейськими нормами [10] для Альпійського регіону та Польщі, які розташовані приблизно на тій же географічній широті, що і територія України.

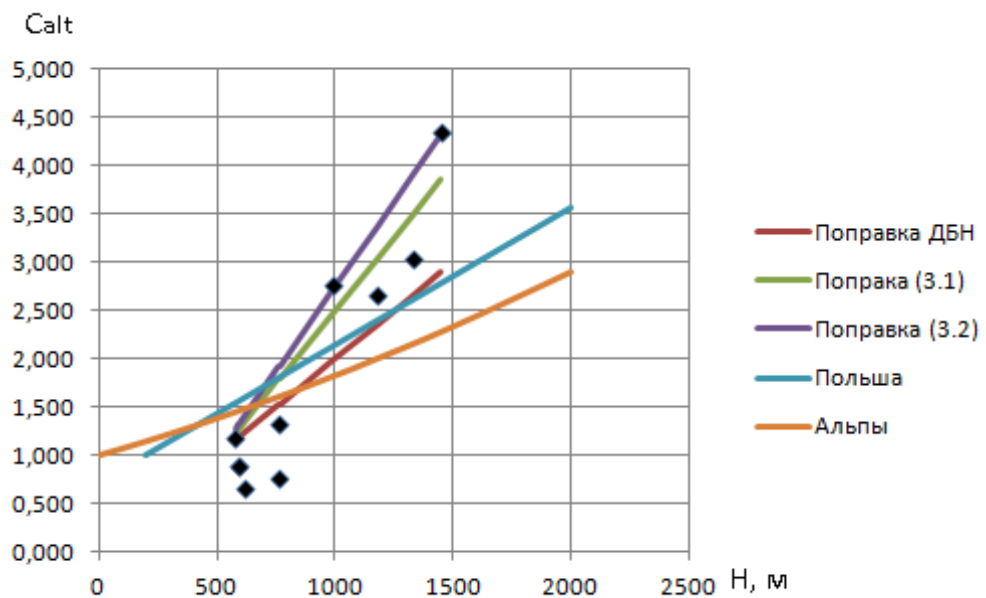


Рис. 3.20 – Порівняння отриманих залежностей коефіцієнту C_{alt} від висоти над рівнем моря та рекомендованими ДБН та Єврокодом

З рис. 3.20 видно, що європейські норми проектування [10] рекомендують значно більші значення коефіцієнту географічної висоти C_{alt} ,

ніж українські. Тому доцільно рекомендувати залежність (3.2) для коригування розрахункових значень тиску вітру в запас надійності.

3.5 Висновки з розділу

1) Створена база метеорологічних даних по вітровому навантаженню, яка включає результати строкових вимірювань за вітром на 37 метеостанціях України, які знаходяться в районі Кримських та Карпатських гір. Більшість метеостанцій розташовані на висоті понад 300 м над рівнем моря.

2) З наявних результатів строкових вимірювань швидкості вітру сформовані вибірки місячних та річних максимумів. Виконано статистичну обробку даних, результати якої наведені в таблиці 3.4 і дозволяють представити швидкість вітру у формі послідовності місячних та річних максимумів з розподілом Гумбеля.

3) За вибіркою річних та місячних максимумів швидкості вітру для періоду повторюваності 10, 50 і 200 р, визначена розрахункова швидкість вітру v , яка перерахована в розрахункове значення вітрового тиску W .

4) Розрахункові швидкості, обчислені за вибіркою місячних максимумів швидкості вітру є меншими, ніж обчислені за вибіркою річних максимумів. Так як отримані результати дещо відрізняються один від одного, значення швидкості і тиску вітру були осереднені за формулами (2.6) та (2.7).

5) Збудовані графіки залежностей вітрового тиску від висоти над рівнем моря, які дозволили по даним гірських метеостанцій встановити залежності (3.1) та (3.2) коефіцієнта C_{alt} від географічної висоти, які дозволяють орієнтовно, в запас надійності визначати значення вітрового навантаження в гірській місцевості.

6) Використання отриманих залежностей при проектуванні будівель і споруд призведе до збільшення розрахункових значень вітрового навантаження в порівнянні з діючими нормами України та до підвищення відповідного рівня надійності конструкцій.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		81

Розділ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ КОЛОН ОДНОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ

Колону для одноповерхової будівлі проєктуємо в двох варіантах. У першому варіанті вітрове навантаження визначається з урахуванням рекомендованого коефіцієнта географічної висоти будівельними нормами [9], у другому – з урахуванням встановленого у розділі 3.

4.1 Вихідні дані

Одноповерхова громадська будівля каркасного типу має розміри в плані 12х30 м з кроком колон 6,0 м. Висота будівлі - 5 м.

Район будівництва – смт Ворохта. Характеристичне значення вітрового тиску – 450 Па (2 вітровий район). Характеристичне значення снігового покрову – 1800 Па (6 сніговий район).

Конструкція покрівлі – гравійна посипка, гідроізоляція з 3 шарів гідроізоли, сендвіч-панель із сердечником з ламельних мінераловатних плит і сталевими обшивками товщиною 100 мм.

Матеріал колони – сталь С245.

4.2 Збір навантажень на поперечну раму

На поперечну раму одноповерхової будівлі можуть діяти навантаження від несучих і огорожувальних конструкцій покрівлі і стін, снігове та вітрове навантаження, технологічні навантаження від вантажопідйомних механізмів, трубопроводів та іншого обладнання, прикріпленого до конструкцій каркасу. При експериментальному проєктуванні враховуються навантаження від маси покрівлі, снігу та вітру.

Постійне навантаження. За конструкцією покрівлі та вказівками [9] визначаємо характеристичне, експлуатаційне та граничне розрахункове значення постійного навантаження. Результати розрахунку зводимо в

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		82

таблицю 4.1. Для цього за вказаним типом покрівлі формується перелік конструкцій покрівлі з їх характеристиками. Навантаження від маси ферми з в'язями при прольоті 12 м можна орієнтовно прийняти рівним 215 Па. Експлуатаційне розрахункове значення постійного навантаження від маси покрівлі Q_e дорівнює сумі характеристичних значень Q_0 з таблиці 4.1. Граничне розрахункове значення навантаження від кожного шару покрівлі дорівнює добуткові характеристичного значення на коефіцієнт надійності за навантаженням γ_{fm} [9]. Сума граничних значень для усіх шарів є граничним розрахунковим значенням постійного навантаження від покрівлі Q_m .

Таблиця 4.1 – Постійне навантаження від маси покрівлі

Склад покрівлі	Q_0 (Па)	γ_{fm}	Q_m (Па)
Гравійна посипка	50	1,3	60
Гідроізоляція з 3 шарів гідроізолу	150	1,3	195
Сендвіч-панель із сердечником з ламельних мінераловатних плит і сталевими обшивками	200	1,2	240
Прогони	70	1,05	73,5
Ферма	215	1,05	225,75
Усього	685	-	800

Граничне розрахункове значення рівномірно розподіленого постійного навантаження на ригель поперечної рами визначається як добуток Q_m (Па) на крок поперечних рам B (м) і виражається в кН/м [19]:

$$q_{пост} = B \times Q_m / 1000 \quad (4.1)$$

Снігове навантаження на покрівлю визначається за вказівками [9]. Термін експлуатації будівлі T_{ef} складає 100 р.

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття обчислюємо за формулою [9]:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C \gamma_n, \quad (4.2)$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаженням;

S_0 – характеристичне значення снігового навантаження (Па);

γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю будівлі.

Коефіцієнт C визначається за формулою [9]:

$$C = \mu C_e C_{alt}, \quad (4.3)$$

де μ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю;

C_e – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі;

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти.

Граничне розрахункове значення снігового навантаження, рівномірно розподіленого уздовж ригеля рами, визначається як добуток Q_m (Па) на крок поперечних рам B (м) і виражається в кН/м [19]:

$$q_c = B \times S_m / 1000 \quad (4.4)$$

Вітрове навантаження на поперечну раму визначається за вказівкам [9].

Граничне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою [9]:

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C_{\gamma_n}, \quad (4.5)$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження;

W_0 – характеристичне значення вітрового тиску.

Коефіцієнт C визначається за формулою:

$$C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d, \quad (4.6)$$

де C_{aer} — аеродинамічний коефіцієнт, який визначається в залежності від форми споруди;

C_h — коефіцієнт висоти споруди враховує збільшення вітрового навантаження залежно від висоти споруди або її частини, що розглядається, над поверхнею землі та тип навколишньої місцевості;

C_{alt} — коефіцієнт географічної висоти, який враховує висоту H (в кілометрах) розміщення будівельного об'єкта над рівнем моря:

$$C_{alt} = 2H, \text{ при } H > 500\text{м} \quad (4.7)$$

C_{rel} — коефіцієнт рельєфу, який враховує мікрорельєф місцевості поблизу площадки розташування будівельного об'єкта;

C_{dir} — коефіцієнт напрямку, який враховує нерівномірність вітрового навантаження за напрямками вітру;

C_d — коефіцієнт динамічності, який враховує вплив пульсаційної складової вітрового навантаження і просторову кореляцію вітрового тиску на споруду.

Активна складова вітрового тиску, що діє з навітряного боку будівлі:

$$q_A = \gamma_{fm} W_0 B C_A C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d, \quad (4.8)$$

Пасивна складова вітрового тиску, що діє з підвітряного боку будівлі:

$$q_{\Pi} = \gamma_{fm} W_0 B C_{\Pi} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d, \quad (4.9)$$

Сумарне вітрове навантаження на конструкції:

$$W = \gamma_{fm} W_0 B (C_{\Pi} + C_A) C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d \frac{(C_{hP} + C_{hB})}{2}, \quad (4.10)$$

де C_{hP} і C_{hB} — коефіцієнти висоти споруди на рівні низу ригеля та найвищої точки будівлі;

B — крок поперечних рам.

4.3 Статичний розрахунок поперечної рами

Завданням статичного розрахунку є визначення внутрішніх зусиль в конструкції від кожного з навантажень, що діють на будівлю. Розрахункова схема поперечної рами одноповерхової однопролітної будівлі, зображена на рисунку 4.1.

Зусилля від постійного навантаження визначаються за формулою [19]:

$$N = q_{пост} \frac{l}{2} \quad (4.11)$$

Від снігового навантаження зусилля визначається як від постійного із заміною $q_{пост}$ на q_c .

Зусилля від вітрового навантаження визначаються за формулами [19]:

$$M_{ліс} = \frac{h^2}{16} (5q_A + 3q_{\Pi}) + \frac{wh}{2}; \quad M_{прає} = \frac{h^2}{16} (3q_A + 5q_{\Pi}) + \frac{wh}{2} \quad (4.12)$$

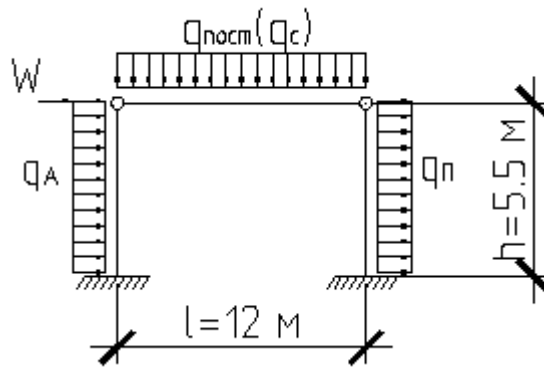


Рис. 4.1 – Розрахункова схема поперечної рами

Згідно з правилами урахування спільної дії навантажень [9], навантажувальний ефект в основному сполученні постійного та змінних навантажень визначається за формулою:

$$N = N_{\text{пост}} + \psi \times \sum N_{\text{зм}}, \quad (4.13)$$

де $N_{\text{пост}}$ – ефект (внутрішнє зусилля M , N) від дії постійного навантаження;

$N_{\text{зм}}$ – ефекти від дії змінних навантажень (сніг, вітер зліва, вітер справа);

ψ – коефіцієнт сполучення навантажень.

4.4 Підбір перерізу колони

Для підбору перерізу колони вибирається найнебезпечніша комбінація зусиль, яка дає найбільше значення зусилля в полиці колони. Це зусилля умовно оцінюють за формулою [19]:

$$N_f = \frac{N}{2} + \frac{M}{b}, \quad (4.14)$$

де b – попередньо визначена висота перерізу колони.

Розрахункова довжина в площині рами визначається за формулою:

$$l_{ef} = \mu h, \quad (4.15)$$

де $\mu=2$ – коефіцієнт приведення довжини для колони з жорстким закріпленням у фундаменті та вільним верхнім кінцем [20];

h – висота колони.

Розрахункова довжина з площини рами приймається рівною $l_y=h/2$, так як встановлена додаткова розпірка у вертикальних в'язях по колонах.

Необхідну площу поперечного перерізу колони визначаємо за наближеною формулою [21]:

$$A_H = \frac{N}{R_y} \left(1.25 + 2.2 \frac{M}{Nb} \right), \quad (4.16)$$

де M і N – розрахункова комбінація зусиль в колоні;

b – габаритна висота перерізу (ширина) колони, попередньо вибрана.

R_y - розрахунковий опір сталі.

Виходячи з отриманої площі перерізу A_H обираємо тип і розмір профілю.

Згідно з [20] визначаємо розрахункові параметри, необхідні для перевірки стійкості колони в площині рами:

- гнучкість та умовна гнучкість колони в площині рами:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x}; \quad \bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (4.17)$$

де i_x - радіус інерції поперечного перерізу відносно осі x ;

E - модуль пружності.

- відносний ексцентриситет навантаження:

$$m_x = \frac{eA}{W_c} = \frac{MA}{NW_x}, \quad (4.18)$$

де A – площа поперечного перерізу обраного профілю;

W_x - момент опору відносно осі більшої жорсткості.

- відношення площі полицки до площі стінки вибраного профілю:

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{b_f t_f}{A - 2b_f t_f}, \quad (4.19)$$

де b_f , t_f - ширина та товщина полицки обраного профілю;

Виконуємо перевірку стійкості колони у площині рами (у площині дії згинального моменту) за формулою [20]:

$$\frac{N}{\varphi_e A R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (4.20)$$

де φ_e - коефіцієнт стійкості при позацентровому стиску;

γ_c – коефіцієнт умов роботи

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						87
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо граничну гнучкість за формулою [20]:

$$\lambda_{lim} = 180 - 60 \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \quad (4.21)$$

Визначаємо гнучкість та умовну гнучкість колони з площини рами:

$$\lambda_x = \frac{l_y}{i_y}; \quad \bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (4.22)$$

де i_y - радіус інерції поперечного перерізу відносно осі y .

Виконуємо перевірку стійкості колони з площини рами (за згинально-крутильною формою втрати стійкості) за формулою [20]:

$$\frac{N}{c \varphi_y A R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (4.23)$$

де c – коефіцієнт, що визначається згідно [20];

φ_y – коефіцієнт стійкості при центральному стиску.

Розрахунки виконуються в програмному середовищі Microsoft Excel у двох варіантах, результати розрахунків зведено в таблицю 4.2 та 4.3 з урахуванням найбільш небезпечних сполучень внутрішніх зусиль за формулою (4.14).

Таблиця 4.2 – Розрахунок колони (C_{alt} за ДБН)

Розрахункові характеристики	Висота над рівнем моря, м			
	≤500	1000	1500	2000
$q_{пост}$	4,8	4,8	4,8	4,8
q_c	13,7	23,3	32,8	42,4
q_A	2,77	5,54	8,31	11,08
q_{II}	1,73	3,46	5,19	6,92
W	18	36	54	72
M	76,9	153,9	230,8	307,8
N	99,9	151,7	203,0	254,9
Профіль	23K1	26K1	30K1	30K3
Площа перерізу, см ²	66,51	88,08	108	138,72
Витрата сталі, кг	344,52	430,32	559,68	718,74
Перевірка стійкості в площині колони	0,683	0,910	0,873	0,893
Перевірка стійкості з площини колони	0,420	0,607	0,596	0,620
λ_x	111	99	85	84
λ_y	46	42	37	36
$\lambda_{x \lim}$	139	125	128	126
$\lambda_{y \lim}$	150	144	144	143

Таблиця 4.3 – Розрахунок колони (рекомендоване C_{alt})

Розрахункові характеристики	Висота над рівнем моря, м			
	≤ 500	1000	1500	2000
$q_{пост}$	4,8	4,8	4,8	4,8
q_c	13,7	23,3	32,8	42,4
q_A	2,17	7,62	12,47	17,31
q_{II}	1,73	4,76	7,79	10,81
W	18	49,5	81	112,5
M	76,9	211,6	346,3	480,9
N	99,9	151,7	203	254,9
Профіль	23K1	26K3	35K1	35K2
Площа перерізу, cm^2	66,51	105,9	139,7	160,4
Витрата сталі, кг	344,52	548,46	724,02	830,94
Перевірка стійкості в площині колони	0,683	0,931	0,814	0,971
Перевірка стійкості з площини колони	0,420	0,639	0,594	0,703
λ_x	111	97	73	72
λ_y	46	42	31	31
$\lambda_{x\ lim}$	139	124	131	122
$\lambda_{y\ lim}$	150	142	144	138

Як видно з таблиць 4.2 та 4.3 з ростом висоти над рівнем моря площа поперечного перерізу і матеріалоємність колони одноповерхової будівлі збільшується в обох випадках.

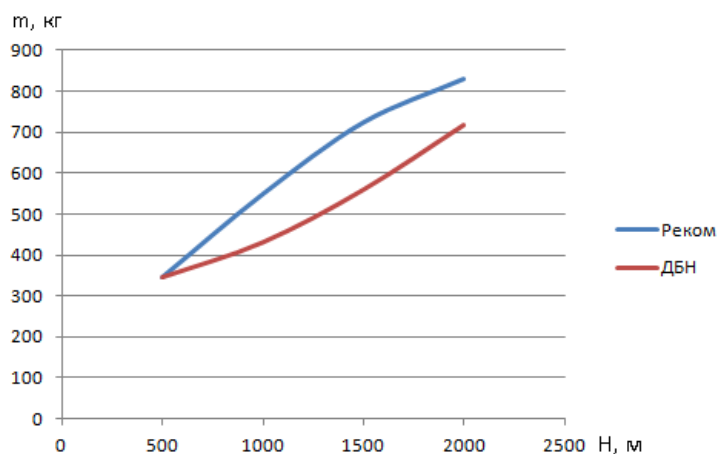


Рис. 4.2 – Матеріалоємність колони, розрахованої за ДБН та рекомендаціями розділу 3

Рисунок 4.2 показує, що матеріалоємність колони збільшується не лінійно. Це пояснюється нерівномірним кроком площ поперечних перерізів профілів у сортаменті.

4.5 Висновки з розділу

1) Виконано експериментальне проектування колон одноповерхової однопролітної будівлі висотою 5 м, прольотом 12 м та довжиною 60 м, яка може бути використана в якості глядацького залу, залу громадського харчування і т.п..

2) Визначено розрахункове значення снігового і вітрового навантаження на висотах 500, 1000, 1500 та 2000 м над рівнем моря, за вимогами ДБН В.1.2-2:2006 і рекомендаціями по урахуванню географічної висоти, розробленою в попередньому розділі.

3) За результатами розрахунків поперечної рами на вказані навантаження підібрані поперечні перерізи колон для будівництва на різних висотах за ДБН і рекомендаціями. В обох випадках з ростом висоти перерізи колон збільшуються, але розроблені рекомендації призводять до більшого зростання поперечного перерізу у порівнянні з ДБН.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		90

Висновки і рекомендації за результатами роботи:

1. За розробленою методикою виконана статистична обробка даних, отримані числові характеристики, які дають змогу визначити розрахункові значення швидкості та тиску вітру за прийнятою імовірнісною моделлю послідовності річних та місячних максимумів швидкості вітру. У більшості випадків розрахункові значення, обчислені за місячними максимумами більші, ніж обчислені за річними максимумами. З метою підвищення точності в якості розрахункових значень приймалися осереднені значення;
2. Розроблена методика визначення коефіцієнту географічної висоти за даними локальної сукупності метеостанцій;
3. Створена база метеорологічних даних у табличному процесорі Microsoft Excel по вітровому навантаженню, до якої були відібрані дані 37 метеостанцій, з яких 26 станцій розташовані в районі Карпатських гір, решта – в районі Кримських гір. Для кожної метеостанції із метеорологічного довідника вибрані гістограми розподілу річних та місячних максимумів швидкості вітру з 1961 по 1993 роки. Таким чином, по кожній метеостанції враховано понад 90 тисяч результатів строкових спостережень за вітром.
4. За даними гірських метеостанцій України встановлена залежність тиску вітру від висоти місцевості над рівнем моря, яка дозволяє орієнтовно визначати розрахункові значення вітрового навантаження в гірській місцевості;
5. У порівнянні з діючими ДБН В 1. 2.-2:2006 «Навантаження і впливи», отримані рекомендації призводять до збільшення розрахункових значень вітрового навантаження при проектуванні будівель і споруд. Це істотно підвищує рівень надійності конструкцій при порівняно невеликому зростанню їх вартості;
6. Отримані результати можуть використовуватися як безпосередньо при розрахунках несучих будівельних конструкцій, так і при розробці норм вітрового навантаження для території України.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		91

Conclusions results of research:

1. According to the developed methodology, statistical data processing was performed, numerical characteristics were obtained, which make it possible to determine the estimated values of wind speed and pressure according to the accepted probabilistic model of the sequence of annual and monthly wind speed maxima. In most cases, the estimated values calculated from monthly maxima are greater than those calculated from annual maxima. In order to increase accuracy, averaged values were used as calculated values;

2. The method of determining the coefficient of geographic height based on the data of a local set of weather stations has been developed;

3. A database of meteorological data was created in a Microsoft Excel table processor on wind load, to which data from 37 weather stations were selected, of which 26 stations are located in the Carpathian Mountains, the rest - in the Crimean Mountains. For each weather station, histograms of the distribution of annual and monthly wind speed maxima from 1961 to 1993 were selected from the meteorological directory. Thus, more than 90,000 results of timely wind observations were taken into account for each weather station.

4. According to the data of the mountain weather stations of Ukraine, the dependence of the wind pressure on the height of the area above sea level has been established, which makes it possible to roughly determine the estimated values of the wind load in the mountainous area;

5. In comparison with the current DBN B 1. 2.-2:2006 "Loads and impacts", the received recommendations lead to an increase in the calculated values of wind load when designing buildings and structures. This significantly increases the level of reliability of structures with a relatively small increase in their cost;

6. The obtained results can be used both directly in the calculations of load-bearing building structures and in the development of wind load norms for the territory of Ukraine.

					KMP 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		92

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 308 с.
2. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перемутьер, С.Ф. Пичугин; Под общей редакцией А.В. Перельмутера. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 482 с.
3. Савицкий Г.А. Ветровая загрузка на сооружения. – М.: Изд. лит-ры по строительству, 1972. 115 с
4. Заварина М. В. Строительная климатология. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 312 с.
5. Метеорологический ежемесячник. Часть II. Вып. 10. – Л.:Гидрометеиздат, - 1961-1991
6. Кінаш Р. І. Бурнаєв О. М. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси в Україні. – Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 1998. -1152 с.
7. Пашинський В. А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України. – К., 1999. – 185 с.
8. Анапольская Л. Е. Режим скоростей ветра на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 200 с.
9. ДБН В 1. 2.-2:2006 «Навантаження і впливи» - Мінбуд України, 2006
10. EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions – Wind actions
11. ENV 1991-2-3:1993 Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures. Part 2.3: Wind actions
12. СП 20.13330.2011 Свод правил: Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: -2011

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		93

13. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977.- 640 с

14. Основи теорії надійності будівель і споруд. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності "Промислове та цивільне будівництво" усіх форм навчання. – Кіровоград: КНТУ, 2012. - 37 с.

15. Zuranski J.A. Obciazzenia wiatrem budowli i konstrukcji: Wyd. 2.- Warszawa: Arkady, 1978.- 198 s.

16. Деркач Тетяна Миколаївна. Нормування вітрового навантаження на будівельні конструкції для території України: автореф. дис. ... канд.. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди / Деркач Т. М.; Полтавський національний технічний університет. – Полтава, 2002. – 20 с

17. Заварина М.В. Воздействие ветра на сооружения и их учет при проектировании. -Л., Гидрометеиздат , 1975.

18. Пашинский В.А. К учету срока службы при проектировании элементов несущих конструкций.// Надежность строительных конструкций:Межвуз.сб.научн. трудов.-Куйбышев, 1990.

19. Металеві конструкції. Методичні вказівки до виконання курсової роботи "Проектування сталевго каркасу одноповерхової будівлі" для студентів спеціальності "Промислове та цивільне будівництво" усіх форм навчання. Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А. – Кіровоград: КНТУ, 2011.

20. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. К.: Мінрегіонбуд України, 2010.

21. Лихтарников Я.М., Ладыженский Д.В., Клыков В.М. Расчет стальных конструкций. – К.: Будівельник, 1984. – 366 с.

22. Сафонов В.В. Инженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: Навч. посіб. – К.:Основа. 2011. – 480 с

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						94
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

23. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова №42 від 01.12.99

24. Мастрюков Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр "Академия", 2003. - 336 с

25. Кодекс цивільного захисту України. Верховна Рада України; Кодекс України, Закон, Кодекс від 02.10.2012 № 5403-VI

26. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Учебное пособие - М.: Абрис, 2012.

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		95

Додаток А. Охорона праці
ВИМОГИ ДО МІКРОКЛІМАТУ У ВИРОБНИЧІЙ ЗОНІ
БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА

Продуктивність праці у великій мірі залежить не тільки від технічного прогресу і рівня виробництва, але також від умов праці, на які може вплинути істотним чином ряд чинників, що створюють виробниче середовище.

Виробничим середовищем є штучно створене середовище абстрактної форми, обмежене від зовнішнього впливу. Воно є середовищем, де здійснюється технологічний процес, керований людиною. Отже, виробниче середовище – це складне поєднання певних умов для здійснення технологічного процесу, з одного боку, і умов праці для людини, що здійснює управління цим процесом, з іншого [22].

Людина постійно перебуває в процесі теплової взаємодії з оточуючим середовищем. Для того, щоб фізіологічні процеси в організмі людини відбувалися нормально, тепло, що виділяється організмом людини, повинне повністю відводитися у навколишнє середовище. Порушення теплового балансу може призвести до перегрівання або до переохолодження організму людини і, зрештою, до втрати працездатності, втрати свідомості та до теплової смерті.

Нормальне теплове самопочуття має місце, коли тепловиділення організму людини повністю сприймаються навколишнім середовищем.

У виробничому середовищі на самопочуття, стан здоров'я людини впливає мікроклімат цього середовища, який визначається дією на організм людини температури, вологості, рухомості повітря і теплового випромінювання. Виробничий мікроклімат, як правило, відрізняється значною мінливістю, нерівномірністю по горизонталі та вертикалі, різноманітністю сполучень температури, вологості, рухомості повітря, інтенсивності випромінювання залежно від особливостей технології

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
						96
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва, кліматичних особливостей місцевості, конструкцій споруд, організації повітрообміну із зовнішнім середовищем.

Мікроклімат виробничого середовища - умови внутрішнього середовища, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи [23].

Мікроклімат визначається сукупністю фізичних параметрів повітряного середовища, таких як температура, швидкість руху, вологість і барометричний тиск повітря, температура поверхонь, що оточують людину, та інтенсивність інфрачервоного випромінювання. Від комплексного впливу цих елементів залежать теплові відчуття і зумовлені ними фізіологічні та психічні стани працівників.

В процесі трудової діяльності людина перебуває у постійній тепловій взаємодії з виробничим середовищем. За нормальних мікрокліматичних умов в організмі працівника, завдяки терморегуляції, підтримується постійна температура тіла (36,6 °C).

Кількість тепла, що утворюється в організмі, залежить від фізичного навантаження працівника, а рівень тепловіддачі – від мікрокліматичних умов виробничого середовища. Віддача тепла організмом людини здійснюється, в основному, за рахунок випромінювання і випаровування вологи з поверхні шкіри.

Чим нижча температура повітря і швидкість його руху, тим більше тепла віддається випромінюванням. При високій температурі значна частина тепла втрачається випаровуванням поту. Разом з потом організм втрачає воду, вітаміни, мінеральні солі, внаслідок чого зневоднюється, порушується обмін речовин.

Вологість повітря істотно впливає на віддачу тепла випаровуванням. Через високу вологість випаровування ускладнюється і віддача тепла зменшується. Зниження вологості покращує процес тепловіддачі

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		97

випаровуванням. Однак надто низька вологість викликає висихання слизових оболонок дихальних шляхів.

Рухомість повітря визначає рівень тепловіддачі з поверхні шкіри конвекцією і випаровуванням. У жарких виробничих середовищах при температурі рухомого повітря до 35 °С рух повітря сприяє збільшенню віддачі тепла організмом. З підвищенням температури рухоме гаряче повітря саме буде віддавати своє тепло тілу людини, викликаючи його нагрівання.

Рухоме повітря при низькій температурі викликає переохолодження організму. Різкі коливання температури в середовищі, яке продувається холодним повітрям (протягом), значно порушують терморегуляцію організму і можуть викликати простудні захворювання.

Можливості організму пристосовуватись до метеорологічних умов значні, однак безмежні. Верхньою межею терморегуляції людини, що знаходиться у стані спокою, прийнято вважати 30–31 °С при відносній вологості 85% чи 40 °С при відносній вологості 30%. При виконанні фізичної роботи ця межа значно нижча. Так, при виконанні важкої роботи теплова рівновага зберігається при температурі повітря 12–14 °С.

Таким чином, для нормального теплового самопочуття людини важливе певне співвідношення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря.

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі. Для виробничої зони встановлюються оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови з урахуванням важкості виконуваної роботи та періоду року.

Період року визначається за середньодобовою температурою повітря зовнішнього середовища (при $t_{\text{сд}} < +10$ °С — холодний період, а якщо $t_{\text{сд}} > +10$ °С — теплий період року).

Під оптимальними мікрокліматичними умовами розуміють поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому і систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без

активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту і створюють передумови для високого рівня працездатності (табл. 1) [23].

Таблиця 1 – Оптимальні мікрокліматичні умови

Період року	Категорія робіт	Температура повітря	Відносна вологість	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний період року	Легка Іа	22 - 24	60 - 40	0,1
	Легка Іб	21 - 23	60 - 40	0,1
	Середньої важкості Іа	19 - 21	60 - 40	0,2
	Середньої важкості Іб	17 - 19	60 - 40	0,2
	Важка ІІІ	16 - 18	60 - 40	0,3
Теплий період року	Легка Іа	23 - 25	60 - 40	0,1
	Легка Іб	22 - 24	60 - 40	0,2
	Середньої важкості Іа	21 - 23	60 - 40	0,3
	Середньої важкості Іб	20 - 22	60-40	0,3
	Важка ІІІ	18 - 20	60 - 40	0,4

Допустимі мікрокліматичні умови — це поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень чи порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатись дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності (табл. 2) [23].

Допустимі величини мікрокліматичних умов встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні

величини мікроклімату за технологічними вимогами виробництва, технічною недосяжністю та економічно - обґрунтованою недоцільністю.

Таблиця 2 – Допустимі мікрокліматичні умови

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період року	Легка Іа	25	26	21	18	75	Не більше 0,1
	Легка Іб	24	25	20	17	75	Не більше 0,2
	Середньої важкості Іа	23	24	17	15	75	Не більше 0,3
	Середньої важкості Іб	21	23	15	13	75	Не більше 0,4
	Важка ІІІ	19	20	13	12	75	Не більше 0,5
Теплий період року	Легка Іа	28	30	22	20	55	0,2-0,1
	Легка Іб	28	30	21	19	60	0,3-0,1
	Середньої важкості Іа	27	29	18	17	65	0,4-0,2
	Середньої важкості Іб	27	29	15	15	70	0,5-0,2
	Важка ІІІ	26	28	15	13	75	0,6-0,5

Оптимальні і допустимі значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря встановлені залежно від категорії важкості робіт (Іа, Іб, Іа, Іб, Іа, Іб, ІІІ) (табл. 3), періоду року (теплий чи холодний) і характеристики робочого місця (постійне чи непостійне). Для постійних робочих місць нормуються оптимальні і допустимі значення вказаних параметрів, для непостійних — лише допустимі. Робоче місце вважається постійним, якщо працівник знаходиться на ньому більше 50 % робочого часу або 2 години і більше безперервно.

Таблиця 3 – Категорії робіт за ступенем важкості

Характер роботи	Категорії роботи	Загальні енерговитрати організму, Вт (ккал/год)	Характеристика робіт
Легка	Ia	105-140 (90-120)	Робота, що виконується сидячи і не потребує фізичного напруження
	Iб	141-175 (121-150)	Робота, що виконується сидячи, стоячи або пов'язана з ходінням, та супроводжується деяким фізичним напруженням
Середньої важкості	IIa	176-232 (151-200)	Робота, пов'язана з ходінням, переміщенням дрібних (до 1кг) виробів або предметів в положенні стоячи або сидячи, що потребує певного фізичного напруження
	IIб	233-290 (201-250)	Робота, що виконується стоячи, пов'язана з ходінням, переміщенням невеликих (до 10кг) вантажів, та супроводжується помірним фізичним напруженням
Важка	III	2921-349 (251-3000)	Робота, пов'язана з постійним переміщенням, перенесенням значних (понад 10кг) вантажів, які потребують великих фізичних зусиль

Нормативні значення температури, як допустимі, так і оптимальні зменшуються в разі переходу від найлегших до найважчих робіт, а швидкості руху повітря навпаки — збільшуються. Оптимальні значення вологості для всіх категорій робіт становлять 40—60 %, а допустимі — не повинні перевищувати 75 % у холодний період року і теплий при температурі 24 °C і нижче, а при більш високих температурах — це значення менше.

Для забезпечення нормальних метеорологічних умов і підтримки теплової рівноваги між тілом людини і навколишнім середовищем на будівельних об'єктах проводиться ряд заходів, основними з яких є наступні:

- механізація й автоматизація важких і трудомістких робіт, виконання яких супроводжується надлишковим теплотворенням в організмі людини;
- дистанційне керування випромінюючими процесами й апаратами, що виключає необхідність перебування працюючих у зоні інфрачервоного опромінення;
- раціональне розміщення і теплоізоляція устаткування, апаратів, комунікації й інших джерел, що випромінюють на робочі місця конвекційне і променисте тепло;
- пристрій захисних екранів, водяних і повітряних завіс, що захищають робочі місця від теплового випромінювання, а також застосування водно-повітряного душування;
- для попередження працюючих від переохолодження і простудних перегріву обладнують спеціальні кімнати, кабінки або місця для короткочасного відпочинку з нормальними мікрокліматичними параметрами;
- джерела інтенсивного виділення вологи з відкритою поверхнею випару постачають кришками або ж обладнують місцевими отсосами;
- організація раціонального водносолевого режиму з метою профілактики перегрівів. Для цього до питної води додають невелику кількість (0,2 – 0,5 %) повареної солі і насичують її вуглекислим газом (сатирують);
- забезпечення робітників раціональним спецодягом і спецвзуттям.

Для того щоб визначити, чи відповідає повітряне середовище певного приміщення встановленим нормам, необхідно кількісно оцінити кожний з його параметрів.

Вимірювання параметрів мікроклімату проводяться на робочих місцях і в робочій зоні на початку, в середині та в кінці робочої зміни. При коливаннях мікрокліматичних умов, пов'язаних з технологічним процесом та

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		102

іншими причинами, вимірювання проводяться з урахуванням найбільших і найменших величин термічних навантажень протягом робочої зміни.

При проведенні вимірювання в холодний період року температура зовнішнього повітря не повинна бути вищою за середню розрахункову температуру, в теплий період - не нижчою за середню розрахункову температуру, що приймається для опалення та кондиціонування за оптимальними та допустимими параметрами.

Вимірювання параметрів мікроклімату на робочих місцях проводяться на висоті 0,5 - 1,0 м від підлоги - при роботі сидячи, 1,5 м від підлоги - при роботі стоячи.

Температуру вимірюють ртутними чи спиртовими термометрами. Для неперервної реєстрації температури навколишнього повітряного середовища застосовують самозаписувальні прилади — термографи.

Відносна вологість повітря (відношення фактичного вмісту маси водяних парів, що містяться в певний час в 1 м³ повітря, до максимально можливого їх вмісту при певній температурі) визначається психрометром Августа, аспіраційним психрометром, гігрометром та гігрографом.

Для вимірювання швидкості руху повітря використовують крильчасті (0,3—0,5 м/с) та чашкові (1—20 м/с) анемометри, а для визначення малих швидкостей руху повітря (менше 0,5 м/с) — термоанемометри та кататермометри. Температура нагрітих поверхонь вимірюється за допомогою електротермометрів, термопар та інших контактних приладів. Для вимірювання інтенсивності теплового опромінення використовують актинометри, термостовбці, спеціальні радіометри.

Параметри оцінюються:

- як оптимальні, якщо середнє значення та результати не менше 2/3 вимірювань знаходяться в межах оптимальних величин (табл. 1);
- як допустимі, якщо середнє значення та результати не менше 2/3 вимірювань знаходяться в межах допустимих величин (табл. 2);

					КМР 21192232 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		103

- як такі, що не відповідають Санітарним нормам, якщо середнє значення та результати більше 2/3 вимірювань не відповідають значенням наведеним в таблиці 1 та 2.

Нормалізація параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою комплексу заходів та засобів колективного захисту, які включають будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-гігієнічні, технічні та інші рішення, які полягають в удосконаленні технологічних процесів та устаткування; раціональному розміщенні технологічного устаткування; автоматизації та дистанційному керуванні технологічними процесами; раціональній вентиляції, опаленні та кондиціонуванні повітря; раціоналізації режимів праці й відпочинку; застосуванні теплоізоляції устаткування та захисних екранів. Для профілактики перегрівань і переохолоджень робітників використовуються засоби індивідуального захисту.

Раціоналізація режимів праці та відпочинку досягається скороченням тривалості робочої зміни, введенням додаткових перерв, створенням умов для ефективного відпочинку в приміщеннях з нормальними метеорологічними умовами.

Застосування теплоізоляції устаткування та захисних екранів. Як теплоізоляційні матеріали широко використовуються азбест, азбоцемент, мінеральна вата, склотканина, керамзит, пінопласт та ін.

На виробництві застосовують також захисні екрани для огороження джерел теплового випромінювання від робочих місць. За принципом дії теплозахисні екрани поділяються:

- на тепловідбивні (поліровані або покриті білою фарбою металеві листи, загартоване скло з плівковим покриттям, металізовані тканини, плівковий матеріал);
- теплопоглинальні (металеві листи та коробки з теплоізоляцією, загартоване силікатне органічне скло та ін.);

- тепловідвідні (водяні завіси та металеві листи або сітки, з яких стікає вода);
- комбіновані.

Основним нормативним документом, що регламентує параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99. Цей документ встановлює оптимальні і допустимі значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, допустиму температуру внутрішніх поверхонь приміщення (стіни, стеля, підлога) і зовнішніх поверхонь технологічного обладнання, а також допустиму інтенсивність теплового випромінювання нагрітих поверхонь у приміщенні та відкритих джерел тепла (нагрітий метал, скло, відкритий вогонь тощо) для робочої зони — визначеного простору, в якому знаходяться робочі місця постійного або непостійного (тимчасового) перебування працівників.