МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Розрахунок рекламних споруд на вітрове навантаження

Виконав: студент 2 курсу,групи 8.1923-мопа-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Містобудування та об'ємно-просторова архітектура
(назва освітньої програми)
Зоідов Хумоюн Аліжон углі
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н, Савін В.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент доц., к.т.н, Фостащенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Містобудування та об'ємно-просторова архітектура

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«01» 10 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Зоідову Хумоюн Аліжон углі
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Розрахунок рекламних споруд на вітрове навантаження

керівник роботи доц., к.т.н, Савін В.О.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» 09 2024 року № 1486-с .

1 Строк подання студентом роботи 01.02.2025

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об`єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Провести аналіз з методу дискретних вихорів (МДВ) для моделювання вітрового навантаження на РС з порівнянням отриманих результатів з даними експерименту та даними інших чисельних методів (метод кінцевого обсягу (МКО)).

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань науковог напряму досліджень, результатами експериментальних досліджен результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних мето досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Савін В.О.		
2	Савін В.О.		
3	Савін В.О.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	01.11	
3	Розділ 2	15.11	
4	Розділ 3	01.12	
5	Розробка графічної частини	15.12	
6	Оформлення роботи	15.01	
7	Попередній захист	01.02	

Студент _____ Зоідов Хумоюн Аліжон углі
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Савін В.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Гребенюк І.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Зоідов Хумоюн Аліжон углі. Розрахунок рекламних споруд на вітрове навантаження.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.О. Савін. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2025.

У роботи проаналізовано метод дискретних вихорів (МДВ) для моделювання вітрового навантаження на РС з порівнянням отриманих результатів з даними експерименту та даними інших чисельних методів (метод кінцевого обсягу (МКО)). Уточнено значення аеродинамічного коефіцієнта середньої складової вітрового навантаження при розрахунку РС у міській забудові.

Ключові слова: ВІТРОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ , АЕРОДИНАМІЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ, МІСЬКА ЗАБУДОВА, РЕКЛАМНА СПОРУДА, ВІТЕР , РОЗРАХУНОК.

ABSTRACT

Zoidov Humoyun Alizhon Ugli. Calculation of Advertising Structures for Wind Load.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in the specialty 192 - Construction and civil engineering, academic supervisor V.O. Savin. Engineering Educational and Scientific Institute named after U.M. Potebny ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2025.

The paper analyzes the discrete vortex method (DVM) for modeling wind load on PCs, comparing the results obtained with experimental data and data from other numerical methods (finite volume method (FVM)). The value of the

aerodynamic coefficient of the average component of wind load when calculating PCs in urban development is specified..

Key words: WIND LOAD, AERODYNAMIC COEFFICIENT, URBAN BUILDING, ADVERTISING STRUCTURE, WIND, CALCULATION.

ЗМІСТ

	ВСТУП…….	7
Розділ 1	СТАН ПИТАННЯ…….…….	10
1.1	Огляд методів розрахунку будівель та споруд на дію вітру……	10
1.2	Класифікація основних форм, характеру розташування та аналізу експлуатації РС……	21
Розділ 2	ЧИСЛІВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ…..	26
2.1	Об'єкти дослідження…….……..…….…….…….	26
2.2	Постановка завдання……..	27
2.2.1	Фізична постановка задачі……	27
2.2.2	Математична постановка задачі……	27
2.3	Технологія моделювання вітрового навантаження…….…	29
2.3.1	Режим обтікання……..	29
2.3.2	Етапи моделювання…….	29
2.3.3	Верифікаційний розрахунок……	29
2.3.4	Рекомендації щодо моделювання вітрового навантаження……	33
2.3.5	Обробка результатів моделювання……	33
2.4	Числіве моделювання вітрового навантаження по поверхні рекламних споруд методом дискретних вихорів……..	34
2.4.1	Окремо стоячі плоскі РС…….	34
2.4.2	Окремо стоячі призматичні РС……..	40
2.4.3	РС розташовані групою……...	50
2.5	Порівняння результатів моделювання вітрового навантаження…….	59
2.6	Аналіз результатів моделювання вітрового навантаження на РС…..	60
2.7	Висновки з розділу 2……	62
Розділ 3	РОЗРАХУНОК РС У МОЖЛИВІСНІЙ ПОСТАНОВЦІ, ЩО ДОЗВОЛЯЄ ОПТИМІЗУВАТИ ПАРАМЕТРИ РС…...…….……..	64
3.1	Постановка завдання. Основні положення і позначення……	64
3.2	Методика розрахунку у можливісній постановці, що дозволяє оптимізувати параметри елементів РС……..	65
3.3	Методика розрахунку РС з обліком розміщення на місцевості і визначення коефіцієнта надійності РС…….....	79
3.4	Висновки з розділу 3……..	82
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ……		84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……..		85

ВСТУП

Актуальність теми. Починаючи з початку 90-х років XX століття в Україні почав формуватися ринок рекламних послуг, один із напрямів якого – ринок зовнішньої реклами із встановленням рекламних споруд.

Під рекламним спорудою (РС) у цій роботі розуміється технічний засіб стабільного територіального розміщення зовнішньої реклами.

Разом з тим, аналіз існуючих конструкцій вказує на низьку якість проектування, виробництва та експлуатації РС. Також є випадки відмови РС, збитки яких, у деяких випадках, становив до 15-20% від їх загальної кількості.

Аналіз конструктивних форм РС показує, що вітрове навантаження є визначальною за їх розрахунку. Існуючі вітчизняні нормативні документи не розглядають подібні споруди та не враховують специфіку конструктивної форми РС, що свідчить про необхідність аналізу та уточнення дії вітрового навантаження на РС.

Крім того, РС відносяться до споруд з непостійним знаходженням людей під час експлуатації, що дозволяє розглянути питання щодо застосування ймовірнісних методів розрахунку РС.

Мета і завдання роботи. Метою даної магістерської роботи є уточнення характеру розподілу вітрового навантаження та його облік за умови ймовірнісного розрахунку рекламних споруд.

Для вирішення мети поставлено такі завдання:

- аналіз чисельного моделювання дії середньої складової вітрового навантаження на типи рекламних споруд, що найбільш використовуються;

- дослідження розподілу середньої складової вітрового навантаження по поверхні рекламних споруд в аеродинамічній трубі.

- розробки методики ймовірнісного розрахунку рекламних споруд, що дозволяє оптимізувати параметри рекламних споруд з урахуванням можливих

соціально-економічних втрат.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є рекламні споруди у міській забудові.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є розподіл вітрового навантаження рекламних споруд з урахуванням міської забудови.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та комплексні дослідження рекламних спорудою.

Наукова новизна одержаних результатів. Полягає в наступному:

- уточнено значення аеродинамічного коефіцієнта середньої складової вітрового навантаження при розрахунку рекламних споруд у міській забудові;

- виконано порівняльну оцінку результатів чисельних методів з експериментальними даними та розроблено рекомендації щодо проектування рекламних споруд;

- показано, що чисельні методи можуть успішно використовуватися для вирішення аналогічних завдань.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість дослідження полягає в наступному :

- уточнено розподіл середньої складової вітрового навантаження по поверхні найбільш застосовуваних типів рекламних споруд (значення аеродинамічних коефіцієнтів та положення вектора повної аеродинамічної сили);

- надано рекомендації щодо проектування рекламних споруд з урахуванням міської забудови.

Особистий вклад дослідника. Особиста участь автора в організації та проведенні дослідження полягає у визначенні мети роботи, постановці та вирішенні завдань, виборі об'єкта та предмета дослідження, а також у пошуку, зборі, систематизації необхідної інформації, яка згодом стала базою для дослідження.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел, містить 88 сторінок, 48 рисуноків, 8 таблиць, 33 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1
СТАН ПИТАННЯ

Для розгляду дійсного впливу вітру на РС стосовно середньої складової вітрового навантаження виконано огляд науково-технічної та нормативної літератури за напрямами: розвиток методів розрахунку будівель та споруд на дію вітру та стан теорії надійності будівельних конструкцій. Для уточнення реальної дії середньої складової вітрового навантаження на РС проведено аналіз основних форм, характеру розташування та експлуатації РС на території міста Запоріжжя.

1.1 Огляд методів розрахунку будівель та споруд на дію вітру

Математична та експериментальна механіка рідини. Як вказує у своїй монографії Т. фон Карман початкові дослідження в галузі аеродинаміки можна зустріти в працях Аристотеля, який вивчав силу, що штовхає вперед тверді предмети, що летять. Дослідження з аеродинаміці можна знайти в записах Леонардо да Вінчі, який показує: «Опір предмета повітря в стані спокою і опору повітря, що рухається проти предмета в стані спокою». Хронологічно наступним дослідником є Г. Галілей, який помітив, вивчаючи рух маятника, що гасіння його коливань відбувається частково за рахунок опору повітря і фактично намагався виявити закон опору повітря від швидкості.

Першу теорію опору повітря, виведену на основі принципів механіки, опублікував сер І. Ньютон, який вказав, що сили, що діють на два геометрично подібних тіла, які рухаються в рідині з різною щільністю, пропорційні:

а) квадрату швидкості,

б) квадрат лінійних розмірів тіла,

в) густини рідини.

У дослідженнях Ньютона показано, що закони руху застосовні як рідини, і у повітрі.

На підставі його досліджень про дію повітря на поверхні сфер було виведено «закон квадрата синуса» (1.1), який фактично визначав значення сили F, що припадає на пластину шириною S, розташованої під кутом до потоку рідини щільністю p зі швидкістю U, як зміна кількості руху маси рідини, що проходить через поперечний переріз S x Sinα.

$$F = p*S*U^2 *Sin^2\alpha \quad (1.1)$$

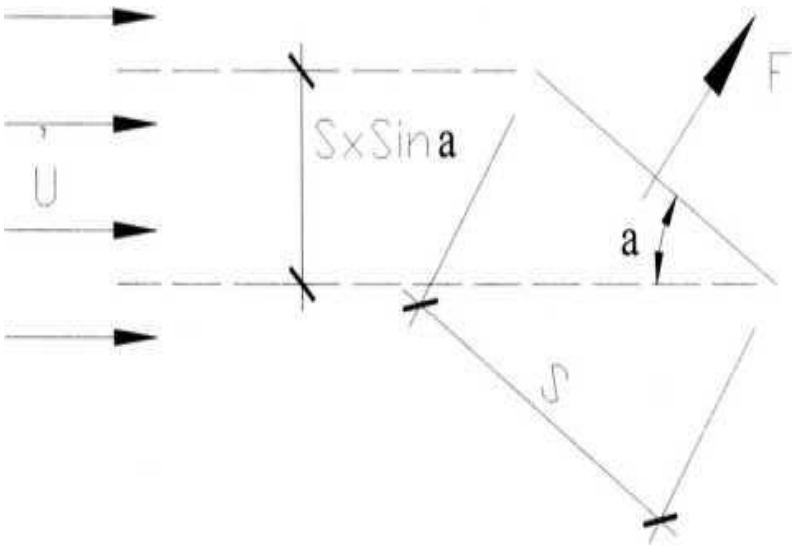


Рисунок 1.1 - Схема, що ілюструє теорію Ньютона

Однак результати експериментальних досліджень вказували на невідповідність отриманих результатів та даних формули квадрата синуса. Експериментальні спостереження та вивчення взаємодії повітря чи рідини та твердих тіл зустрічаються в експериментальних дослідженнях багатьох учених. Так е. Маріотт, Ж.Ш. де Брода, Б. Робінс проводили вимірювання сил, що діють різні тіла за допомогою каруселної установки. Ж. Л. Даламбер, А. Кондорсе, Ш. Боссю буксирували моделі кораблів у стоячій воді.

У XVIII століття відбулися зародження основи сьогоднішньої теорії

опору повітря. Так Л. Ейлером було виведено рівняння руху та рівноваги рідин і газів, сформульовано закон збереження маси стосовно рідкого тіла. Д. Бернуллі встановив зв'язок між питомими енергіями потенційної та кінетичної при русі рідини, доповнив рівняння елементами, що враховують в'язкість (рівняння Бернуллі). Ж. Л. Даламбер, розглядаючи рух «ідеальної» рідини (без урахування внутрішнього тертя) розробив математичну теорію обтікання тіла потоком рідини.

У XIX столітті Гельмгольц, Р. фон Кірхгоф, Д.У. Стретт розробили теорію, що враховує зриви потоку на кромках обтічної пластини і наступним за нею супутнім струменем, що складається із застійного повітря. На вивчення руху рідини з урахуванням в'язкості були спрямовані праці А. Пуазеля, Л. Навье, Д. Стокса, які вивели рівняння руху рідини та газу з урахуванням в'язкості (рівняння Навье – Стокса). Дослідженнями характеру руху рідини займався О. Рейнольдс, який встановив критерій режиму руху рідини – ламінарний, перехідний та турбулентний, вивів диференціальні рівняння зосередженого турбулентного руху рідини. Однією з перших праць з аеродинаміці у Росії стала монографія Д.І. Менделєєва «Про опір рідини та повітроплавання» опублікована в 1880 році.

Експериментальні методики визначення аеродинамічної сили удосконалював А.Г. Ейфель [122], який використовував радіолокаційну вежу в Парижі, що носить його ім'я, для створення прямолінійного руху за рахунок вільного падіння та реєстрації параметрів швидкості та сили опору тіла в аеродинамічному потоці. Для переміщення моделей повітрям деякими дослідниками застосовувалися локомотиви, а потім автомобілі.

Наступним етапом експериментальних досліджень стало будівництво аеродинамічної труби, яка була вперше сконструйована Ф. р. Уенем в 1871 році в товаристві з аеронавтики Великобританії. У 1884 р. Філіпс удосконалив конструкцію труби. Наприкінці XIX початку XX століття аеродинамічні труби

були побудовані у всіх розвинених країнах: Стантон та Максим в Англії, Ратто та Ейфель у Франції, Прандтль у Німеччині, Крокко в Італії.

У 1878 році лорд Релей вивчаючи течію навколо циліндра, що обертається, встановив наявність поперечної сили і описав таким чином ефект Магнуса, що послужило поштовхом до подальших досліджень. На початку XX століття паралельно Ф.У. Ланчестер в Англії, М.В. Кутта у Німеччині розроблено математичне обґрунтування теорії підйомної сили для двовимірної течії, введено поняття циркуляції та отримано теоретичне визначення підйомної сили, яке добре узгоджувалося з результатами експериментів.

У 1904 Л. Прандтлем було опубліковано теорію прикордонного шару, розвиток якої було продовжено його учнями Т. фон Карманом та К. Польгаузеном. У цій галузі працювали Л.І. Сєдов, Л.Г. Лойцянський та ін.

У цей період була розроблена теорія подоби та встановлені її основні критерії: число Рейнольдса (Re), Струхаля (Sh), Ейлера (Єй), Маха (М), Фруда (Fr) та ін. Введено поняття та визначено в аеродинамічних трубах значення аеродинамічного коефіцієнта та значення аеродинамічних сил: лобового опору (x), бічної (y) та підйомної (z)(1.2).

$$F_x = c_x * \frac{\rho * V_\infty^2}{2} * A$$

$$F_y = c_y * \frac{\rho * V_\infty^2}{2} * A \qquad (1.2)$$

$$F_z = c_z * \frac{\rho * V_\infty^2}{2} * A$$

де, P - щільність повітря чи рідини,

V_∞ - швидкість потоку на нескінченності,

A - характерна площа конструкції,

c и F - аеродинамічний коефіцієнт і значення аеродинамічної сили за напрямом x, y, z відповідно (рис. 1.2)

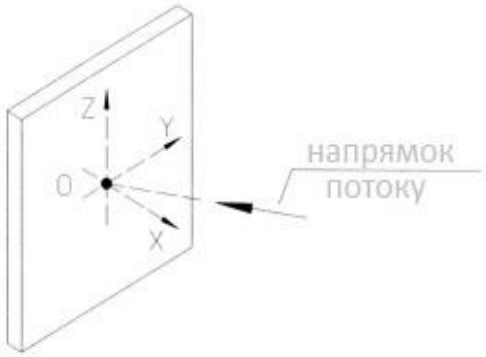


Рисунок 1.2 - Схема, що ілюструє орієнтацію аеродинамічних коефіцієнтів

На вивчення аеродинамічних коефіцієнтів, як у своїй монографії Е.І. Реттером були спрямовані теоретичні та експериментальні дослідження різних авторів. Так, Блазіус вивів аналітичну умову для визначення сх для горизонтально встановленої пластини при ламінарному перебігу рідини (Re < $Re_{Кр}$ = 2320) у вигляді:

$$c_x = 1.327 * Re^{-1/2} \quad (1.3)$$

Однак, аналітичний опис сх для критичного та закритичного режиму руху потоку, інших форм споруд практично неможливий через складний математичний опис процесів обтікання. Цей недолік компенсували численні експериментальні дослідження. Наведено значення аеродинамічних коефіцієнтів, отримані в різних аеродинамічних трубах для різних форм споруд і для різних кутів напрямку потоку вітру. Наведено графік (рис. 1.3) для прямокутної пластини з співвідношеннями сторін 1:3 (лінія 1, рис 1.3); 1:1 (лінія 2, рис 1.3); 3:1 (лінія 3, рис 1.3), крива вказує на зміну аеродинамічного коефіцієнта залежно від кута дії вітру.

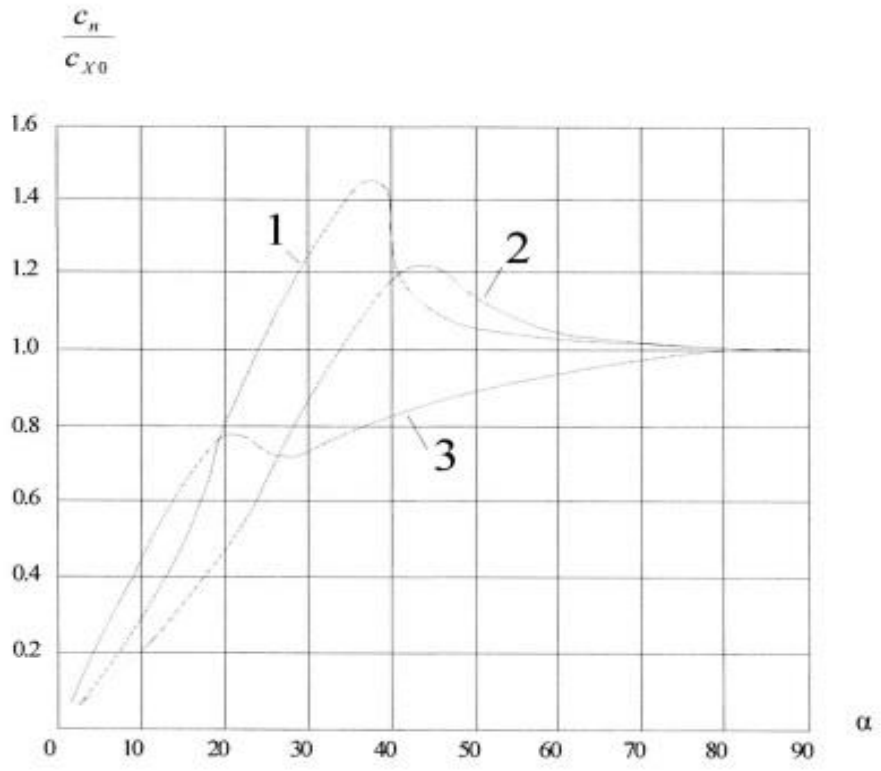


Рисунок 1.3 - Коефіцієнт повного опору платівок різного подовження.

З графіка (рис. 1.3) видно, що зміна cx залежить від положення пластини у напрямку вітру та співвідношення її сторін. Особливо значне збільшення cx (до 1.4 рази) спостерігається на ділянці від 20 до 50 (залежно від співвідношення сторін пластини). Подібні висновки за результатами експерименту виявили аналогічну залежність, але з максимальним співвідношенням значень аеродинамічних коефіцієнтів рівним 1.6. Так, на рис 1.4 показані експериментально певні схеми розподілу вітрового навантаження по поверхні пластини.

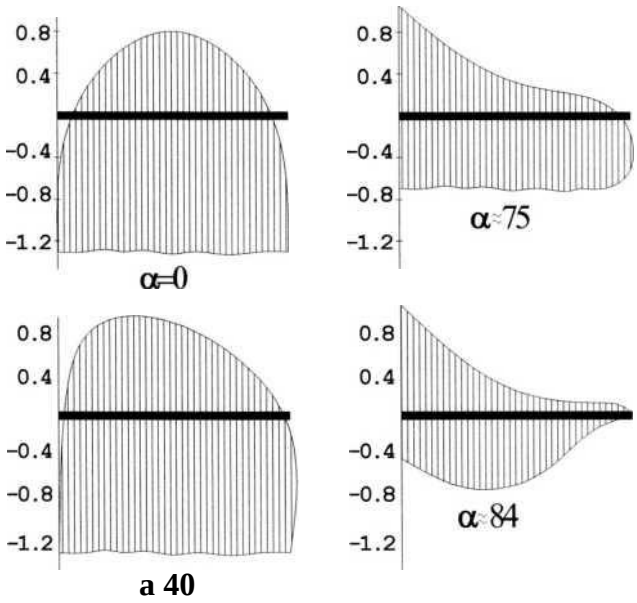


Рисунок 1.4 - Розподіл тиску по плоскій пластині залежно від кута атаки

Деякі значення аеродинамічних коефіцієнтів для прямокутних пластин при кутах атаки 70 - 90 ° (що відповідає кутам 0 - 30 ° у зазначених джерелах).

Розгляд експериментальних даних з обтікання вітровим потоком тонкої прямокутної поверхні - вітрила, який наводить дані з обтікання даної форми вітровим потоком і вказує на максимальне значення результуючого вектора від впливу вітрового потоку для кута близького до 75° (що відповідає куту 15° у вказаному джерелі).

Недоліком даних, що наводяться, є те, що в зазначеній літературі, наводяться в основному деякі вибіркові інтегральні характеристики аеродинамічного опору для окремих напрямків вітру і не наводяться дані про розподіл вітрового навантаження по поверхні.

Спроба визначити значення розподілу тиску вітру по поверхні споруди чисельними методами, де на основі методу джерел та стоків авторами були побудовані ізополя тисків на основні форми будівель та обрисів покриття (плоска, похила, шедова), розглянуто процеси обтікання груп будівель. Деякі з вирішених завдань були експериментально перевірені в аеродинамічній трубі.

Розглядаються аеродинамічні характеристики висотних будівель, і вказується збільшення швидкості вітрового потоку біля граней і кутових точок будівлі.

Розвиток чисельних методів та комп'ютерної техніки дозволяє змоделювати процес обтікання вітром будівель та споруд різних форм. Наводяться дані про застосування методу дискретних вихорів (МДВ) для визначення тиску вітру по поверхні споруди (аеродинамічні характеристики), карти швидкостей та ліній струму вітру. Для моделювання дії вітру застосовано метод кінцевого елемента (МКЕ) та метод кінцевого обсягу (МКО), реалізований у програмних комплексах Ansys flotran, Ansys SFX, Star CD, які дозволяють отримувати дані як аеродинамічних характеристик об'єктів моделювання (будівлі та споруд), так і характер руху вітру навколо них. Використовувався Метод Кінцевих Різнощів для розгляду параметрів обтікання вітром циліндричних тіл, результати якого порівнювалися з даними, отриманими з використанням МКЕ у програмному комплексі Ansys Flotran.

Іншим завданням щодо вітрової навантаження є визначення показників вітру: величини його швидкості та її зміни за висотою і тривалості його впливу. Було розроблено імовірнісну методику, засновану на методі статичної екстраполяції, визначення максимальної швидкості вітру V заданої забезпеченості, тобто. швидкість вітру, що зустрічається один раз на "п" років. Визначення максимально можливої швидкості вітру визначається на рівні точки фіксації швидкості вітру zaiieM з періодом опосередкування вимірювання швидкості вітру t. Імовірність виникнення зазначеної швидкості апроксимується аналітичною функцією, яка є окремим випадком функції Гудрича і записується у вигляді:

$$F(V) = exp^{-(\frac{V}{\beta})^{\gamma}} \quad (1.4)$$

де, F(V) - ймовірність того, що швидкість вітру досягне або буде більшою за величину V.

β, γ - параметри вітрового режиму, які від даного району, які визначаються, використовуючи графічний метод.

Для переходу від інтегральної повторюваності до періоду повторення використовують співвідношення:

$$F(V) = \frac{1}{N*T} \quad (1.5)$$

де, N - кількість спостережень протягом року.

Т - число років, які один раз спостерігалася швидкість вітру, рівна чи перевищує величину v.

Залежність (1.5), розраховану за місячними максимумами вітру:

$$F(V)=\exp(-\exp)^{\frac{v-a}{\beta}} \quad (1.6)$$

Розвиток нормативних вимог.

Перші практичні роботи з розрахунку будівельних конструкцій вплив вітрової навантаження характеризують початковий етап методик розрахунку. На цьому етапі вітрове навантаження призначалося як дискретної, раціонально можливої величини, визначеної для відповідного району будівництва. Дія вітрового навантаження розглядалося як рівномірно розподілене по вертикальній поверхні. Зміна кута дії вітру враховувалося множенням на Sin^2a.

Методики визначення вітрового навантаження інших країнах світу.

Внешнее давление (external pressure) ветровой нагрузки в виде:

$$w_e = q_{ref} * c_e * (z_e) * c_{pe} \quad (1.7)$$

де q_{ref} - середнє значення вітрового навантаження, яке визначається залежно від можливої швидкості вітру на розглянутій території;

$c_e(z_e)$ - коефіцієнт, що враховує розташування споруди на місцевості, характеру підстилаючої поверхні та висоти над рівнем землі;

c - коефіцієнт, що враховує характер обтікання та призначення споруди.

Подібна методика визначення вітрового навантаження на будівлі та споруди наведена в нормативних документах Індії, Японії, Китаю та ін.

Стосовно РС значення вітрового навантаження докладно розглядається в EUROCODE 1 , який виділяє подібні споруди в окрему категорію. Так значення загальної сили (global force) F_w вітрового навантаження на вантажній площі A_{ref} для РС визначається за умови:

$$F_w = q_{ref} * c_e(z_e) * c_d * c_f * A_{ref} \quad (1.8)$$

де, c_d - коефіцієнт динамічності, c_f - силовий коефіцієнт, який визначається з умови:

$$c_f = 2.5 * \psi_\lambda \quad (1.9)$$

в якому - коефіцієнт, що враховує співвідношення сторін рекламної поверхні РС (рис. 1.5).

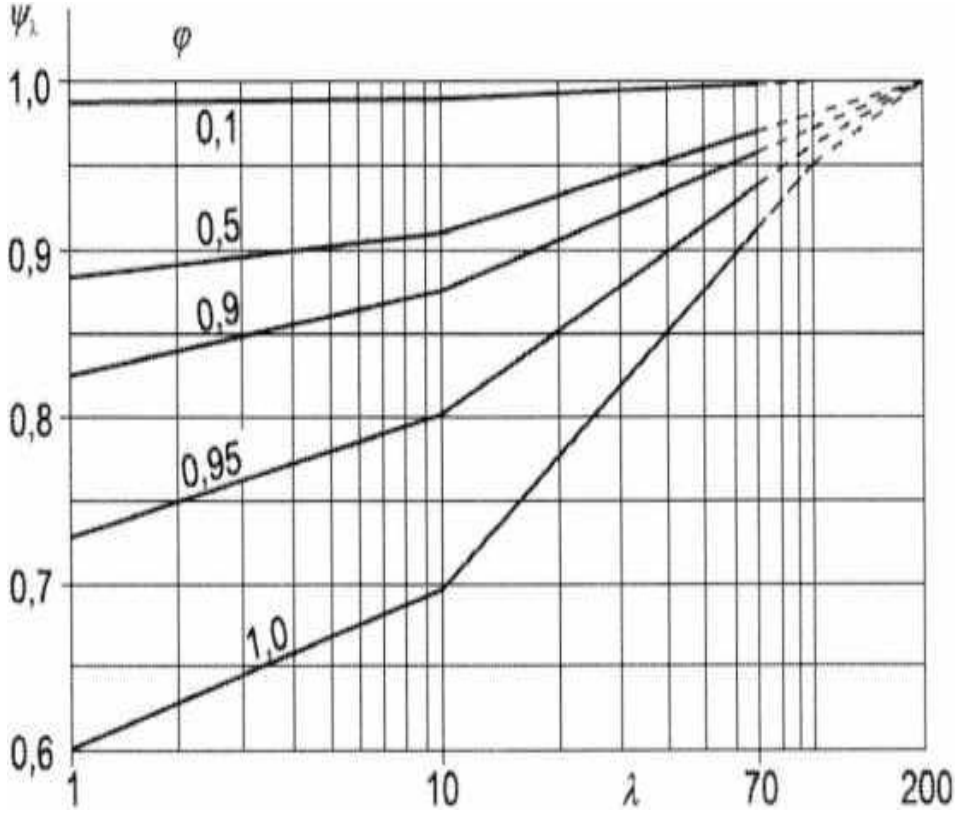


Рисунок 1.5 - Залежність коефіцієнта ψ_λ, від співвідношення сторінРС

$\lambda = \frac{b}{h}$ та коефіцієнта суцільності поверхні $\varphi = 1$. h

Додаток загальної сили (global force) F_w визначається за EUROCODE 1 з ексцентриситетом e_a (рис. 1.6) за умови:

$$e_a = 0.25 * b \quad (1.10)$$

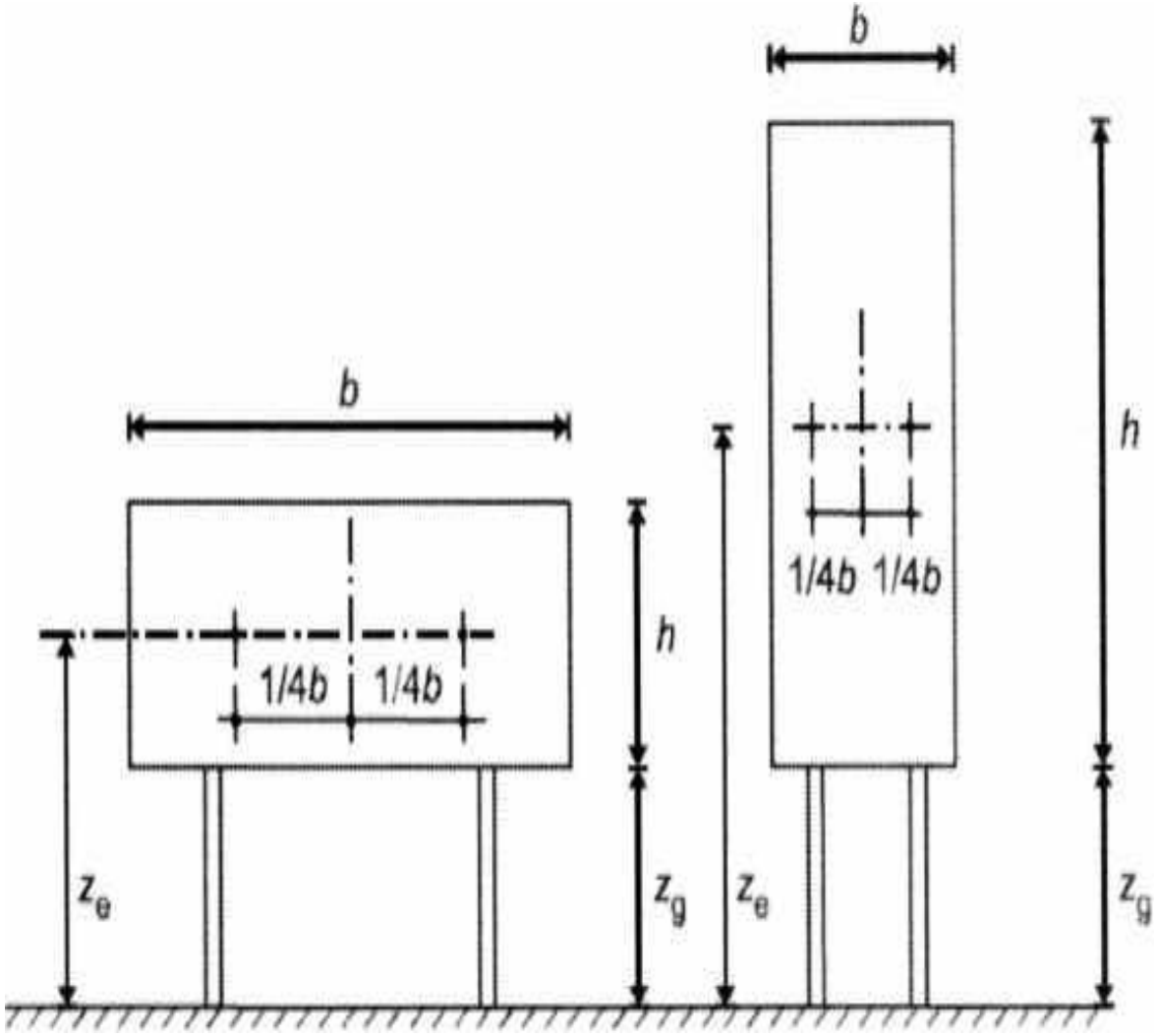


Рисунок 1.6 - Схема застосування загальної сили (global force) F_w.

Недоліком методики наведеної в EUROCODE 1 є:

1. Відсутність нормативного забезпечення визначення коефіцієнта ψ_λ і відповідно значення c_f при $\lambda<1$ (див. рис. 1.5)

2. Завищене значення відносного ексцентриситету застосування результуючої складової вітрового навантаження для $\lambda > 10$.

1.2 Класифікація основних форм, характеру розташування та аналізу експлуатації РС

Для виявлення основних форм стаціонарних окремо стоять РС та характеру розташування їх на місцевості була проведена класифікація РС із загальної кількості за такими параметрами:

А. За формою рекламної поверхні:

Тип 1 – Плоскі РС – 99% (рис. 1.7);

Тип 2 – Призматичні РС – 1% (рис. 1.8);

Б. За розташуванням щодо міської забудови:

Тип 1 - окремі РС - 82% (рис. 1.9);

Тип 2 - стоять поруч із будівлею чи спорудою - 18% (рис. 1.10);

В . За розташуванням у місцях перебування людей: Тип 1 – періодичного перебування – 96%; Тип 2 – постійного перебування – 4%;

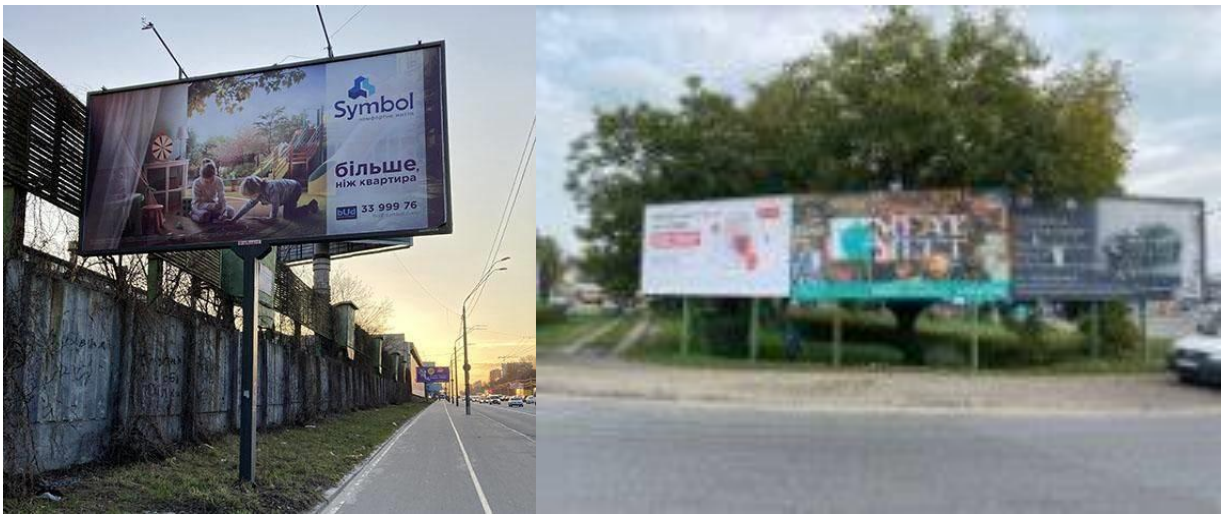


Рисунок 1.7 - Зовнішній вигляд плоских ПК



Рисунок 1.8 - Зовнішній вигляд призматичних РС

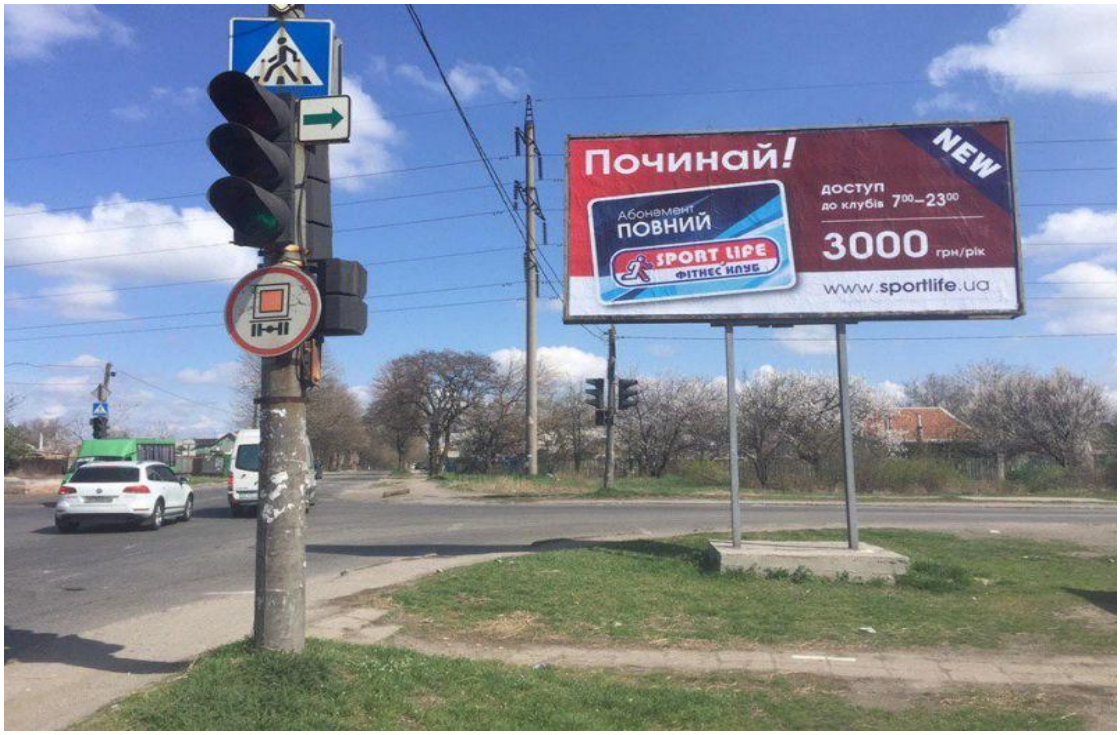


Рисунок 1.9 - Зовнішній вигляд окремого РС



Рис 1.10. Зовнішній вигляд РС, що стоїть поряд із будинком.

Разом з тим, досвід експлуатації РС свідчить про численні аварії при дії вітрового навантаження, близьке до розрахункового значення. Характер зареєстрованих руйнувань представлено на рис. 1.13 – 1.16, які можна розсортувати за найбільшою частотою появи:

- руйнування стійки (втрата несучої здатності перерізу стійки, надмірні деформації стійки) рис. 1.11, 1.12;
- - Відрив анкерних болтів рис. 1.13;
- - Перекидання щита рис. 1.14;
- - руйнування та деформації елементів щита (втрата несучої здатності перерізу елементів) рис. 1.15, 1.16.



Рисунок 1.11 -Втрата несучої здатності перерізу стійки



Рисунок 1.12 - Втрата несучої здатності по зварному шву кріплення стійки



Рисунок 1.13 - Втрата несучої здатності перерізу анкерних болтів



Рисунок 1.14 - Перекидання щита

РОЗДІЛ 2
ЧИСЛІВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

2.1 Об'єкти дослідження

Як об'єкти дослідження, розглядаються найбільш застосовувані рекламні споруди:

1. Плоскі РС, що окремо стоять, ширина - b і висота - h, яких значно більше їх товщини - a (a/b <0.1,a/h<0.1) при b≥3м і h≥3м;

2. Призматичні РС, що окремо стоять, мають в основі рівносторонні та нерівносторонні трикутники;

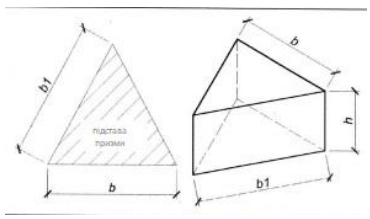
3. РС, розташовані групою, які включає схеми:

- спільного розташування 2^{-x} плоских РС зі співвідношенням сторін $\lambda = b/h = 2$;

- спільного розташування плоского РС (з $\lambda = 2$) і поруч будівлі, що стоїть.

У таблиці 2.1 наведені розглянуті в рамках даної роботи окремі плоскі і призматичні РС.

Таблиця 2.1- Окремі плоскі і призматичні РС

група	Ескіз поверхні	№ РС	параметри			Re при
плоскі		2	5	15	3	103448
		3	3.3	10	3	689655.2
		4	2	6	3	413793.1
		5	1	3	3	206896.6
		6	0.5	3	6	206896.6
		7	0.33	3	10	206896.6
		8	0.2	3	15	206896.6
		9	0.1	3	30	206896.6
призматичні		Призма №	*b*, м	*b1*,	*h*, м	U = 1 м/с
		1	6	6	3	413793.1
		2	6	9	3	413793.1 620689.7
		3	6	12	3	413793.1 827586.2
		4	6	15	3	413793.1 103448

2.2 Постановка завдання.

2.2.1 Фізична постановка задачі

При розгляді обтікання РС використовується гранична умова про непротікання, що вимагає звернення в нуль нормальної складової відносної швидкості вітрового потоку скрізь на поверхні РС, а також початкові умови при t = 0 (початковий момент часу), при цьому РС приймається абсолютно жорстким і непереміщуваним. Вітровий потік прийнятий однорідним, що не змінюється по висоті. Параметри незбуреного вітрового потоку задані (тиск, густина, швидкість). Поза РС для вітрового потоку має місце закон збереження маси, і тут справедливе рівняння нерозривності. Вихрова пелена, що утворюється за РС, рухається разом з потоком, і на пелені має виконуватися умова безперервності тисків. Це дозволяє отримати співвідношення визначення інтенсивності нестаціонарного вихрового сліду та її форми. Для визначення циркуляції в перерізах несучої поверхні використовується гіпотеза Чаплигіна - Жуковського про кінцівку швидкості на гострих кромках тіла (точки зриву потоку), що еквівалентно вимогі звернення до нуля інтенсивності приєднаного вихрового шару на них.

2.2.2 Математична постановка задачі

Обтікання РС та визначення його аеродинамічних характеристик (розподілених та інтегральних) будується у стандартній (пов'язаній) системі координат Oxyz, розташування початку якої залежить від форми РС. Обтічна поверхня РС σ, рис.2.1 описується рівнянням $\sigma(r_\sigma,t) = 0$, де r_σ - вектор-радіус точки на поверхні щодо системи координат Oxyz. До моменту часу t за РС при його обтіканні формується вихровий слід з поверхнями $\sigma(r_{\sigma p},t)(p = \overline{1,k})$ тангенціального розриву швидкості. Математична модель просторового обтікання РС будується в рамках схеми ідеальної рідини, що не стискається,

методу вихрових рамок з контрольною точкою в центрі і ліній Lp(p = $\overline{1,k}$) , що призначаються сходу вихрових пелен (місць відриву потоку). На РС у випадку діють вектори аеродинамічної сили $R_A(t)$ і аеродинамічного моменту $M_A(t)$. Форма РС у кожний момент часу t залишається незмінною та є непроникною нескінченно тонкою поверхнею.

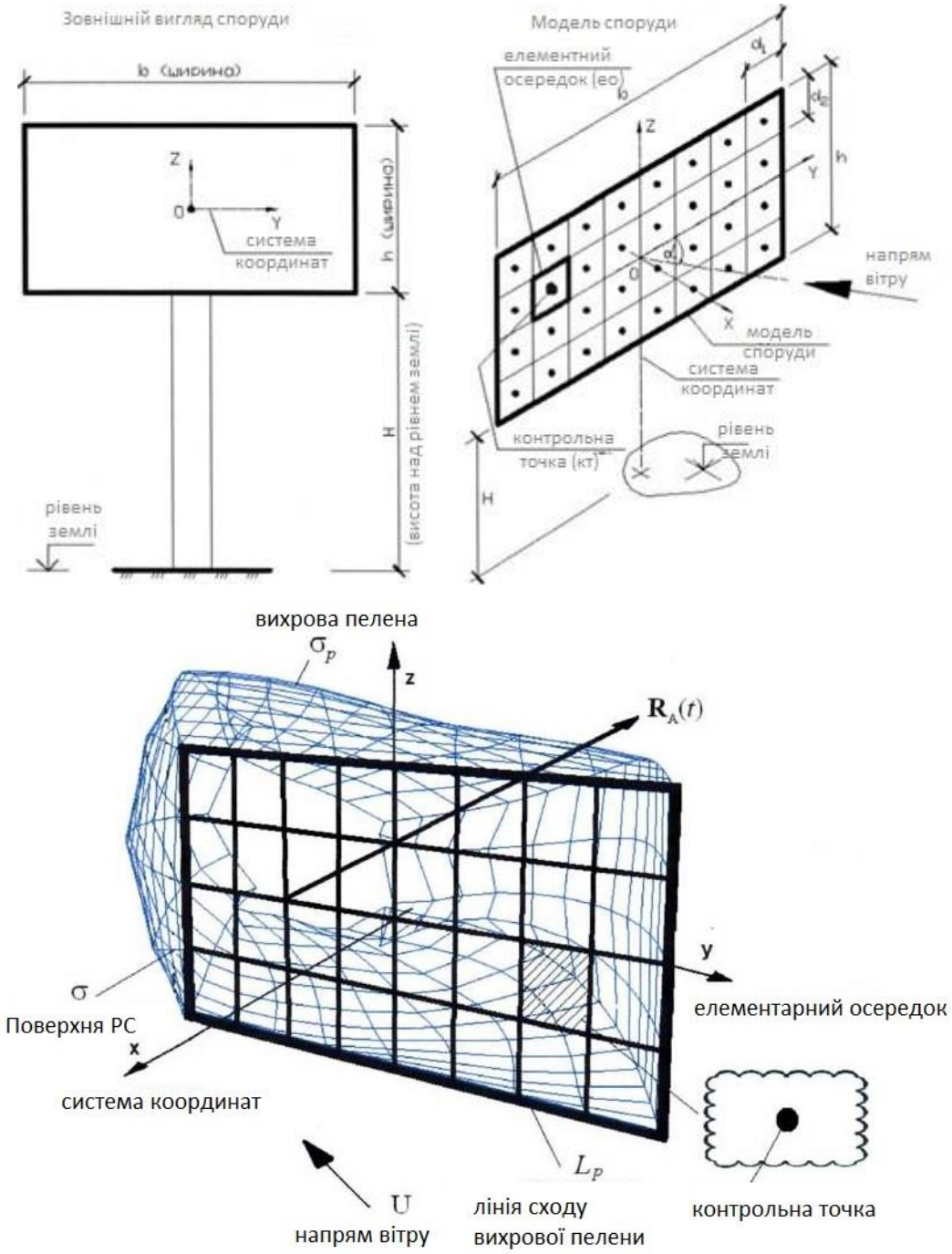


Рисунок 2.1 - Система координат; схема сходу вихрової пелени та аеродинамічні сили, що діють на РС

2.3 Технологія моделювання вітрового навантаження

2.3.1 Режим обтікання.

Як критерій режиму обтікання використовується критерій Рейнольдса (Re) [29]. Значення чисел Re для досліджуваних форм РС зі швидкістю вітру U=1м/с наведено у таблиці 2.1. Враховуючи, що для РС Re більше критичного значення, можна говорити про турбулентний режим обтікання.

2.3.2 Етапи моделювання.

Моделювання вітрового навантаження здійснюється в два етапи: на першому етапі «верифікаційному розрахунку» встановлюються параметри розрахунку, на другому «моделювання вітрового навантаження» визначаються параметри - аеродинамічні характеристики РС, схеми застосування вітрового навантаження і схеми обтікання РС потоком вітру.

2.3.3. Верифікаційний розрахунок.

Як розрахункові моделі приймалися РС з розмірами 3х30; 3х6; 3х3 метри для лобової дії вітрового потоку. При заданні параметрів розрахунку варіювалися:

Кількість елементарних осередків n. Варіювалася кількість розбиття поверхні РС на елементарні осередки з контрольними точками, в яких визначалося значення вітрового навантаження.

Крок моделювання часу. Варіювався час кроку моделювання вітрового навантаження t.

Загальний час моделювання. Варіювався загальний час моделювання експерименту T (кількість кроків t).

На підставі отриманих верифікаційних даних побудовані залежності зміни аеродинамічного коефіцієнта ce від параметрів, що варіюються (рис. 2.2

- 2.4).

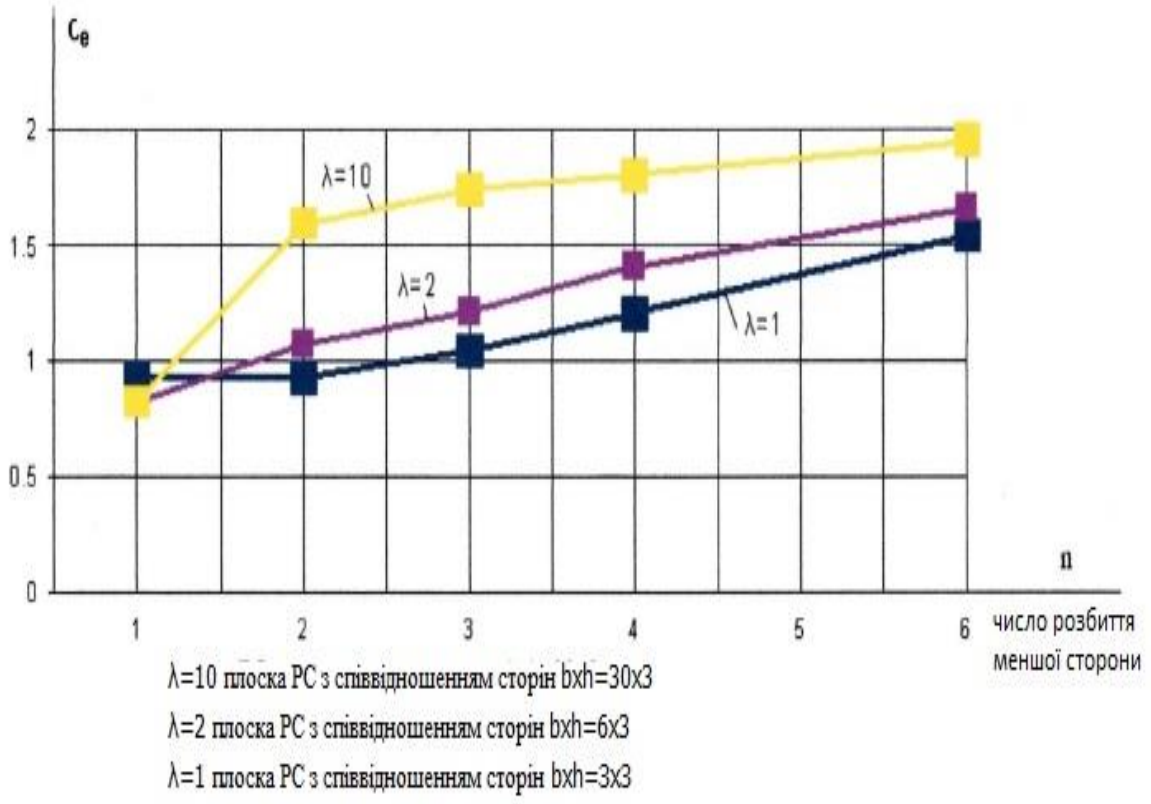


Рисунок 2.2 - Вплив кількості осередків - n на значення c_e.

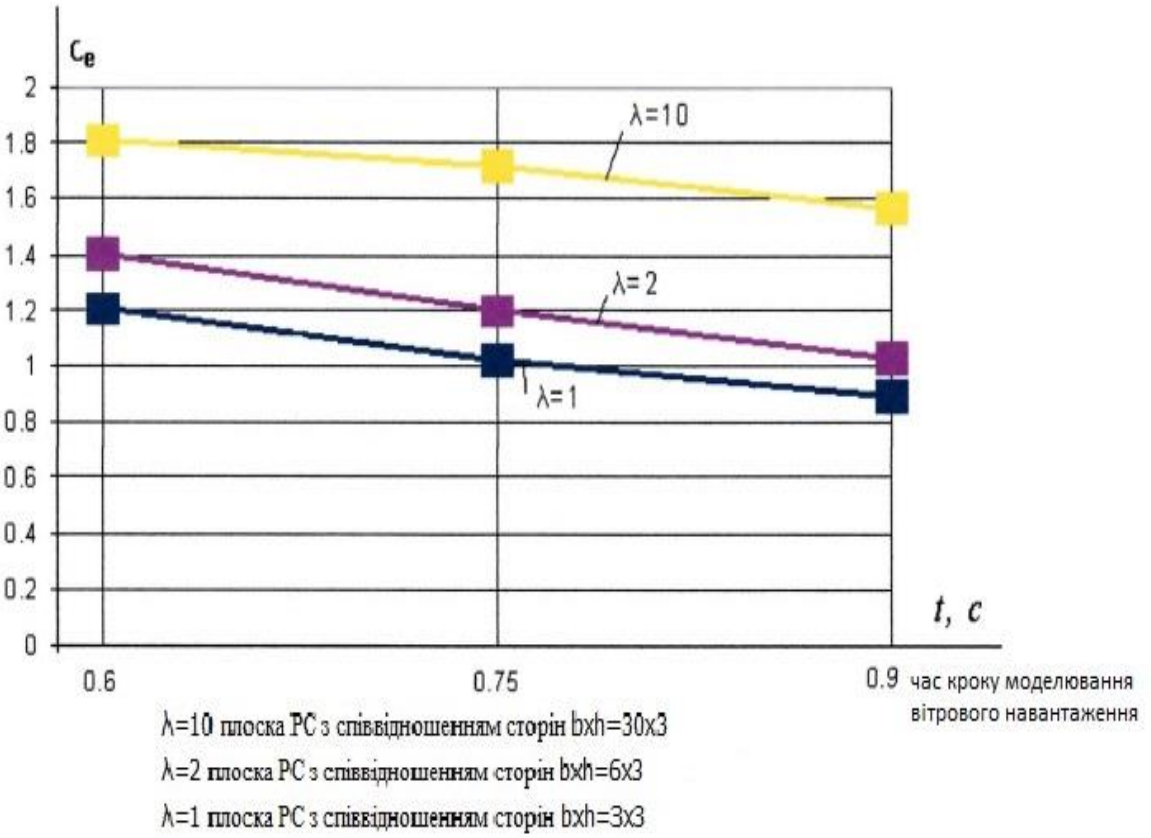


Рисунок 2.3 - Вплив часу кроку - t моделювання на значення c_e

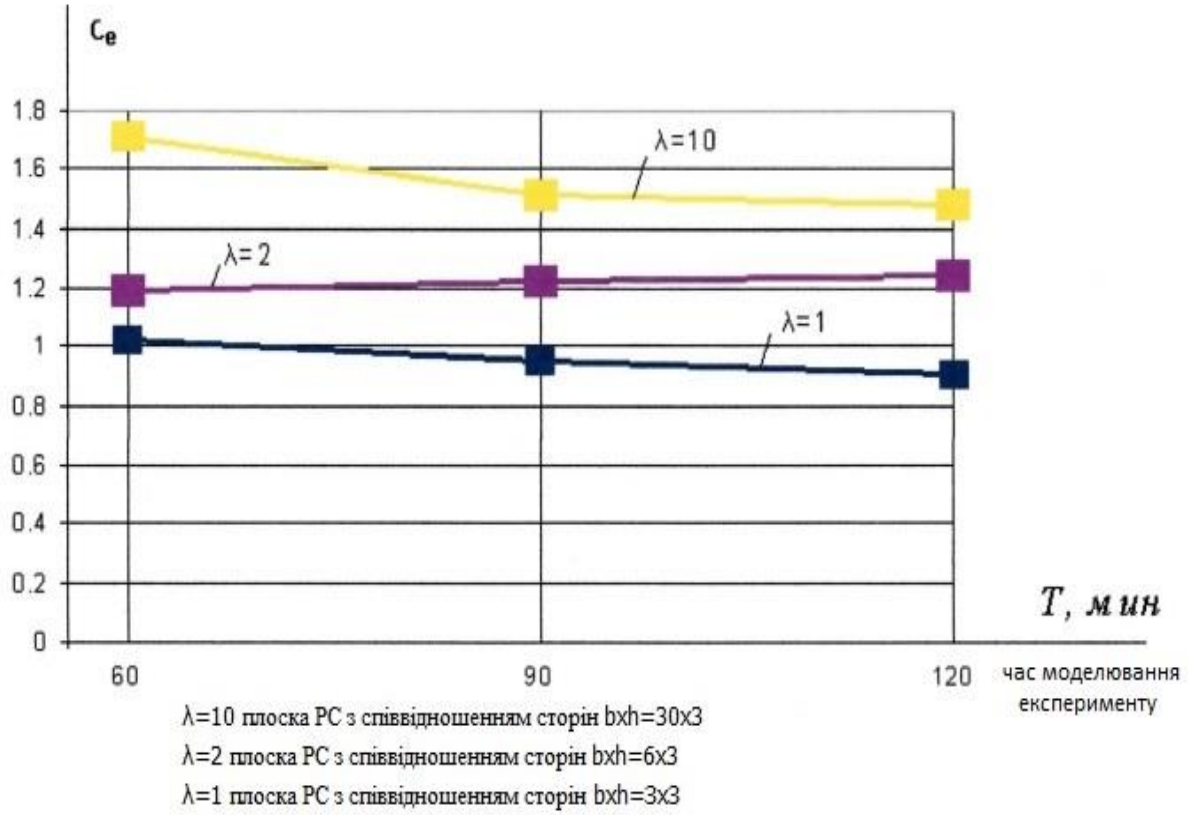


Рисунок 2.4 - Вплив часу кроку -Т моделювання на значення c_e

Для порівняння даних отриманих МДВ з експериментальними даними побудовані графіки залежності:

- співвідношення $\frac{c_e^a}{c_e}$ від кута напряму вітру а, (рис. 2.5, де c_e^a аеродинамічний коефіцієнт, що відповідає напрямку α, c_e відповідає напрямку α = 90 °);

- c_e від λ (рис 2.6)



Рисунок 2.5 - Результати порівняння c_e за МДВ та даними експерименту

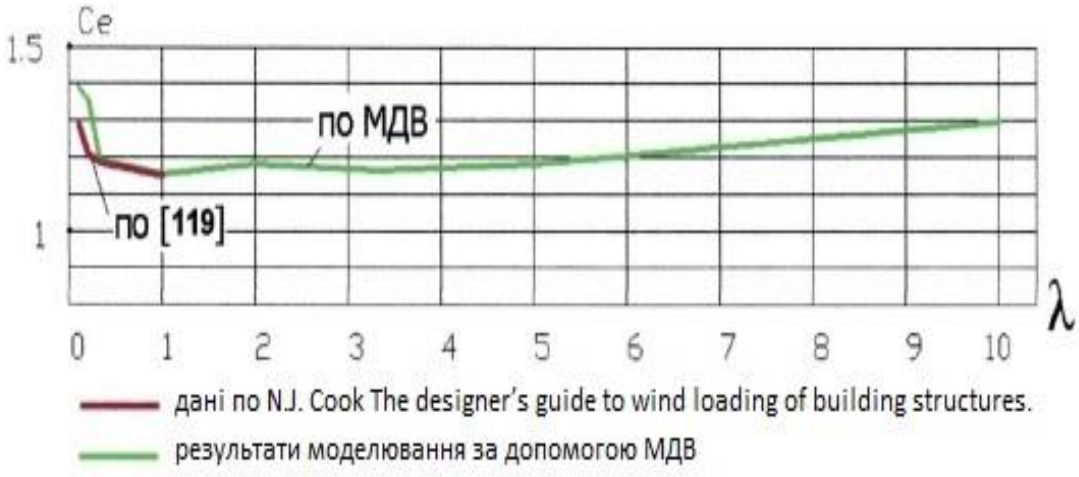


Рисунок 2.6 - Результати порівняння се залежно від Л по МДВ та даними експерименту

У таблиці 2.2 наведено порівняння значень c_e по МДВ для спорудження с λ = 2.

Таблиця 2.2 - Порівняння значень c_e

Напрям вітру α	По [44]		Порівняння c_e по [94] та МДВ	По МДВ	
	c_e	*e*	%	Ce	*e*
90	1.16	-	+ 0.5	1.165099	< 0.01b
85	1.2	-	- 1.77	1.178695	<0.01 b
80	1.22	-	-1.03	1.21255	0.028 b

b – ширина споруди; - - дані відсутні.

В результаті проведених тестових прикладів отримано рекомендовані параметри розрахунку для вирішення аналогічних завдань:

- розбиття на елементарні осередки (ЕЯ) із співвідношенням сторін близьких до одиниці та розміром 0.5-0.75 м;

- кроки за часом моделювання у безрозмірних координатах приймати рівними розміру комірки;

- кількість кроків моделювання приймати із співвідношення N = $\frac{T}{\Delta t}$ при T = (10÷15)*b;

Де: N – кількість кроків моделювання (крок); T – час моделювання всього процесу обтікання тіла (с); Δt - час одного кроку моделювання (с); b – ширина РС, (м).

2.3.4. Рекомендації щодо моделювання вітрового навантаження

Моделювання необхідно проводити відповідно до наступного алгоритму:

1. Формування геометрії моделі РС з відповідним розбиттям на комірки;
2. Завдання лінії сходу вихрової пелени з РС;
3. Введення параметрів розрахунку (часу кроку моделювання - t), (часу моделювання - T), визначених відповідно до верифікаційного розрахунку;
4. Виконання розрахунку;
5. Обробка результатів у вигляді тиску розподіленого по поверхні РС.

2.3.5. Обробка результатів моделювання.

Отримані результати чисельного моделювання вітрового навантаження наводяться для аналізу наступного виду:

- до середньої по висоті епюрі розподілу вітрового тиску поверхнею РС;
- встановлюється значення аеродинамічного коефіцієнта всього РС та координати центру тяжкості програми рівнодіючого вітрового навантаження.

Отримані результати можуть використовуватися при розрахунку РС у тривимірній моделі на прикладних ПК типу "Ліра", "Scad", "Ansys" та ін.

2.4 Числіве моделювання вітрового навантаження по поверхні рекламних споруд методом дискретних вихорів

2.4.1Окремо стоячі плоскі РС

Зовнішній вигляд та розрахункова модель плоского РС представлена на рис. 2.7.

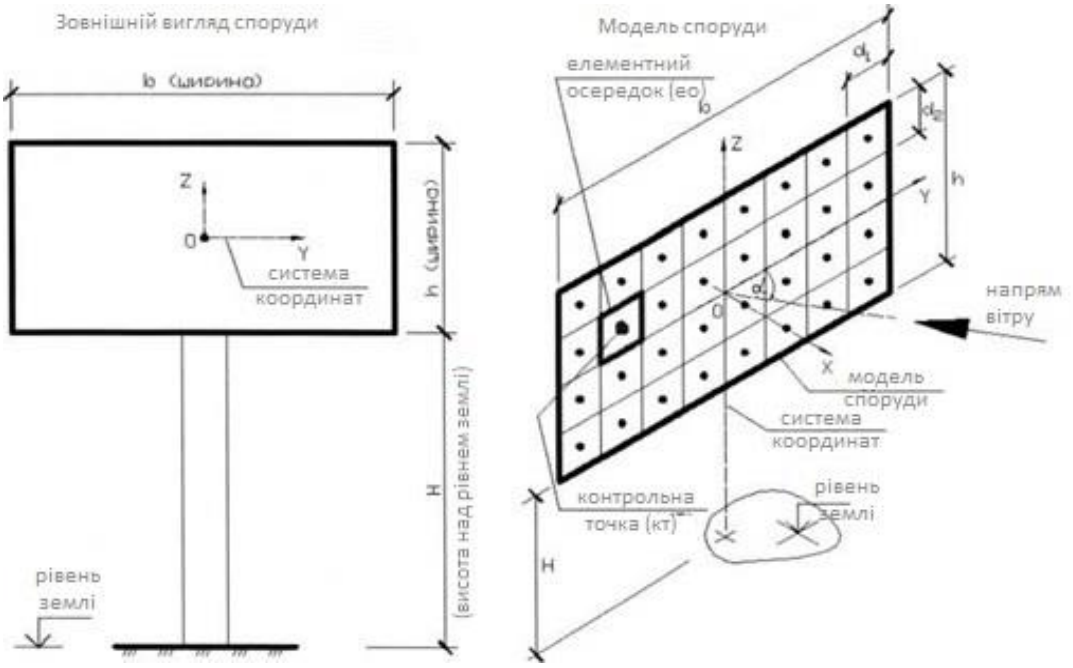


Рисунок 2.7 - Зовнішній вигляд та розрахункова модель плоского РС.

Для аналізу отримані дані наводяться до характеристик: - аеродинамічний коефіцієнт всього РС, одержуваний як середнє значення аеродинамічних коефіцієнтів сп елементарних осередків:

$$c_e = \frac{\sum_i^k c_n}{k}, \qquad (2.1)$$

к - кількість елементарних осередків;

- відносний ексцентриситет e_a докладання рівнодіючого вітрового навантаження по ширині b рекламної поверхні РС:

(2.2)

$$e_a = \frac{e}{b} \quad (2.2)$$

e - ексцентриситет програми рівнодіючого вітрового навантаження щодо центру рекламної поверхні РС.

Як результати моделювання для плоских РС зі співвідношенням сторін в інтервалі $0.1 < \lambda < 10$ розглядаються схема обтікання, зміна c_e і e_a в залежності від напрямку вітру α.

Розглянуті РС відноситься до споруд з поганообтічною формою і мають фіксовані положення відриву вихрової пелени, яка розташована по периметру РС. Чисельне моделювання вітрового навантаження візуалізує нестаціонарний характер руху повітря (вітру), що реалізується біля РС за класифікацією [6]: відривне з кромок і безвідривне (плавне) перетікання вздовж кромок РС.

Так, при напрямку вітру α = 90° (лобовий напрямок) на завітряній стороні створюються вихрові утворення, розташовані біля граней РС з періодичним відривом і створенням несиметричного супутнього вихрового сліду (доріжка Кишені). При зміні напряму вітрового навантаження від α = 90 ° до α ≈ 40° - 50° відбувається збільшення періоду відриву супутнього сліду зі зміною його форми - у передній грані відбувається збільшення вихрових утворень та їхнє зменшення у задній. При α ≈ 40° - 50° становище вихрових утворень зміщується у напрямку вітру отже на задній грані, вихрові утворення перебувають із боку РС, і з передньої на завітряній стороні РС. З горизонтальних граней утворюється перетікання вітру до задньої грані завітряної боку. Зміна напряму вітру від α ≈ 40° - 50° до α = 0 ° зменшує розмір вихрових утворень з передньої та задньої граней зі збільшенням зони перетікання. У цьому збільшується період відриву супутнього сліду. Необхідно відзначити, що збільшення ширини РС зменшує вплив вихрових утворень один на одного і відповідно на значення c_e і e_a.

Характер зміни середніх характеристик c_e і e_a для плоских РС з $0.1 < \lambda < 10$ залежно від наведені на рис. 2.8 і 2.9.

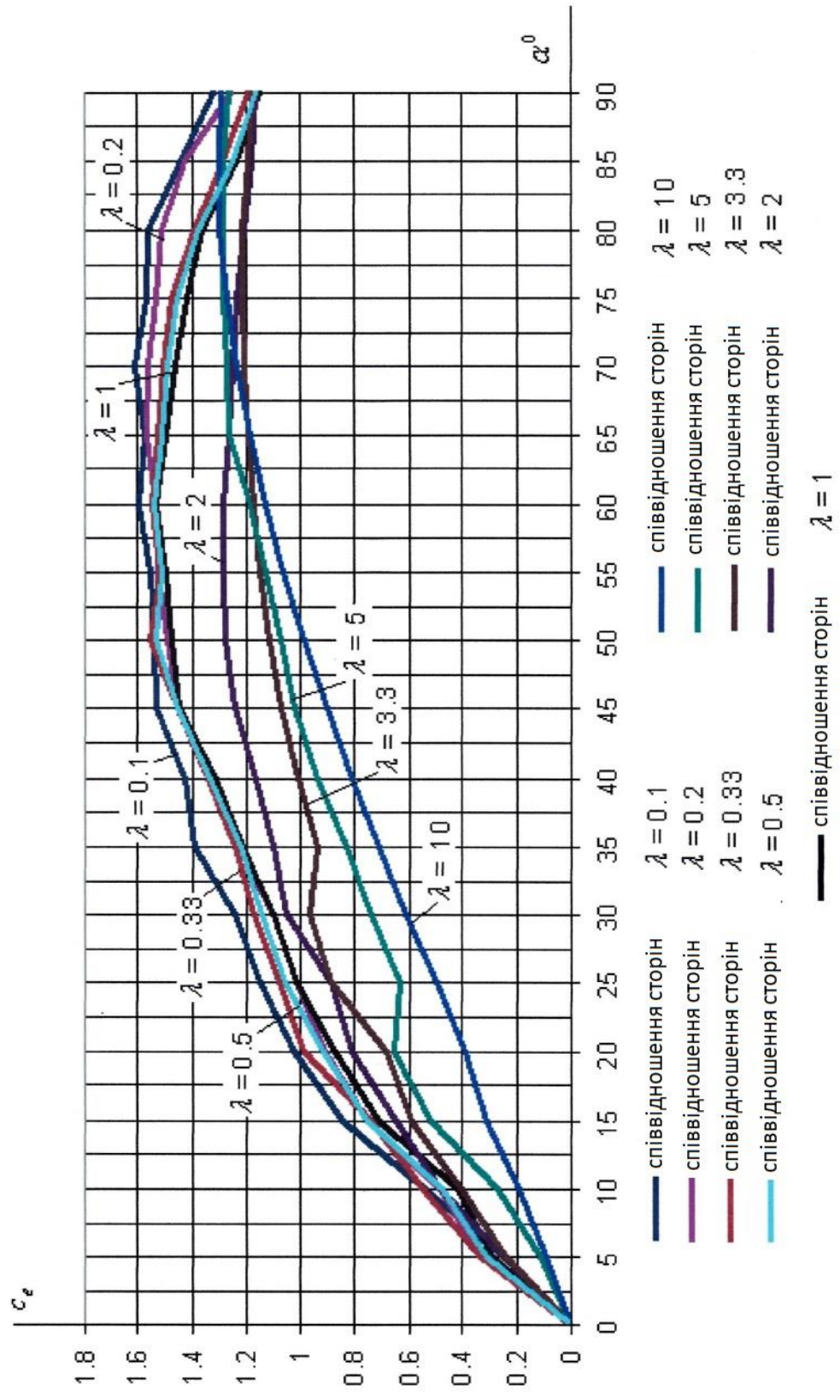


Рисунок 2.8 - Зміна c_e в залежності від α для РС зі співвідношенням сторін $0.1 \leq \alpha = \frac{b}{h} \leq 10$.

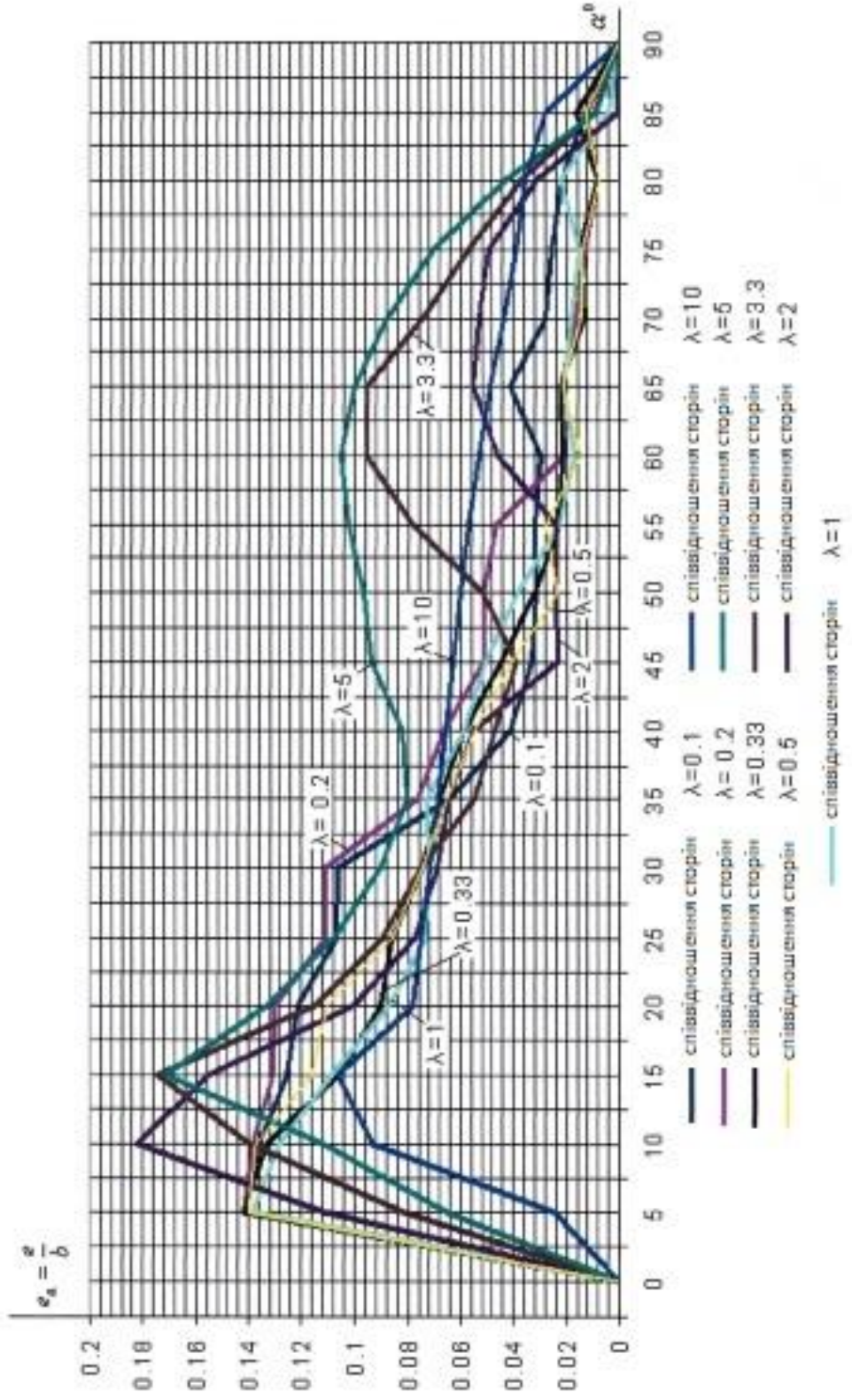


Рисунок 2.9 - Зміна $e_{a=}\frac{e}{b}$ в залежності від α для РС зі співвідношенням сторін $0.1 \leq \alpha = \frac{b}{h} \leq 10$.

Із графіків, наведених на рис. 2.8 і 2.9 добре видно, що значення c_e для РС з $\lambda \leq 1$ збільшується зі зменшенням α до значення $\alpha \approx 45°$, для РС $\lambda \geq 10$ відбувається зменшення значення c_e із зменшенням α, для РС з $1 < \lambda < 10$ значення c_e має проміжне положення. Зміна ексцентриситету докладання рівнодіючого вітрового навантаження еа має дві характерні залежності при зміні а від лобового $\alpha = 90°$ до поздовжнього $\alpha = 0°$: а - плавне зростання значення e_a до значення $\alpha = 10° \div 15°$ для РС з $\lambda < 0.1$ і $10 < \lambda$ (один пік); б - плавне зростання значення еа до значення " = 60 ° ÷70 ° зі зменшенням еа при " = 30 ° ÷40 ° і збільшенням при $\alpha = 5° \div 15°$ для РС з $0.1 < \lambda < 10$ (два піку). Отримані залежності пояснюються характером обтікання РС залежно від співвідношення сторін λ та зміни α. З аналізу характеру обтікання випливає, що основний внесок се становить відривне обтікання з першою за напрямом вітру грані РС. При цьому, для РС з $\lambda < 0.1$ відривні течії з боків істотно впливають один на одного, збільшуючи при цьому значення c_e, зі збільшенням λ взаємний вплив відривних течій зменшується і відповідно зменшується c_e при зменшенні α.

Також розглянуто вплив зміни висоти РС від рівня землі Н на значення c_e на прикладі РС с $\lambda = 2$ (рис. 2.10). Характер зміни се при Н, що змінюються, наведено на рис.2.11.

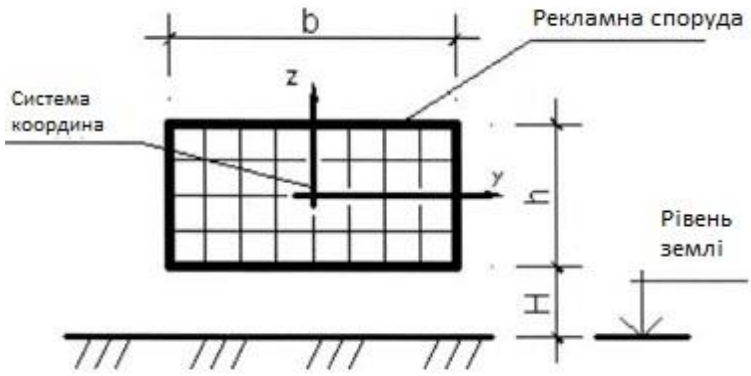


Рисунок 2.10 -Зовнішній вигляд РС, що переміщується на висоту Н від рівня землі.

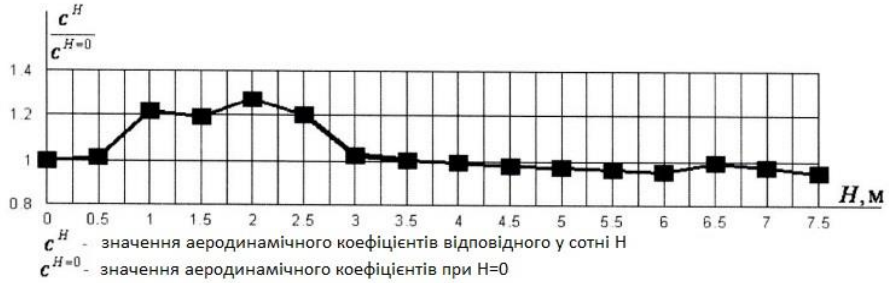


Рисунок 2.11 - Зміна c_e залежно від положення РС щодо Н

Залежність 2.11 виявляє збільшення значення c_e в інтервалі О < Н ≤3 м. Це пояснюється впливом додаткового розрядження тиску на завітряній стороні РС у нижній, ближній до рівня землі, грані. При збільшенні зазору в інтервалі 0 < Н ≤ 3 м збільшується локальна швидкість вітру в області нижньої грані і відбувається збільшення інтенсивності вихрового обтікання з боку нижньої грані, яке збільшує значення c_e. При величині зазору більше Зм збільшення локальної швидкості вітру в зазорі незначно і істотного впливу на значення сс воно не надає.

За результатами моделювання (рис. 2.8-2.9, 2.11) можна зробити висновок:

- значення і еа істотно залежать від співвідношення сторін РП - λ і напрямки вітрового навантаження - α;

- суттєве, до 40%, збільшення c_e при α ≈45° і збільшення e_a до значення 0.15 в області 5 ° <α<30 ° для РС з 2 <5, відбувається за рахунок взаємного впливу відривного обтікання вітрового потоку з бічних граней РС;

- зменшення се і збільшення e_a до значення 0.2 в області 5° < α < 40° і до значення 0.1 в області 50° < α <80° при зменшенні α для РС з λ>5 відбувається за рахунок збільшення частки потоку вітру, що перетікає по горизонтальних гранях, і зменшення вкладу відривного обтікання з задньої грані РС.

- рекомендується встановлювати РС на землю або на висоту не менше 3 м для вільного перетікання повітря вздовж нижньої кромки.

2.4.2 Окремо стоячі призматичні РС

Зовнішній вигляд та модель призматичного РС представлена на рис. 2.12.

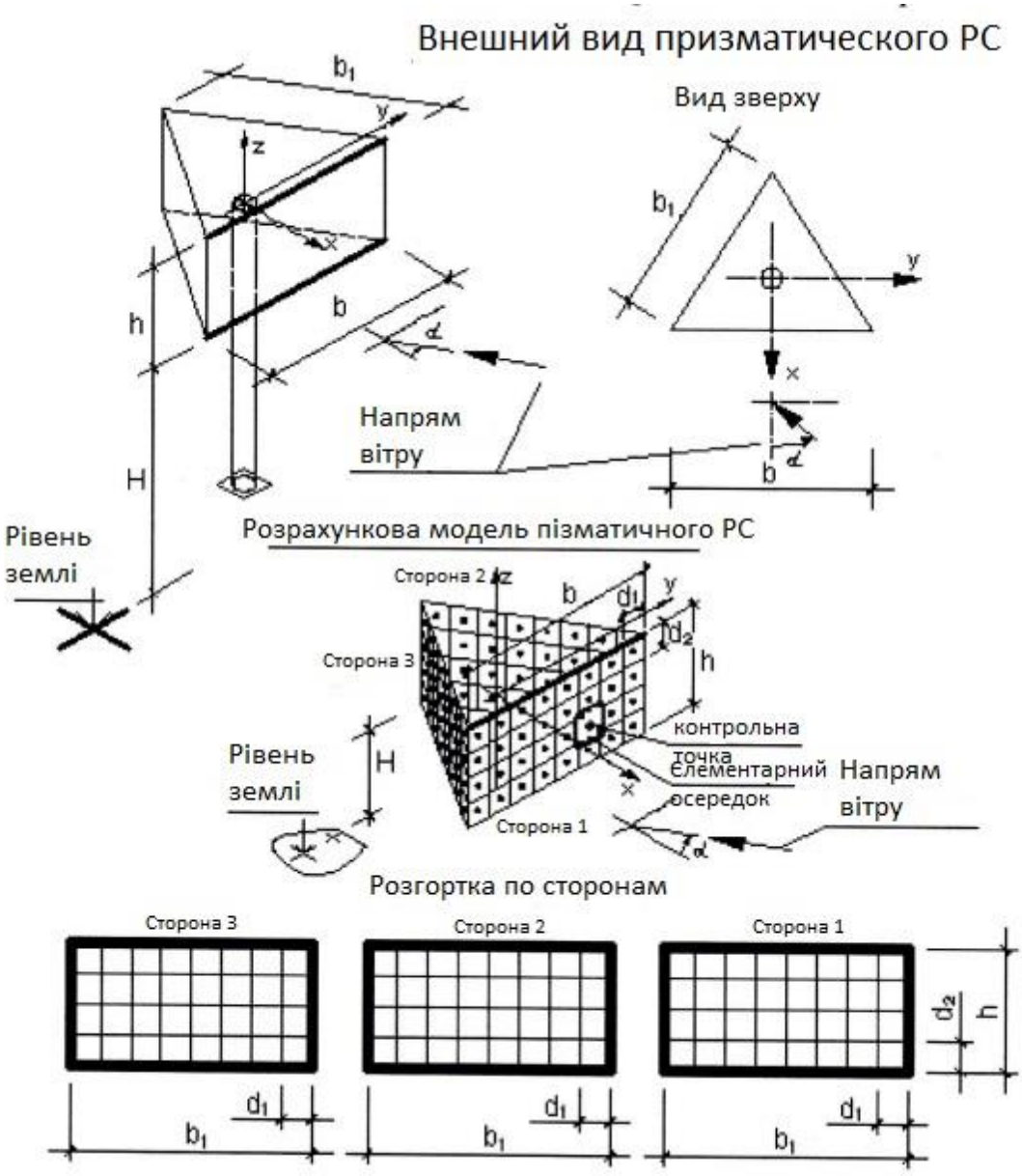


Рисунок 2.12 - Зовнішній вигляд та розрахункова модель призматичної споруди.

При моделюванні використовуються зв'язкова ХОУ та швидкісна та $X_1O_1Y_1$ системи координат (рис. 2.13):

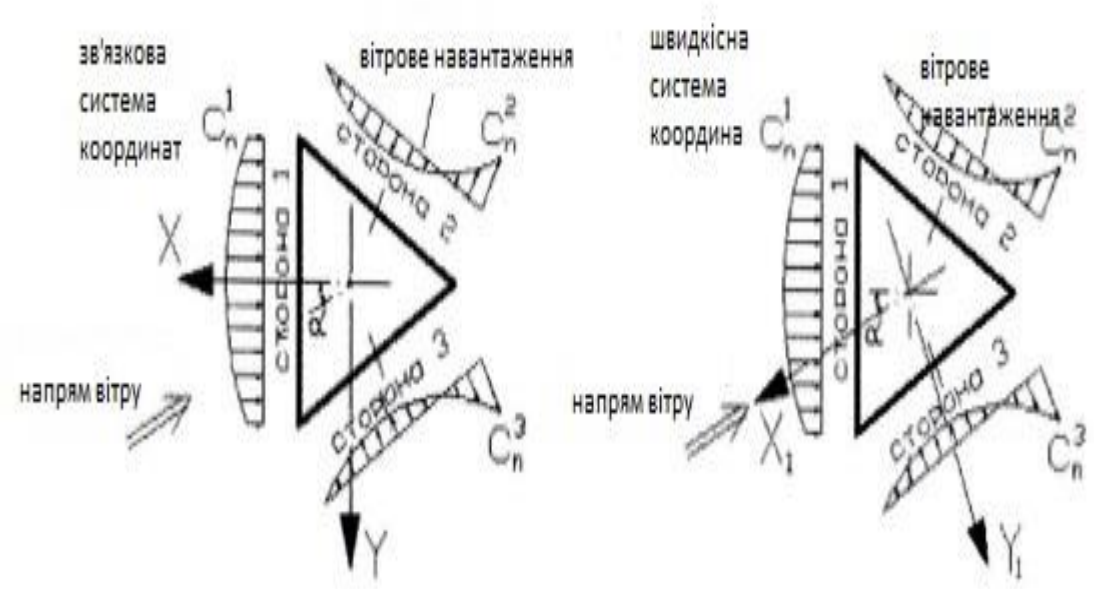
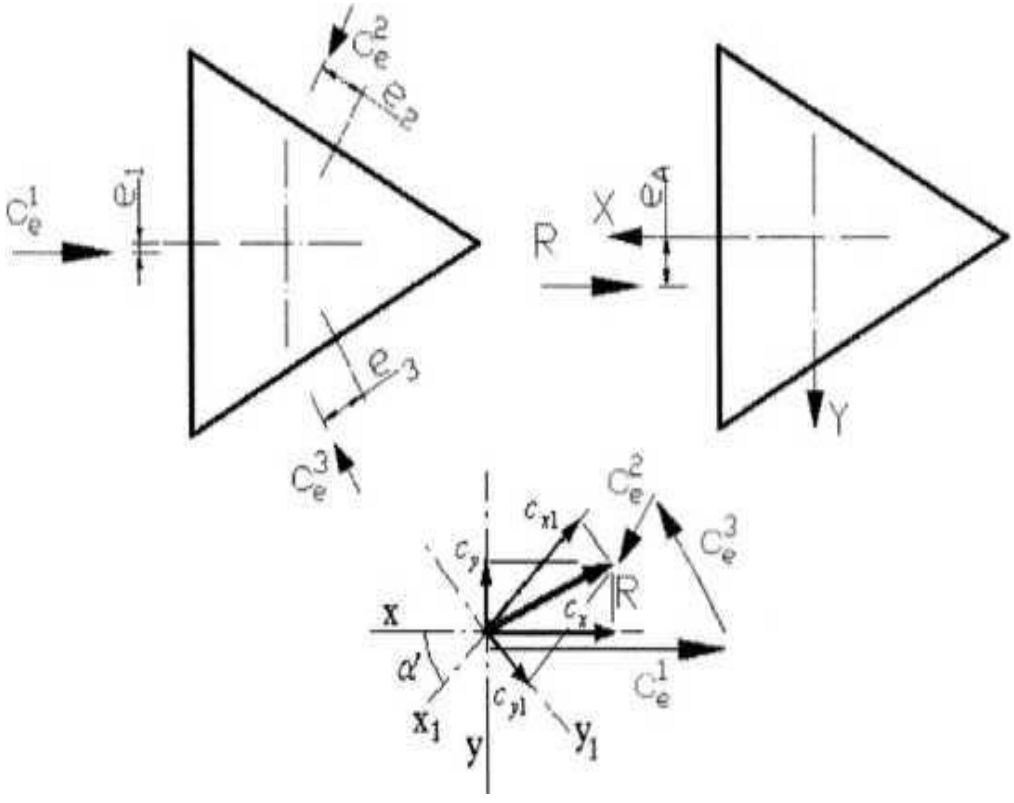


Рисунок 2.13 - Зв'язкова та швидкісна системи координат

Для аналізу моделювання вітрового навантаження на призматичні РС отримані результати наводяться до характеристик:

- аеродинамічні коефіцієнти cx і cy для РС у зв'язковий і швидкісний системах координат, одержувані за умовою :



c_e^1 - аеродинамічний коефіцієнт за 1 РС;

c_x і c_y - аеродинамічний коефіцієнт у напрямку Х і У всього РС у зв'язковій системі координат ХОУ;

c_{x1} і c_{y1} - аеродинамічний коефіцієнт у напрямку ^/ і У/ всього РС у швидкісній системі координат $X_1O_1У_1$,

- відносний ексцентриситет її додатку рівнодіючого вітрового навантаження, що отримується з умови 2.4.

$$e_a = \frac{e}{b},\ e = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{Q} \quad (2.4)$$

b - ширина рекламної поверхні РС на стороні 1;

M_1 - момент кручення, що виникає від вітрового навантаження на стороні 1 РС;

Q – сумарна сила від вітрового навантаження, що діє на РС;

e - ексцентриситет центру тяжкості епюри сумарного вітрового навантаження.

Розглянуті РС відноситься до споруд з поганообтічною формою і мають фіксоване положення відриву вихрової пелени, яка розташована за межами РС. Чисельне моделювання вітрового навантаження візуалізує характер руху повітря (вітру), що реалізується біля РС за класифікацією [6]: відривне з кромок і безвідривне (плавне) вздовж кромок РС.

При моделюванні вітрового навантаження на призматичні РС, що розглядаються, можна виділити дві схеми обтікання для РС з рівносторонніми (призму 1 по таблиці 2.1) і рівнобедреними (призму 2, 3, 4 по таблиці 2.1) трикутними основами. Так, для призми 1 при напрямі вітру α = 0° з передніх граней 1 і 3 відбувається відрив вітрового потоку і симетричне вихрове обтікання на завітряних сторонах. При зміні напряму вітрового навантаження від α = 0 ° до α = 20 ° відбувається зменшення у грані 1 і збільшення у межі 3 величини відривного обтікання.

При «α = 25 °÷30 ° відрив потоку відбувається по всіх гранях РС з максимальним значенням у межі 3. Наступна зміна створює відрив потоку на задніх гранях 2 і 3, з вирівнюванням величини відривного обтікання, яке здійснюється при α = 60 °. Оскільки основа призматичного РС - рівносторонній трикутник, наступні зміни симетричні щодо напряму α = 60°. Подібна картина й у призм 2-4. При α = 0 ° на завітряних сторонах за гранями 1 і 3 створюється симетрична схема відривного обтікання.

Зміна напряму вітру від α = 0 ° до α = 5 ° -15 ° створює відрив вітрового потоку по всіх гранях РС. При α≈50° -60° реалізується схема обтікання з відривними течіями з граней 2 і 3. Збільшення а змінює схему обтікання - виникає відривне обтікання і його збільшення з грані 1 в бік грані 3 до α = 90° -100°, при якому реалізується схема відривного обтікання з гра. обтікання з грані 2. При α= 150°-160° реалізується схема відривного течії з усіх граней РС. Зміна напрямку вітру до α = 180 ° створює відривне симетричне обтікання з граней 1 і 3.

Як результати моделювання для призматичних РС розглядається зміна аеродинамічних коефіцієнтів c_x, c_y і відносного ексцентриситету еа при зміні напряму вітру α.

Характер зміни c_x, c_y, c_{x1}, c_{y1} та e_a наведені на рис. 2.14 – 2.18. Позначення, прийняті на малюнках наведено у таблиці 2.1.

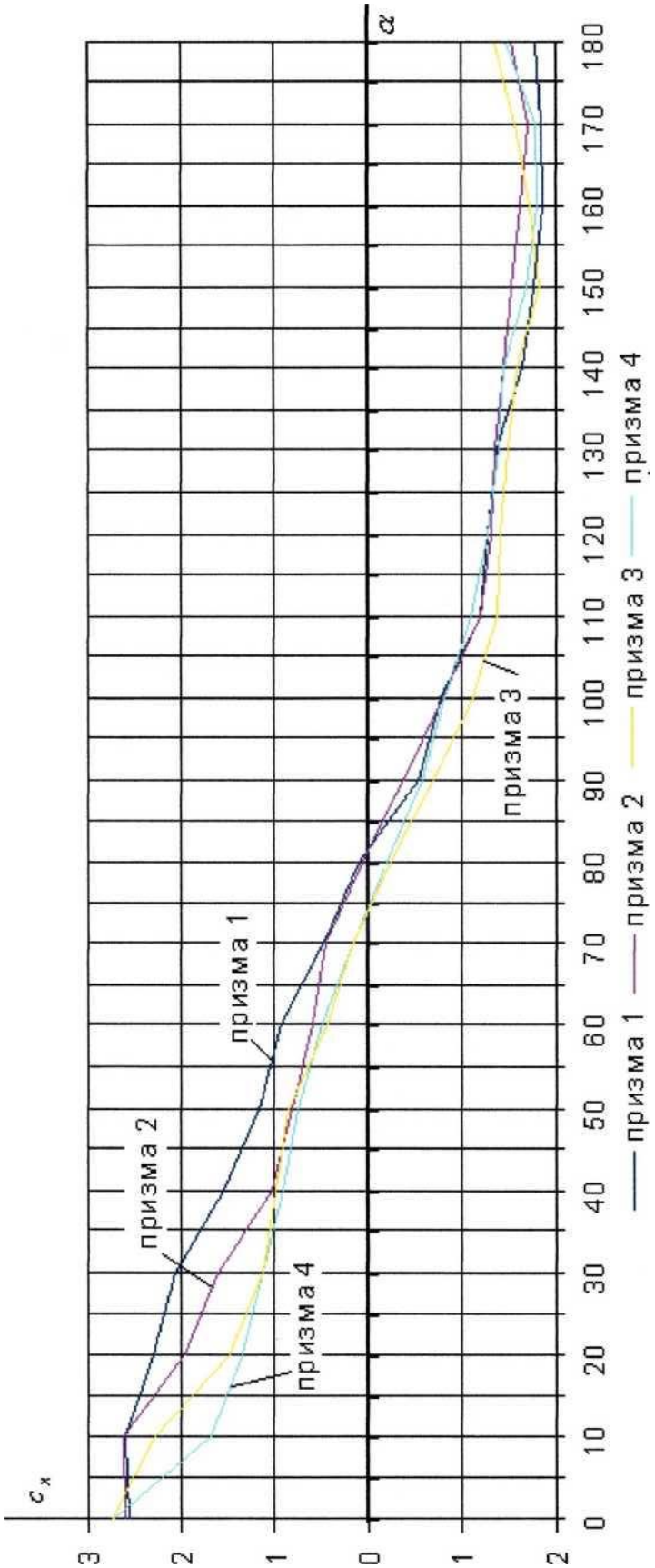


Рисунок 2.14 - Зміна сх залежно від а для призматичних РС у зв'язковій системі координат.

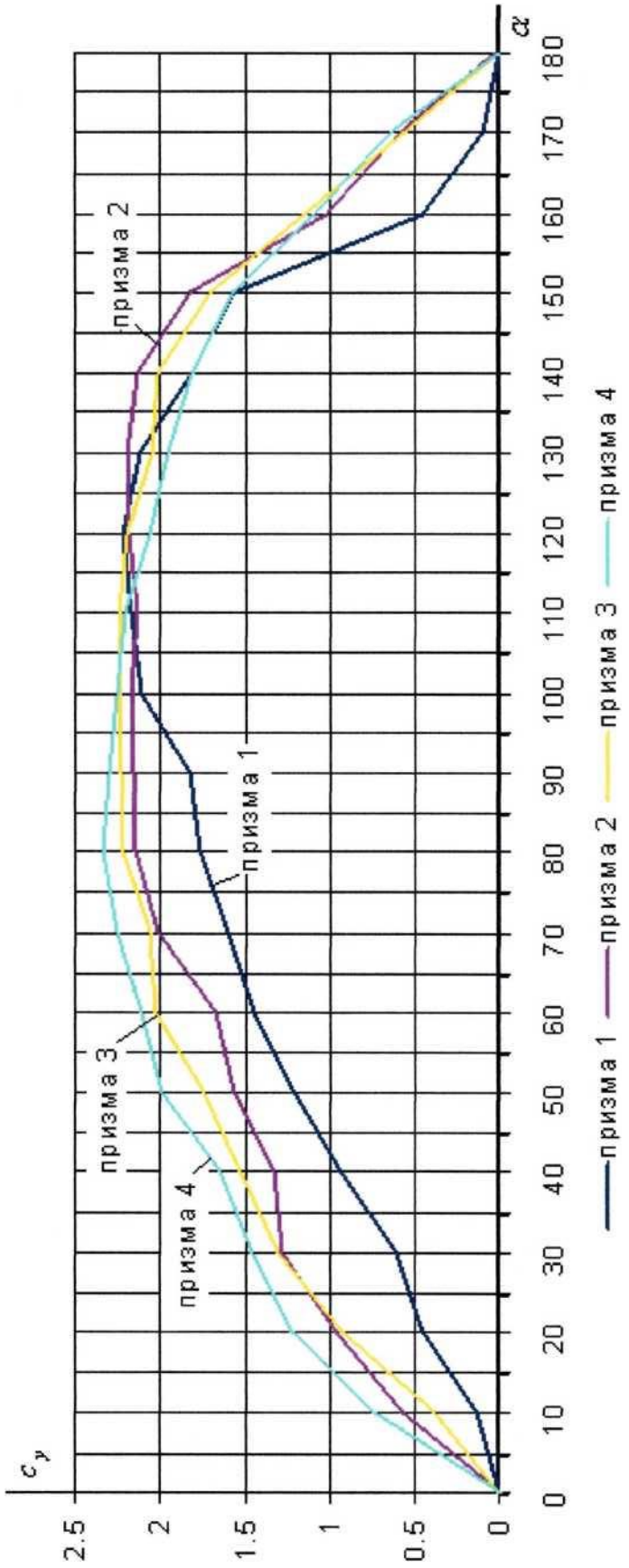


Рисунок 2.15 - Зміна c_y залежно від а для призматичних РС у зв'язковій системі координат.

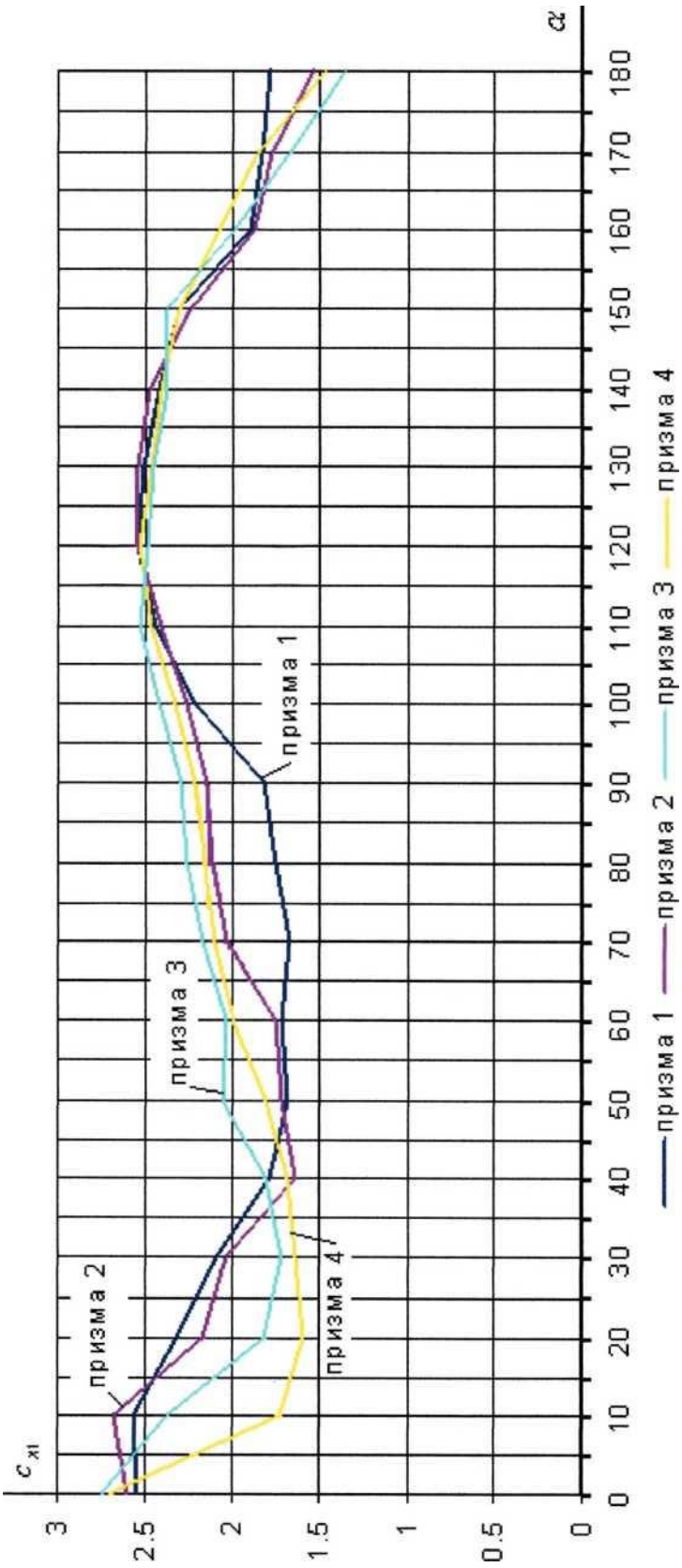


Рисунок 2.16 - Зміна cx1 залежно від a для призматичних РС у швидкісній системі координат.

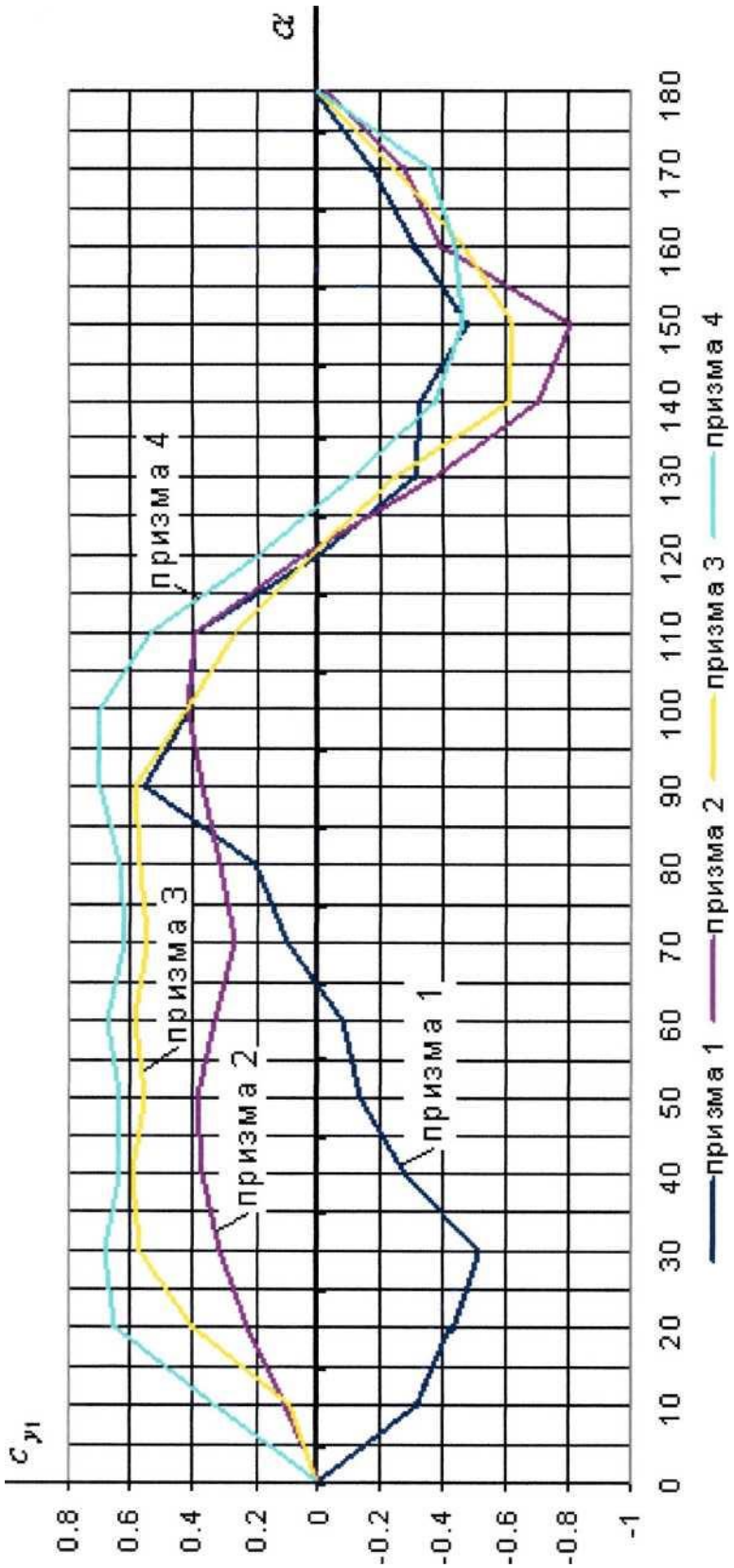


Рисунок 2.17 - Зміна c_{yl} залежно від а для призматичних РС у швидкісній системі координат.

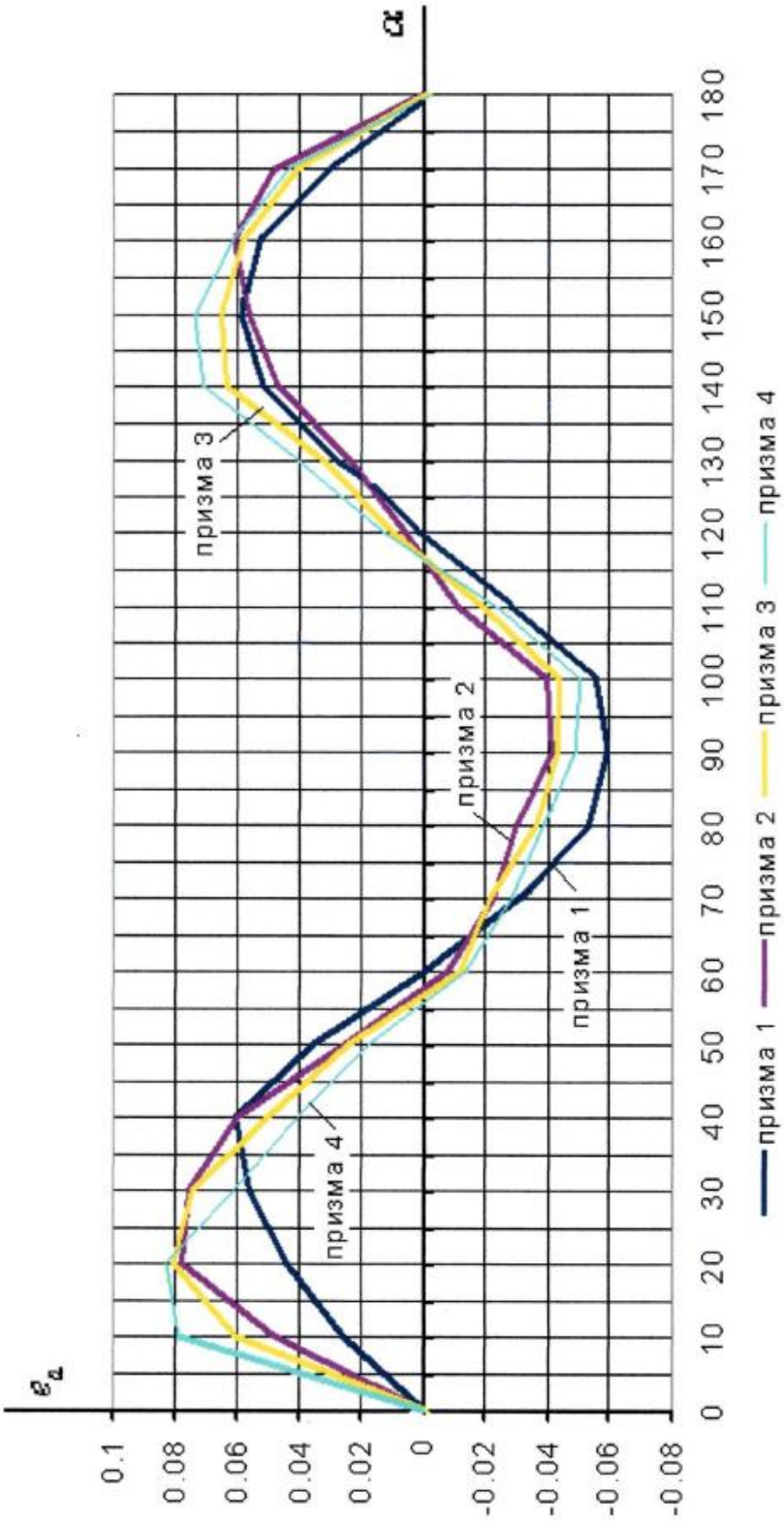


Рисунок 2.18 - Зміна e_a в залежності від а для призматичних РС

З результатів моделювання видно, що основний внесок у структуру аеродинамічних характеристик призматичних РС вносять відривні течії по їх межах, що добре виражено на характеристиках c_{x1}, c_{y1} і e_a, які змінюються відповідно до схеми обтікання. Аналіз графіків 2.14-2.18 показує, що зміна форми аналізованих РС (призми 1-4) впливає значення c_x, c_y, c_{x1}, c_{y1} і e_a при напрямку вітру α = 0°÷110° і становить максимальне значення при напрямі вітру вздовж довгої грані РС (α= 10 °÷30 °) зі збільшенням в межах 10%. З графіків 2.14, 2.15, 2.18 випливає, що максимальні значення c_x відповідають напрямку α = 0 °, максимальні значення c_y відповідають напрямку α = 100 ° - 110 °, максимальні значення еа відповідають напрямку α = 10 ° -30 °.

За результатами моделювання (рис. 2.14-2.18) можна зробити такі висновки:

- за співвідношенням сторін основ і напрямки вітрового навантаження α, для розглянутих типів призматичних РС можна виділити дві схеми обтікання - для рівносторонніх (призма 1) та рівнобедрених (призма 2, 3, 4) у плані трикутників;

- dплив зміни співвідношення сторін для розглянутих типів призматичних РС на зміну аеродинамічних характеристик незначно і досягає для розглянутих типів призматичних РС величину - 10%;

- максимальні значення аеродинамічних характеристик відповідають напрямкам вітру: для рівносторонніх - c_x=2.5 при α = 0°, c_y =2.1 при α = 100°, $c_e = \sqrt{c_x^2 + c_y^2}$ =2.5 при α = 0° і α = 120°, e_a=0.06 при α = 3; для рівнобедрених - c_x = 2.7 при α = 0 °, c_y = 2.3 при α = 100 ° -110 ° (перпендикулярно довгій стороні), $c_e = \sqrt{c_x^2 + c_y^2}$ =2.7 при α = 0°, e_a= 0.06b при α = 10° -20° (напрямок вітру вздовж довгої сторони).

2.4.3 РС розташовані групою.

Розглядаються такі схеми РС розташовані групою:

Схема 1.

Як перша схема два плоских РС розміром 3х6 метрів (λ = 2), розташованих в однійплощині на відстані, що варіюється,α один від одного (см. рис. 2.19).

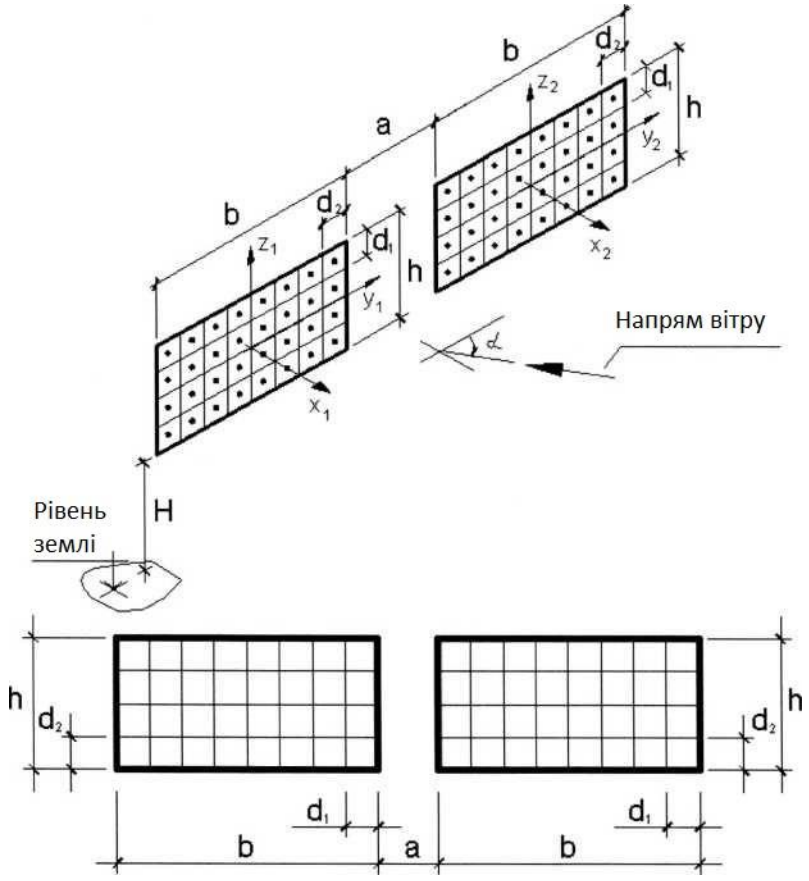


Рисунок 2.19 -Два плоских РС с λ = 2 розташовані на відстані α один від одного

Для оцінки результатів моделювання РС, розташованих групою за схемою 1 проводиться порівняння аеродинамічних характеристик з аналогічними значеннями для РС, що стоїть окремо:

- значення аеродинамічних коефіцієнтів c_{e1} і c_{e2} для кожного зі щитів у

зв'язковій системі координат ХОУ при зміні α;

- зміна ексцентриситетів програми рівнодіючого вітрового навантаження e_l і e_2 для кожного РС при зміні α.

Розглянуті РС відноситься до споруд з поганообтічною формою і мають фіксовані положення відриву вихрової пелени, яка розташована по периметру РС. Чисельне моделювання вітрового навантаження візуалізує нестаціонарний характер руху повітря (вітру), що реалізується біля РС за класифікацією [6]: відривне з кромок і безвідривне (плавне) перетікання вздовж кромок РС.

При напрямку вітру α= 90° (лобовий напрям) на завітряній стороні створюються вихрові утворення розташовані біля граней РС з періодичним відривом від внутрішніх суміжних і зовнішніх граней РС1 і РС2 несиметричного супутнього вихрового сліду (доріжка Кишені). При зменшення кута напрямку вітрового навантаження відбувається зміщення відривного обтікання у напрямку потоку і створенням вихрових утворень на завітряній поверхні РС1 і РС2. При деякому критичному значенні а, що залежить від відстані між РС - а РС2 потрапляє в зону впливу відривних течій з РС1.

Характер зміни середніх характеристик (c_{e1}, c_{e2}, e_l і e_2) для РС, розташованих групою з відривом а зі значенням аналогічних (се і еа) для окремого РС з λ = 2 (рис. 2.8 і 2.9) залежно від напрямку вітрової навантаження ос наведені на рис. 2.21.

Результати аналізу чисельного моделювання і порівняння зазначених характеристик (c_{e1}, c_{e2}, e_l і e_2) зі значенням аналогічних (c_e і e_a) для окремого РС з λ = 2 (рис. 2.8 і 2.9) дозволяють виділити характерні зони (рис. 2.20) збільшення c_{e1}, c_{e2} на величини $k_1 = c_{e1}/c_e$, $k_1 = c_{e1}/c_e$ і зміщення значень e_l і e_2 залежно від відстані а та напрямки вітрового навантаження ос :

-Зона А: (при $0 \leq a \leq 0.5xb$ і $90° \geq a \geq aA = 60°$, α_A - критичний напрям

вітру дії зони А) збільшення c_e до 10% ($k_1 = k_2 = 1.1$) і еа до 0.1 для РС1 і РС2, щодо значень окремо стоїть РС. Зміна c_e залежно від відстані - має лінійний характер.

- Зона В: (при 0.5х6 <a≤6 і 90°≥ α>≥ $\alpha_в$, $\alpha_в$ - критичний напрям вітру дії зони В, має змінне значення в інтервалі $90 \geq \alpha_в \geq 60$) збільшення c_e до 5% $k_1 = k_2 = 1.05$) без зміни еа для РС1 і РС2 щодо значень. Зміна c_e в залежності від відстані між РС-а має лінійний характер.

- Зона С: значення C_e і e_a для першого за напрямом потоку РС (РС1) відповідають аеродинамічних характеристик окремого РС, а для другого РС (РС2) спостерігається різке падіння c_e до нульового значення і зростання e_a до значення $e_a \approx 0.35$.

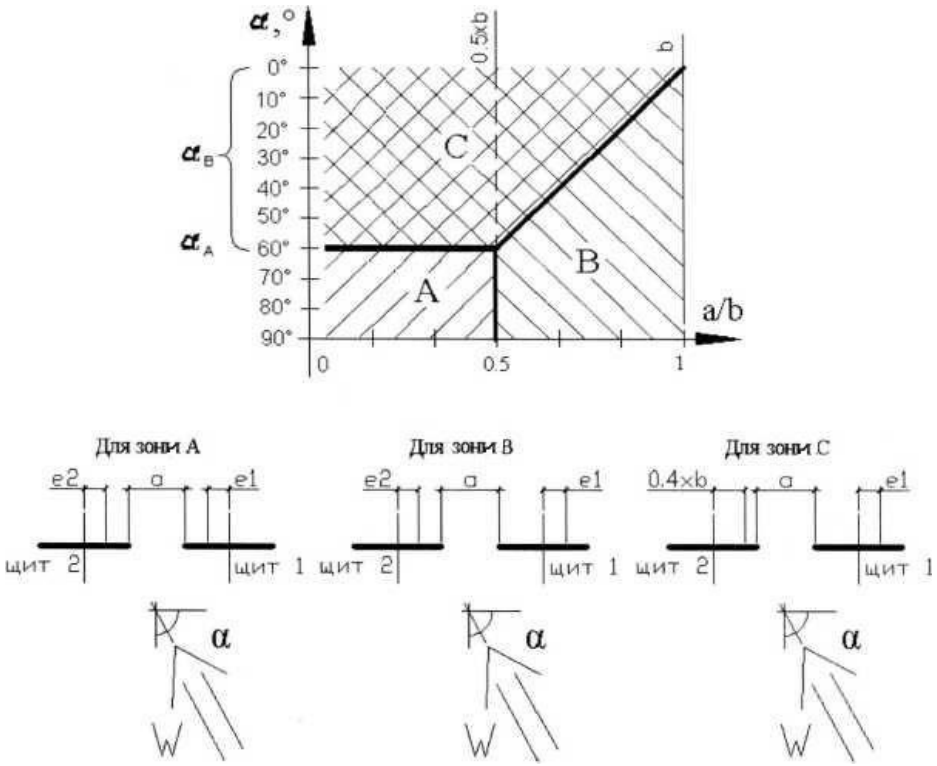


Рисунок 2.20 - Положення зон зміна c_{e1}, c_{e2} і e_1, e_2, для двох плоских РС з $\lambda = 2$ розташованих з відривом а друг від друга.

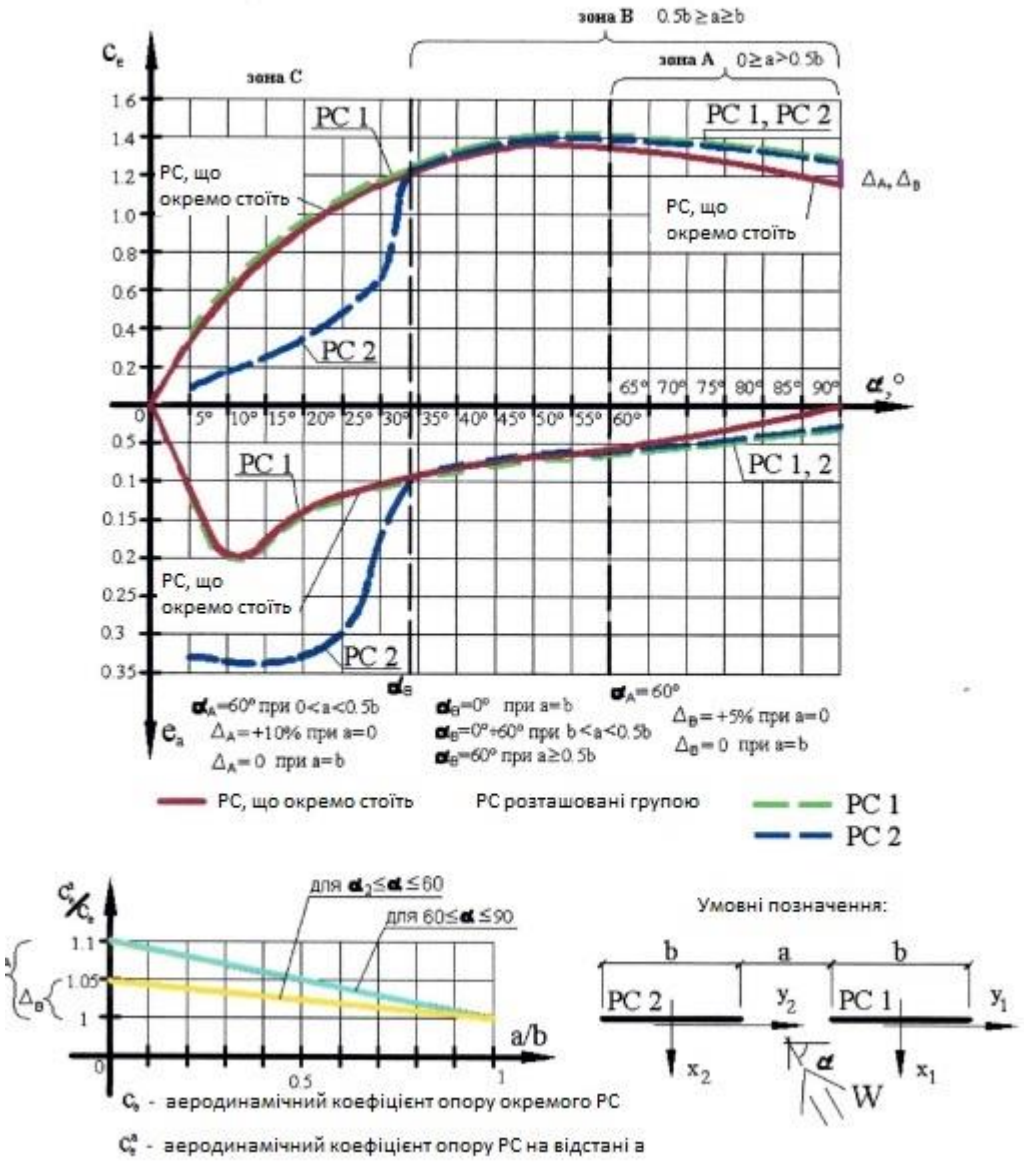


Рисунок 2.21 - Зміна c_{e1}, c_{e2} та e_1 та e_2 для РС, розташованих на відстані a один від одного при зміні a для схеми 1.

Для оцінки достовірності результатів моделювання РС з $\lambda = 2$, розташованих на відстані один від одного проведено порівняння значень c_e = 1 .232 при $\alpha = 0$ і $c_e = 1.231$ для РС з $\lambda = 4$ при $\alpha = 90$ °. Результати порівняння характеризують задовільну точність.

Схема 2.

В якості другої схеми розглядається плоске РС розташоване на відстані a від поруч будівлі, що стоїть, і на відстані c_1, від кута будівлі (див. рис. 2.22). Як параметр, що варіюється, розглядається відстані між РС і будівлею при зміні напрямку вітру α.

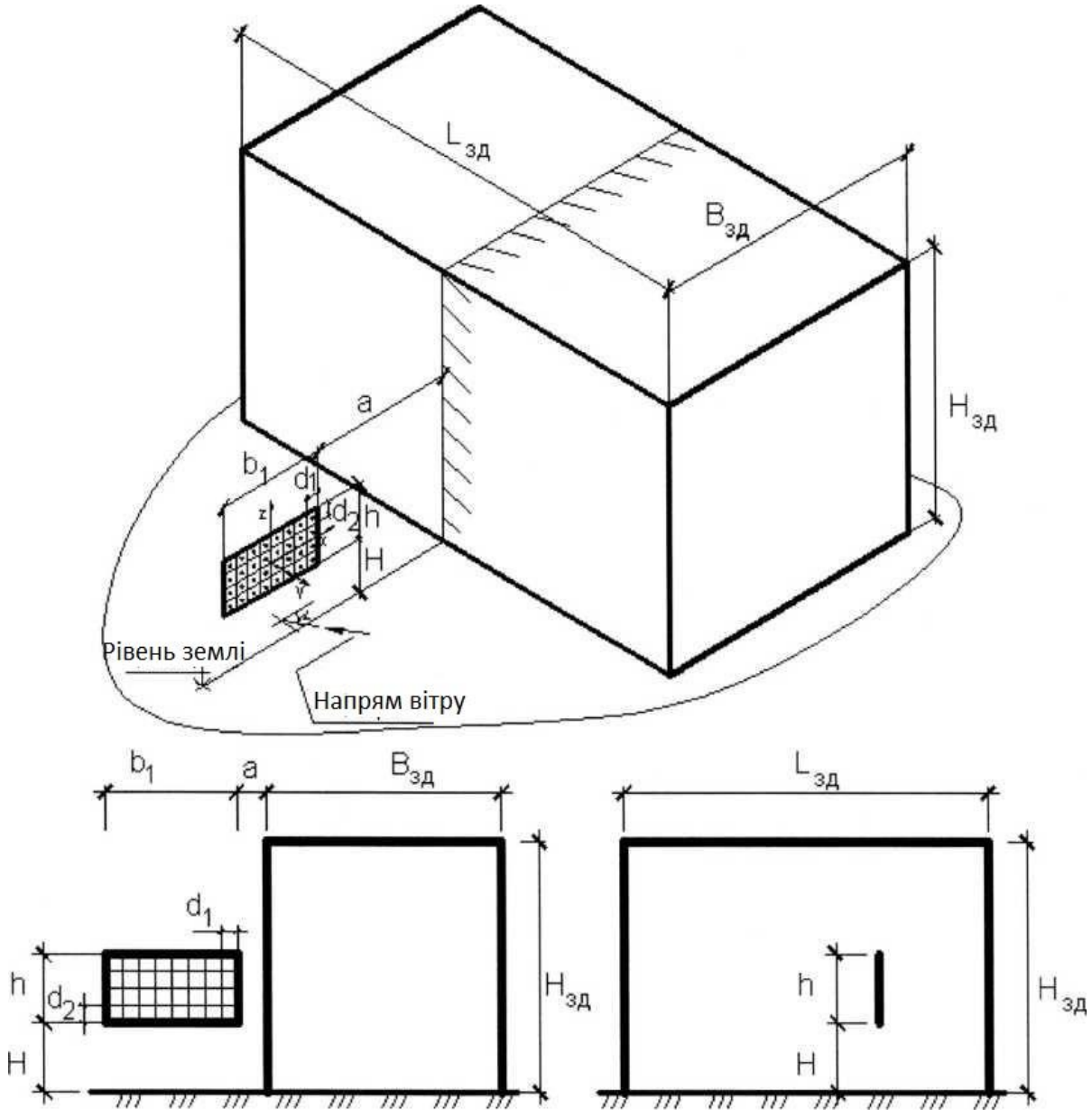


Рисунок 2.22 -Плоске РС з λ = 2 розташоване поруч із будинком.

Для оцінки результатів моделювання РС, розташованих групою за схемою 2 проводиться порівняння аеродинамічних характеристик c_e^1 і e_a^1 з

аналогічними значеннями c_e і e_a для окремого РС:

- аеродинамічного коефіцієнта c_e^1 зв'язковій системі координат ХОУ при зміні напряму вітру та положенні РС щодо будівлі;

- відносного ексцентриситету e_a^1 додатка рівнодіючого вітрового навантаження при зміні напряму вітру та положенні РС, щодо будівлі.

Розглядається РС відноситься до споруд з поганообтічною формою і має фіксоване положення відриву вихрової пелени, яка розташована по периметру РС. Чисельне моделювання вітрового навантаження візуалізує нестаціонарний характер руху повітря (вітру), що реалізується біля РС за класифікацією [6]: відривне з кромок і безвідривне (плавне) перетікання вздовж кромок РС.

При напрямку вітру α = 90° (лобовий напрям) на завітряній стороні створюються несиметричні вихрові утворення, що періодично відриваються, розташовані біля граней РС, зі збільшенням їх величини на суміжній з будівлею грані. При зменшенні кута напрямку вітрового навантаження α, до деякого критичного значення, РС потрапляє в зону впливу відривних течій від будівлі з нульовим значенням аеродинамічного коефіцієнта та ексцентриситетом застосування вітрового навантаження $e_a \approx 0.35$. Критичне значення а істотно залежить від відстані між РС та будівлею та наведено на рис. 2.23а та 2.23г. Збільшення кута напрямку вітрового навантаження а зменшує вплив будівлі, і аеродинамічні характеристики відповідатимуть РС, що окремо стоїть.

Результати порівняння аеродинамічних характеристик для РС розташованих поруч із будівлею (c_e`і e'_a) зі значенням аналогічних (c_e і e_a) для РС, що окремо стоїть, з λ = 2 (рис. 2.8 і 2.9) наведені на рис.2.226.

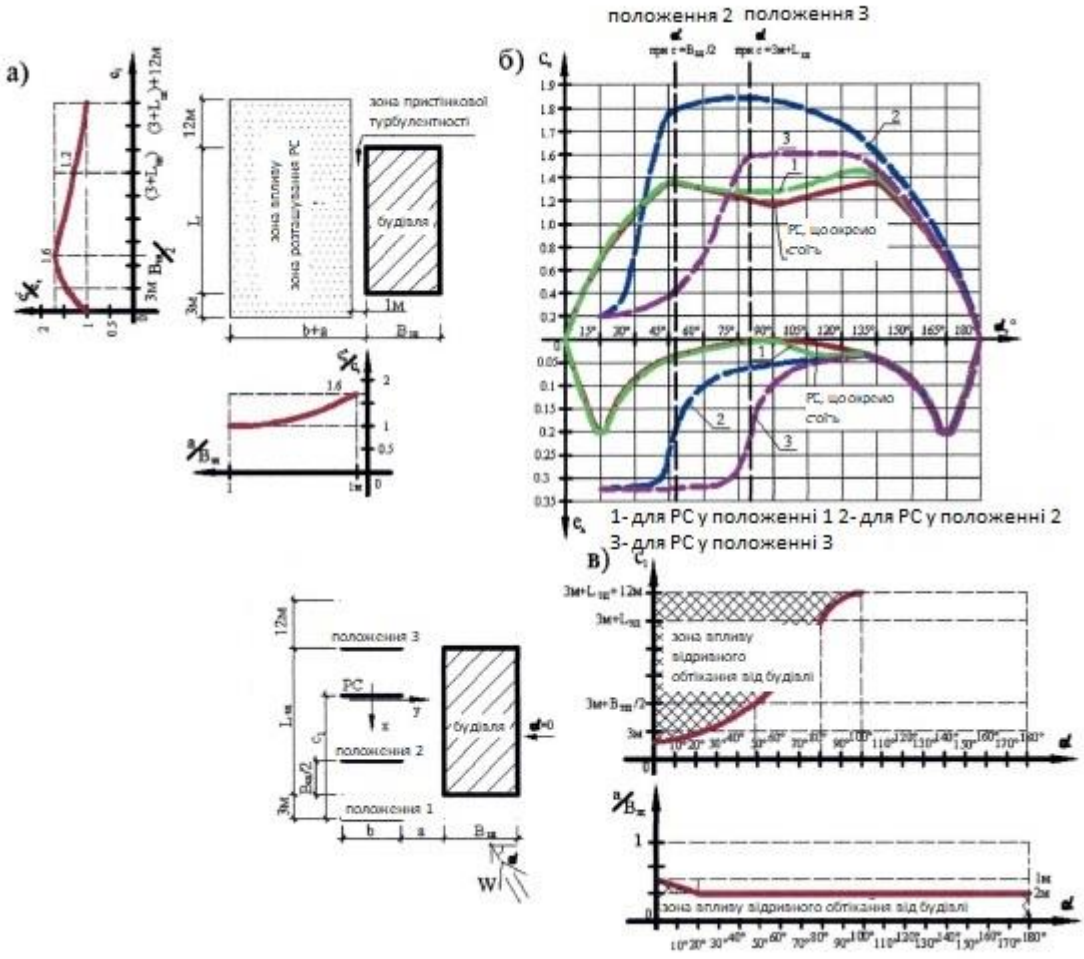


Рисунок 2.23 -Характер зміни аеродинамічних характеристик для РС, розташованого поряд із будівлею

Аналіз результатів моделювання дозволяє виділити характерні зони зміни c_e^1 у $k = c_e^1/c_e$ раз в залежності від відстаней між РС і будинком при зміні напрямку вітрового навантаження a . На рис. 2.24 наведені посередні, за максимальним значенням, зони зміни значення аеродинамічного коефіцієнта (коефіцієнт k) для РС щодо значення cx для окремого плоского РС з $\lambda = 2$.

У невизначених місцях на рис. 2.24 вплив будівлі РС не простежується.

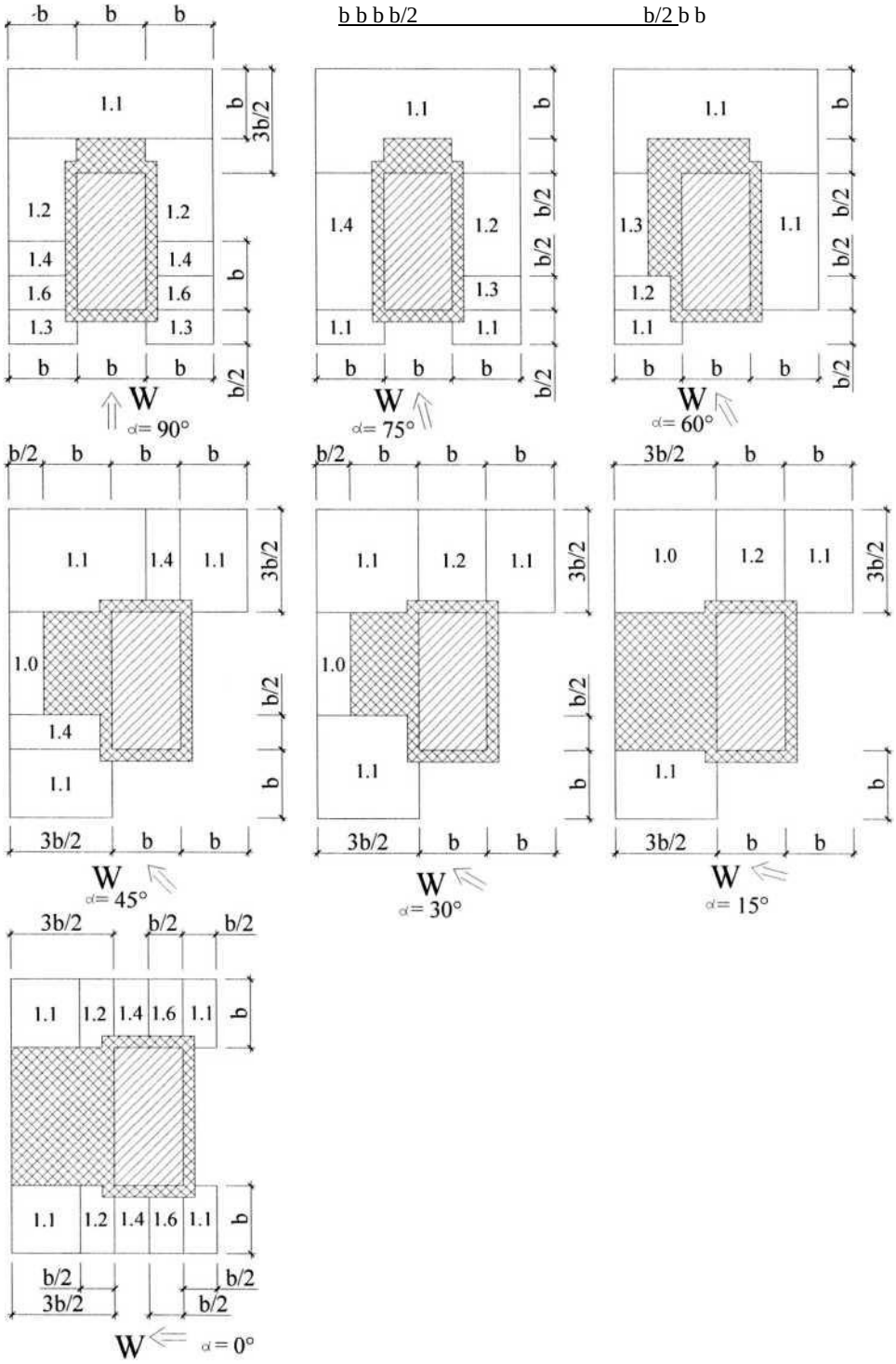


Рисунок 2.24 - Значення коефіцієнтів до збільшення аеродинамічного коефіцієнта для РС розташовані поруч із будинком.

При моделюванні вітрового навантаження на РС, розташовані групою (схеми 1 і 2) виявлені зони відсутності взаємного впливу (при відстані між спорудами більше їх ширини) та зони впливу положення споруд у вигляді

зміни значень аеродинамічних характеристик - збільшення c_e і зміщення e_a, що пояснюється ефектом інтерференції. Також виявлено зони нестійкого значення аеродинамічних характеристик, у яких їхня величина змінюється за гармонічним законом та викликана впливом відривних течій при нестаціонарному режимі обтікання. Необхідно відзначити, що співвідношення розмірів двох споруд суттєво впливають на зміну аеродинамічних характеристик. Так для РС, розташованих групою, максимальне збільшення се досягає 10%, а для РС розташованого поряд з будинком, воно може збільшуватися на 60% (k = 1.6).

За результатами моделювання РС, розташованих групою можна зробити такі висновки:

- взаємне розташування РС групою (за схемою 1 та схемою 2) збільшує значення аеродинамічного коефіцієнта;

- зона впливу взаємного розташування РС відповідає величині максимальної ширини споруд, що розглядаються (при максимальних розмірах споруди 15х30м);

- максимальне збільшення аеродинамічних коефіцієнтів c_e для РС, розташованих групою складає: k = 1.1 для РС, розташовані групою (схема 1) та k = 1.6 для РС, розташованих поруч із будинком (схема 2);

- максимальне значення відносного ексцентриситету e_a додатка рівнодіючого вітрового навантаження для РС, розташованих групою і поряд з будівлею (схема 1 і 2) відповідає максимальному e_a для РС, що окремо стоїть, зі зміною значення напрямку вітру α;

- при взаємному розташуванні РС виявлено зони нестійкого значення c_e і e_a, у яких їх зміна підпорядковується гармонійному закону з максимальними значеннями в інтервалі $c_e = \mp 0.1$ і $e_a \approx 0.35$.

2.5 Порівняння результатів моделювання вітрового навантаження.

Для оцінки достовірності результатів моделювання на ПК було проведено порівняння з результатами моделювання на інших комплексах, зокрема: "Fluent", заснованому на методі кінцевих елементів (МКО) та "PARAD", заснованому на методі великих частинок (МКЧ). Як критеріїв порівняння прийнято значення коефіцієнта ce для плоского РС з $\lambda = 2$ в залежності від α.

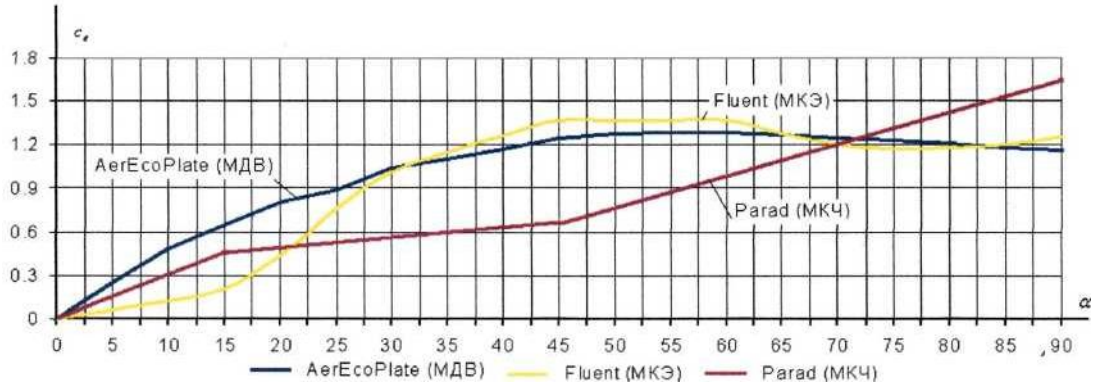


Рисунок 2.25 - Порівняння результатів моделювання з різних програмних комплексів.

З рис. 2.25 видно, що результати моделювання на ПК «Fluent» і ПК «AerEcoPlate» практично ідентично описують характер зміни c_e в залежності від α для розглянутого типу РС, в той час як результати ПК «PARAD» не виявляють подібну залежність від максимальних значень. «AERECOPLATE» та ПК «Fluent». Враховуючи проведене раннє порівняння результатів моделювання на ПК «AERECOPLATE» та даними експериментів (рис. 2.5, 2.6) можна говорити про добре підготовлену модель на цих ПК та достовірність отриманих результатів.

2.6 Аналіз результатів моделювання вітрового навантаження на РС

Аналіз проводиться для РС, що окремо стоять. Враховуючи, що для основних розглянутих типів РС є графічна залежність значення се і еа від напрямку вітрового навантаження α, можна знайти апроксимуючу криву виду $c_e=f_c(\alpha)$ и $e_a=f_e(\alpha)$, описують зазначені залежності. Для аналітичного опису в даній роботі застосовані багаточлени виду: $f_c(\alpha) = \alpha_1 *\alpha^3 +\alpha_2 *\alpha^2 + \alpha_3 *\alpha + \alpha_4$ и $f_e(\alpha) = \alpha_1 *\alpha^6 + \alpha_2 *\alpha^5 + \alpha_3 *\alpha^4 + \alpha_4 *\alpha^3 +\alpha_5 *\alpha^2 +\alpha_6 *\alpha + \alpha_7$. Враховуючи, що основні конструктивні типи РС мають характерну розрахункову схему – одностійкова конструкція з рекламним полем, можна висловити основні силові фактори для найбільш відповідального та напруженого елемента – стійки в опорному перерізі. Таких силових факторів, що залежать від напрямку вітрового навантаження w в цьому випадку три - згинальний момент $M_{віг}$, сила $Q_{пер}$, що перерізує, і момент кручення $M_{кр}$, які можна представити у вигляді:

$$M_{віг}= A_1 * (B * w * c_e) = A_1 * B * w * f_c(\alpha)$$

$$Qпер = A_2 * (B * w * c_e) = A_2 * B * w * f_c(\alpha)$$

$$M_{кр} = A_1 * (B * w * c_e) * e = A_3 * B * w * f_c(\alpha) * f_e(\alpha)$$

A_1, A_2, A_3 – параметри геометрії РС, В – параметр навантаження w.

Диференціюючи апроксимовані залежності α і знаходячи корені отриманих рівнянь можна знайти «критичні» значення $\alpha_{кр}$ з максимальним значенням відповідного параметра ($M_{віг}$, $Q_{пер}$ і $M_{кр}$):

$(A_1 * B * w * f_c(\alpha))'_a=0 \rightarrow \alpha_{кр}$ за max $M_{віг}$, $Q_{пер}$

$(A_3 * B * w * f_c(\alpha) * f_e(\alpha))'_a = 0\ 0 \rightarrow \alpha_{кр}$ за max $M_{кр}$

Зміна акр для розглянутих плоских РС (пункт 2.4.1) залежно від

співвідношення сторін 4 для максимальних $M_{віг}$, $Q_{пер}$ і $M_{кр}$ наведено на рис. 2.26, 2.27.

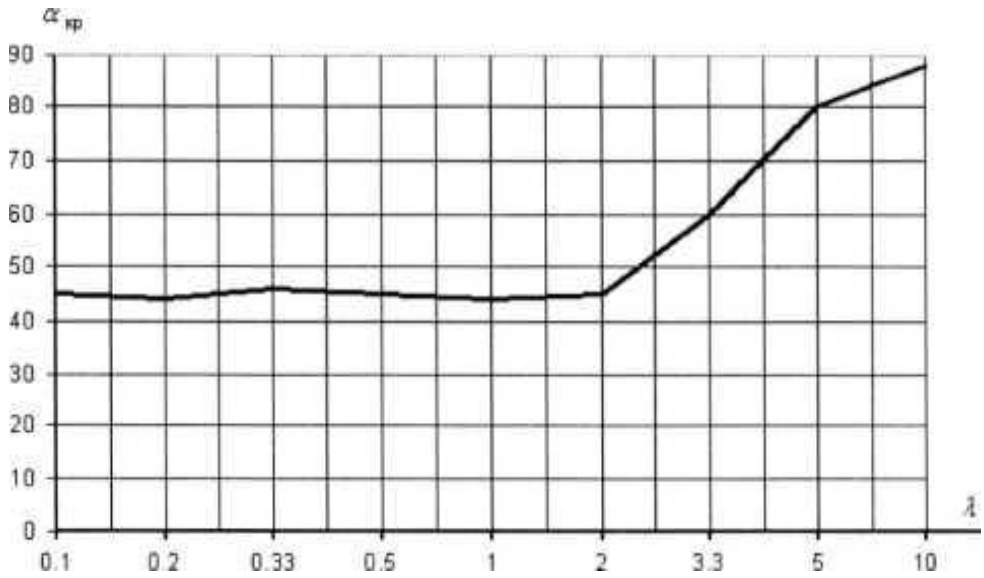


Рисунок 2.26 - Зміна критичного кута напрямку вітрового навантаження $\alpha_{кр}$ при максимальних значеннях $M_{виг}$ і $Q_{пер}$ в залежності від λ .

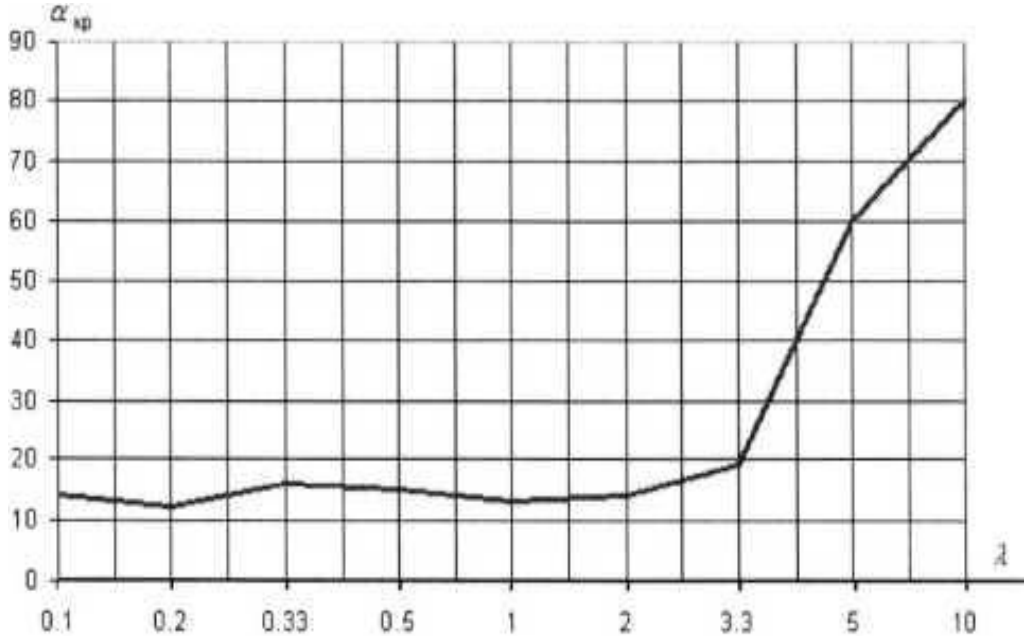


Рисунок 2.27 - Зміна «критичного» кута напряму вітрового навантаження $\alpha_{кр}$, п при максимальному значенні $M_{кр}$ в залежності від λ.

Подібний підхід можна використовувати і для окремо стоять призматичних РС. Однак залежність силових факторів $M_{виг}$ і $Q_{пер}$ має складну

структуру (що складають по осям x і y) і не може бути виражена однозначними залежностями. Відповідно, для призматичних РС критерієм для $\alpha_{кр}$ будуть служити максимальні значення c_x, c_y та e_a. Значення $\alpha_{кр}$ із округленням до 5° для розглянутих призматичних РС (пункт 2.4.2) наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Значення $\alpha_{кр}$ із округленням до 5° для розглянутих призматичних ПК

Призматичний РС	За C_x max	За C_y max	За e_a max
Призма 1 - 6x6x6	0	120	30
Призма 2 - 6x9x9	0	110	20
Призма 3-6x12x12	0	105	15
Призма 4 - 6x15x15	0	100	10

2.7 Висновки з розділу 2

1. Розроблено технологію моделювання вітрового навантаження та виявлено параметри розрахункових схем для визначення вітрового навантаження на РС.

2. Отримано якісні картини та кількісні показники вітрового навантаження, необхідні при розрахунку, за загальноприйнятою методикою для окремо стоящих плоских, призматичних РС та плоских РС, розташованих групою та у міській забудові.

3. Значення c_e і e_a для плоских РС залежить від співвідношення сторін рекламної поверхні -λ напрямки вітрового навантаження - α . За характером залежності (рис 2.8 і 2.9) можна говорити, що при зміні α для РС з $\lambda < 5$ відбувається збільшення c_e до 40%, при $\alpha = 40° - 50°$ і еа до значення 0.15 при $\alpha = 5 - 15°$ за рахунок вкладу відриву вітрового потоку з першою за напрямом вітру грані РС; для РС з $\lambda > 5$ відбувається зменшення c_e зі збільшенням e_a до значення 0.2 при $\alpha = 5\text{-}15°$ за рахунок збільшення частки перетікаючого потоку

вітру по горизонтальних гранях;

Таким чином, для плоских РС при малих відносинах λ = 0.1-3 розрахунковим поєднанням є: - c_e = 1.52 з e_a = 0.1b при α = 40 ° -50 ° що за обома значеннями трохи менше EuroCode. При великих λ = 5-10 розрахунковими поєднаннями є: c_e = 1.3 з e_a =0 при α = 90 ° - що менше значень EuroCode.

4. По співвідношенню сторін підстав призматичних РС і напрями вітрового навантаження а, для розглянутих типів призматичних РС можна назвати дві схеми обтікання - для рівносторонніх (призму 1) і равнобедренных (призму 2, 3, 4) у плані трикутників. Вплив призматичних РС на зміну аеродинамічних характеристик незначний і досягає величини - 10% (к = 1.1) при α = 5 - 20 °.

5. Максимальне збільшення аеродинамічних коефіцієнтів СЕ для РС, розташованих групою складає: k = 1.1 для РС, розташовані групою (схема 1) і k = 1.6 для РС, розташованих поряд з будинком (схема 2). Значення відносного ексцентриситету еа додатка рівнодіючого вітрового навантаження для РС, розташованих групою і поряд з будівлею (схема 1 і 2) відповідає максимальному e_a для окремого РС зі зміною значення напрямку вітру α .

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК РС У МОЖЛИВІСНІЙ ПОСТАНОВЦІ, ЩО ДОЗВОЛЯЄ ОПТИМІЗУВАТИ ПАРАМЕТРИ РС.

3.1 Постановка завдання. Основні положення і позначення.

Простота конструктивних форм найбільш застосовуваних РС, наявність однієї розрахункової - вітрової, навантаження, за якою є велика кількість статистичних спостережень і рекомендацій за формою її подання у вигляді випадкової величини, установка РС в зонах, що істотно розрізняються за можливим матеріальним і не матеріальним втрат у разі їх обрушення (див. розділ 1) робить актуальним при їх проектуванні.

Застосування ВМР РС може дозволити призначити оптимальне переріз основних елементів РС з позиції мінімальних можливих втрат при обваленні або обґрунтувати значення коефіцієнта граничних станів уп при використанні стандартних методик розрахунку.

У загальному вигляді задачу знаходження оптимальних параметрів перерізів елементів РС за ймовірнісного розрахунку можна записати за умовою:

$$C = C_H + \prod_1^n (q_i * Y) \rightarrow min$$

де С - повні можливі витрати при експлуатації РС; $C_н$-витрати пов'язані з виготовленням та встановленням РС; Y - можлива шкода при обрушенні конструкції, що залежить від місця встановлення; q_i - ймовірність руйнування основних елементів РС; $\prod_1^n (q_i * Y)$– можливий ризик.

/=1

У разі обліку нематеріальних втрат під час обвалення елемента РС для умови можна ввести таке позначення:

$$(1-\prod_1^n q_i)\leq[p]$$

[p] - мінімально допустима надійність РС.

Досвід експлуатації найбільш застосовуваних РС, аналіз причин аварій РС (див. розділ 1, §1.3) дозволяє виявити основні елементи, відмови яких можуть призвести до обвалення РС.

Імовірність руйнування елемента qi визначається методами теорії ймовірності і записується як функціонал напруг, що включає основні геометричні параметри перерізів найбільш застосовуваних РС.

Запропонована методика ймовірнісного розрахунку РС дозволяє обґрунтувати призначення коефіцієнта надійності для розрахунку даного типу конструкцій, відповідно до методики, наведеної в .

$$\gamma_n = \frac{p_{\text{опт}}}{p_{\text{нори}}}$$

$p_{\text{опт}}$ - оптимальний рівень надійності визначений за умови;

$p_{\text{нори}}$ - нормативний рівень надійності РС, запроектований з урахуванням вимог ДБН та обліку динамічної складової вітрового навантаження.

3.2 Методика розрахунку у можливісній постановці, що дозволяє оптимізувати параметри елементів РС

Методика імовірнісного розрахунку РС розглядається на прикладі найбільш застосовуваного РС, що окремо стоїть, на території м. Запоріжжя з такими припущеннями:

1. як розрахункова модель РС розглядається окремо стоять плоске РС з розміром рекламної поверхні b x h = 6x3 м (λ = 2) і висотою від рівня землі 8 м;

2. значення середньої складової вітрового навантаження, що діє на поверхню РС для відповідного напрямку вітру, визначається з умови:

$$w = w_0 * c_e * k * k_{top}$$

$c_e°$ - значення аеродинамічного коефіцієнта, для щита з ставленням сторін λ = b/h = 2 (приймається за даними розділу 2); до - коефіцієнт, що враховує зміну швидкості вітру за висотою, приймається відповідно до таблиці 5 ; k_{top} - коефіцієнт, що враховує збільшення вітрового навантаження в міській забудові, приймається за даними розділа 2 (для окремо стоять РС k_{top} = 1);

3. при виконанні розрахунків враховується додатковий момент кручення, що виникає від ексцентриситету додатку рівнодіючого вітрового навантаження - e_a (приймається за даними розділу 2);

4. залежність вітрового навантаження w (Па) від швидкості вітру V (м/с) приймається за умови:

$w = 0.061 * V^2$

5. значення швидкості вітру і відповідно значення вітрового тиску приймається випадковим, із законом розподілу Вейбула :

$f(w) = c * \boldsymbol{\beta} * \boldsymbol{w^{\beta-1}} * \boldsymbol{e^{-(c*w^{\beta})}}$ - щільність розподілу

$f(w) = 1 - \boldsymbol{e^{-(c*w^{\beta})}}$ - функція розподілу

6. матеріал конструкцій РС сталь С245 з хімскладом і властивостями міцності наведеними в [80], розрахунковий опір сталі за межею плинності приймається випадковим з нормальним законом розподілу з параметрами R = 2800, $\boldsymbol{G_R}$ =140:

$f(\mathrm{R}) = \frac{1}{\sqrt{2*\pi*G_R}} * e^{-\frac{(R-\overline{R})^2}{2*G_R^2}}$ - щільність розподілу,

7. пульсаційна складова вітрового навантаження враховується як квазістатична шляхом запровадження коефіцієнта динамічності k_d=2.

8. під зоною обвалення для РС, мається на увазі кола землі радіусом Н + 1м.

Можливість виникнення відмов РС q_i.

Для розрахункової моделі РС (рис 2.2) розглядаються такі випадки відмов, що призводять до обвалення:

- руйнування по перерізу стійки;
- руйнування перетину анкерних болтів;
- перекидання фундаменту, ця відмова характерна для РС фундаментом баластного типу.

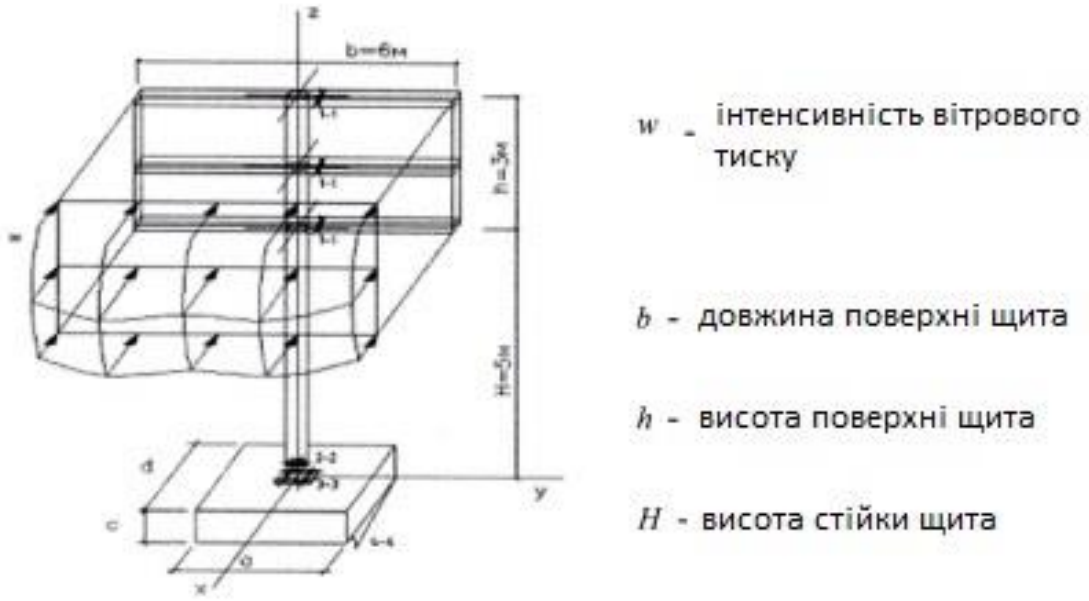


Рисунок 3.1 -Розрахункова модель РС

Несуча здатність сталевих елементів РС величина випадкова - R (кг/см2), яка описується нормальним законом розподілу, щільність якого визначається за умови:

$$f(\mathrm{R}) = \frac{1}{\sqrt{2*\pi*G_R}} * e^{-\frac{(R-\overline{R})^2}{2*G_R^2}} -$$

$\overline{R}$ - математичне очікування межі плинності сталі,

G_R-середньоквадратичне відхилення межі плинності сталі.

Вітрове навантаження w (кг/м^2) визначається залежно від випадкової величини - швидкості вітру V за умовою w = 0.061xV^2 (кг/м^2) і є випадковою величиною. Швидкість вітру V описується законом розподілу Вейбула, тоді для значення вітрового навантаження можна також записати щільність розподілу:

$$f(\mathrm{w}) = \mathrm{c} * \beta * w^{\beta-1} * e^{-(c*w^{\beta})}$$

c, β - параметри розподілу тиску вітру.

Визначення параметрів сір проводиться за допомогою методу найменших квадратів (МНК) з умови відповідності кривої розподілу статистичним даним, наведеним у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Швидкість вітру, м/с	Інтервал										
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-21	22-25
Тиск вітрукг/м^2	0-0.06	0.24-0.55	0.97-1.52	2.2-3.01	3.9-4.9	6.1-7.4	8.8-10.3	11.9-13.7	15.6-17.6	19.7-26.9	29.5-38.1
Ймовірність	17.99	30.68	27.73	14.514	7.67	0.826	0.472	0.118	0.059	0.035	0.0012

Вирішуючи чисельно систему отримані такі коефіцієнти: c = 0.185, β = 1.135. Щільність розподілу тиску вітру з урахуванням отриманих коефіцієнтів наведено на рис. 3.2.

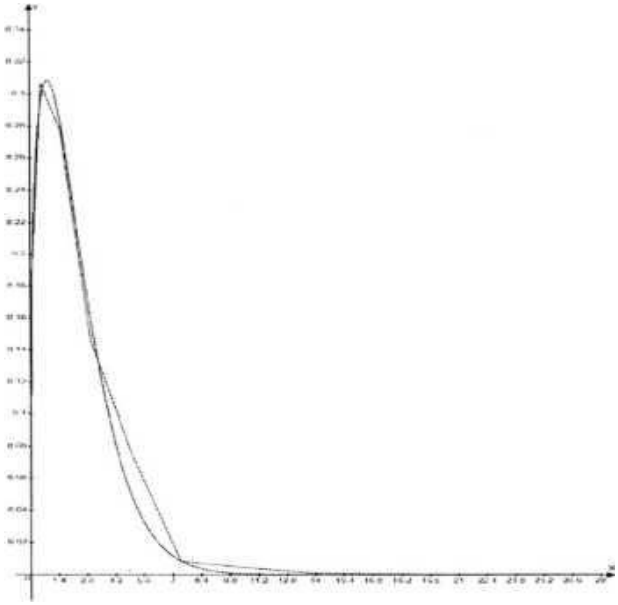


Рисунок 3.2- Щільність розподілу тиску вітру

Враховуючи, що за відомого закону розподілу навантаження $f_1(w)$, можна знайти закон розподілу максимальних напруг $f_2(s)$:

$$\int f_1(w)dw = \int k * f_1(w = s * k)ds = \int f_1(s)ds$$

де коефіцієнт до враховує залежність між тиском вітру і напругами в елементі (визначається за правилами будівельної механіки).

За відомим законом розподілу несучої здатності елементів РС і відомим законом розподілу вітрового навантаження можна записати ймовірність руйнування РС для розрахункового випадку q_i:

$$q_i = \int_0^{M/W} f(\sigma)\left[\int_0^{M/W} f_2(S)dS\right]d\sigma$$

M — діючі силові чинники;

W - геометричні параметри перерізу елемента ПК.

Що графічно реалізовано на рис. 3.3

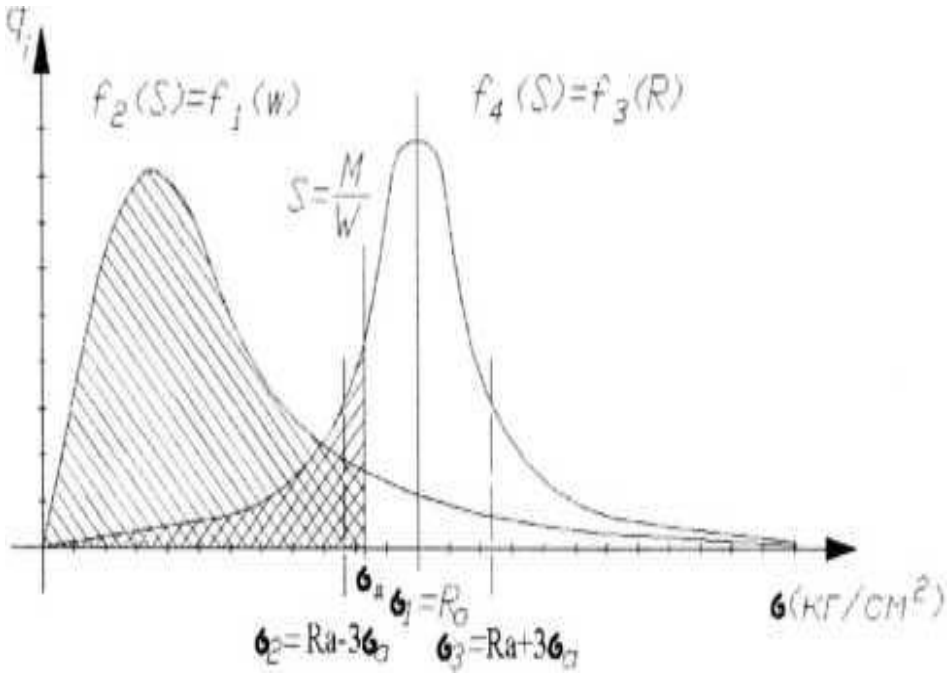


Рисунок 3.3- Графічний вираз умови виникнення і-го граничного стану

Скориставшись виразом, можна побудувати залежність q_i, від геометричних параметрів перерізу W, за якою визначається відповідна ймовірність руйнування. Так для РС, запроектованого за вимогами ДСТУ, з уточненим у розділі 2 значенням c_e і загальних положень глави 2 перетин основного елемента РС стійки - труба 325х6 з діючими напругами при розрахунковому навантаженні σ=2116кг/см2.

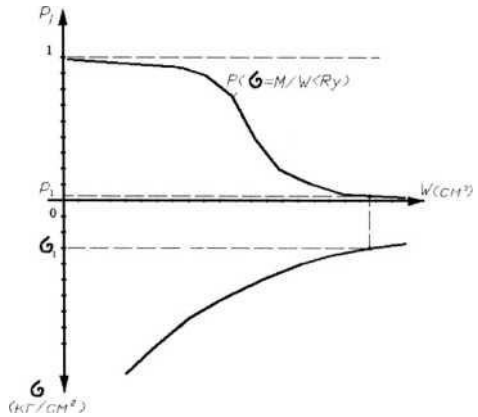


Рисунок 3.4 -Залежність значень міцності та відповідної ймовірності.

Витрати пов'язані з виготовленням та встановленням РС.

Витрати пов'язані з виготовленням та встановленням РС залежать від маси елементів РС - стійки m_c, конструкції рекламної поверхні (щита) - $m_щ$ і маси фундаменту $m_ф$. Величина $C_н$ може бути записана у вигляді:

$$C_н = (m_c + m_щ)*к_{1m}+m_ф *к_{1ф}$$

$m_щ$, m_c, $m_ф$- маса рекламної поверхні (щита), стійки, фундаменту;

k_{1m} = 150000 грн/т – наведена вартість металу у справі; $к_{2m}$ = 5000грн/т – наведена вартість монтажу РС; $к_{1ф}$= 3000грн/т – наведена вартість залізобетонних елементів у справі; $к_{2ф}$ = 1000грн/т – наведена вартість монтажу залізобетонних елементів.

Для РС можна записати масу металу елементів РП $m_щ$:

$$m_щ=\xi*\psi_{р.п.}*L*A_1$$

Для РС можна записати масу стійки m_c:

$$m_c=\xi*\psi_c*H*A_2$$

Для конструкцій фундаменту при довжині $b_ф$ = 2м у напрямку дії згинального моменту від дії вітру:

$$m_Ф=\gamma_ф*\alpha_ф*c_ф*d_ф$$

L - загальна довжина профілів, що застосовуються; $\gamma_ф$ - об'ємна вага залізобетону, А - момент опору та площа перерізу елемента, Н - висота стійки, ξ - щільність металу; $\psi_{р.п.}$, ψ_c - конструктивний коефіцієнт елементів рекламної поверхні та стійки; $\gamma_п$- коефіцієнт надійності.

Природа конструктивних коефіцієнтів у випадку досить складна, але з деяким припущенням значення конструктивного коефіцієнта можна записати

як:

$$\psi = \psi_{\text{д}} * \psi_{\text{фд}} * \psi_{\text{стр}}$$

$\psi_{\text{д}}$ - коефіцієнт, дискретності сортаменту,$\psi_{\text{фд}}$ - коефіцієнт фактичної довжини елементів РС, $\psi_{\text{стр}}$ - будівельний коефіцієнт маси РС, який залежить від типу конструкції РС і враховує масу допоміжних деталей, що складають конструктивне оформлення:

$$\psi = \psi_{c} * \psi_{\text{пр}} * \psi_{\text{ф}} * \psi_{\text{кр}}$$

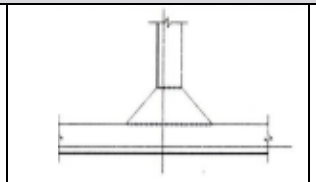
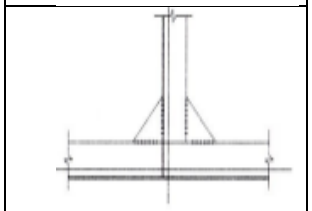
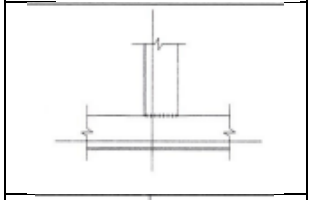
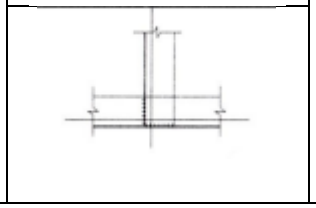
ψ_{c} - коефіцієнт, що враховує масу зварних швів або болтів, $\psi_{\text{пр}}$ - коефіцієнт, що враховує масу сполучних елементів, $\psi_{\text{ф}}$ - коефіцієнт, що враховує масу фасонок, $\psi_{\text{кр}}$ - коефіцієнт, що враховує масу кронштейнів для кріплення обладнання.

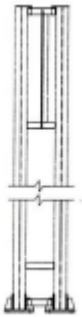
Таким чином, значення конструктивного коефіцієнта можна записати у вигляді:

$$\psi = \psi_{\text{д}} * \psi_{\text{фд}} * \psi_{c} * \psi_{\text{пр}} * \psi_{\text{ф}} * \psi_{\text{кр}}$$

Значение конструктивных коэффициентов ψ приведено в таблице 4.2

Таблиця 3.2

Тип та найменування перерізу конструкцій рекламної поверхні, особливості їх виконання та з'єднання					Складники конструктивного коефіцієнта						Середнє значення конст-го коеф-та
					$\psi_д$	$\psi_{фд}$	Будівельний коефіцієнт				
							ψ_c	$\psi_{пр}$	$\psi_ф$	$\psi_{кр}$	
Складові РС	$\psi_р$		Стрижень рекламної поверхні	Одиночний	1.08-1.15	0.85-1.03	1.005-1.01	1	1.2-1.25	1.01-1.02	1.024-1.077
				Складовий	1.08-1.15	0.85-1.03	1.005-1.01	1.02-1.04	1.2-1.25	1.01-1.02	1.027-1.083
				Одиночний	1.08-1.15	0.98-1.03	1.005-1.01	1	1.15-1.2	1.01-1.02	1.037-1.068
				Складовий	1.08-1.15	0.98-1.03	1.005-1.01	1.02-1.04	1.15-1.2	1.01-1.02	1.04-1.075
				Одиночний	1.08-1.15	0.95-1.03	1.005-1.01	1	1	1.01-1.02	1.007-1.035
				Складовий	1.08-1.15	0.95-1.03	1.005-1.01	1.02-1.04	1	1.01-1.02	1.01-1.042
				Одиночний	1.08-1.15	1.01-1.03	1.005-1.01	1	1	1.01-1.02	1.017-1.035
				Складовий	1.08-1.15	1.01-1.03	1.005-1.01	1.02-1.04	1	1.01-1.02	1.02-1.04

Тип та найменування перерізу конструкцій рекламної поверхні, особливості їх виконання та з'єднання					Складники конструктивного коефіцієнта						Середнє значення конст-го коеф-та
					$\psi_д$	$\psi_{фд}$	Будівельний коефіцієнт				
							ψ_c	$\psi_{пр}$	$\psi_ф$	$\psi_{кр}$	
	ψ_c		Стрижень стійки	Одиночний	1.08-1.18	1.02-1.1	1.001-1.02	1.05-1.1	1.1-1.2	1.05-1.1	1.05-1.12
				Складовий	1.08-1.18	1.02-1.1	1.015-1.03	1.1-1.15	1.1-1.2	1.05-1.1	1.06-1.13
				Одиночний	1.08-1.18	1.02-1.1	1.001-1.01	1	1.1-1.2	1.05-1.1	1.04-1.1
				Складовий	1.08-1.18	1.02-1.1	1.002-1.01	1.05-1.1	1.1-1.2	1.05-1.1	1.05-1.11

Можливі збитки Y при обрушенні РС.

Витрати пов'язані з можливим збитком при обрушенні РС можна класифікувати як матеріальний і нематеріальний можливий збиток:

Можливі матеріальні збитки Y_n(мат).

Можливий матеріальний збиток при виникненні відмови РС, включає пошкодження елементів РС, мобільних товарно-матеріальних цінностей (ТМЦ) - автомобілів і стаціонарних ТМЦ - будівель і споруд, що знаходяться в зоні обвалення РС:

$$Y_n(мат)=m*(k_{1m}\ k_{2m}) +\alpha_1*p_1*\frac{t}{1440}*\frac{F_d}{F_0}*C_n^{ml}*\frac{F_б}{F_0}*C_n^{m2}$$

m – маса пошкодженого елемента РС, k_{1m} k_{2m} – див. умова , C_n^{ml} - наведена вартість мобільних ТМЦ (автомобілів), що приймається рівною вартістю страхової виплати ; α_1 - ймовірність знаходження мобільних ТМЦ у зоні обвалення РС, що приймається відповідно до коефіцієнта використання дороги за таблицею 3.3, p_1 = 0.08 (шт/м^2) - щільність мобільних ТМЦ (автомобілів) що знаходяться в зоні обвалення РС, приймається відповідно до кількості машиномісць у зоні обвалення РС; C_n^{m2} =5000 грн/м^2 - наведена вартість втрат стаціонарних ТМЦ, що у зоні обвалення РС; F_d – площа дороги або автостоянки, що потрапляє в зону обвалення РС; $F_б$ - площа будівлі або споруди, що потрапляє до зони обвалення РС; F_o - площа зони.

Можливий нематеріальний збиток при виникненні відмови РС включає витрати пов'язані з порушенням репутації власника РС і заподіянням шкоди здоров'ю людям, що знаходяться в зоні обвалення, наприклад на зупинному павільйоні, за умовою:

$$Y_n(нематер)=k_c *C_n^p*M*\frac{t}{1440}*\frac{F_{зуп}}{F_0}*C_n^{нм}$$

k_c = 1 - коефіцієнт, що враховує погіршення репутації організації, що володіє РС; C_n^p - наведена вартість репутації організації що володіє РС; М -

кількість людей, що знаходяться в зоні обвалення РС за час t . $C_п^{нм}$ - наведена вартість втрат при знаходженні людини в зоні обвалення РС, що приймається за даними таблиці 2.4 ; $C_п^{нм}$ включає: витрати на доставку потерпілого до лікарні, витрати лікарні, моргу, витрати на похорон, на виплату допомоги; $F_{зуп}$ - площа зупинного павільйону, що знаходиться в зоні обвалення РС; $F_о$ – площа зони обвалення РС; $\frac{t}{1440}$ - наведений час при t = 10лшн знаходження людини на території зупинного павільйону в зоні обвалення РС.

Значення М для зупинних павільйонів визначається залежно від площі обслуговування зупинного павільйону та щільності населення, що проживає в місті, за умовою:

$$M = \alpha_2 * P_{люд} * F_{обс} \quad (4.24)$$

а – ймовірність знаходження людей у зоні обвалення РС; $P_{люд}$ = 2564 люд/км2 - щільність населення місті; $F_{обс}$ - площа району обслуговування зупинного павільйону, що дорівнює площі прямокутника зі сторонами, рівними відстані між суміжними зупинками.

Результати експериментального визначення кількості людей на деяких зупинкових павільйонах наведено у таблиці 3.5. За наведеними даними, у таблиці 3.5 визначено ймовірність знаходження людей на зупинковому павільйоні. Результати наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 3.4 - Розміри втрат $C_п^{нм}$, грн.

Рік	При смертельному результаті	При інвалідності	При тяжких пораненнях	При легких пораненнях
2000	30100	18740	765	53
2010	35400	22290	865	62
2020	40700	25840	965	72

Оптимальне значення параметрів несучих елементів РС з урахування соціально-економічних втрат. Визначення коефіцієнта надійності.

Розглянемо значення повних можливих витрат:

$$C = C_н + \prod_{i=1}^{n}(q_i * Y) \rightarrow min$$

Враховуючи, що складові $C_н$ та q_iзалежать від параметра геометрії перерізу елементів РС, позначену - х можна записати цільову функцію:

$$A * x + Y(x) * p(x) \rightarrow \min$$

А - параметр, що враховує початкову вартість та монтаж РС; $Y(x)$ - збитки у разі відмови РС, р(х) - ймовірність виникнення відмови.

Продиференціюємо за параметром геометричних характеристик перерізу елементів РС - х та прирівняємо його до нуля:

$$[A * x + B/x + Y(x) * p(x)]^{\wedge} = 0 \Rightarrow x,,x_2,x_3,x_4$$

Знайшовши значення параметрів геометричних характеристик перерізу елементів РС - х, відповідних корінням рівняння отримаємо їх оптимальні значення умови мінімуму повних можливих витрат - хопт. Характер залежності повних витрат від геометричних характеристик елемента наведено на рис. 3.5. На рис наведено залежності початкових витрат А*х - графік 1, витрати пов'язані з можливими збитками (ризиками) - графік 2 і повні можливі витрати С - графік 3 від параметра перерізів.

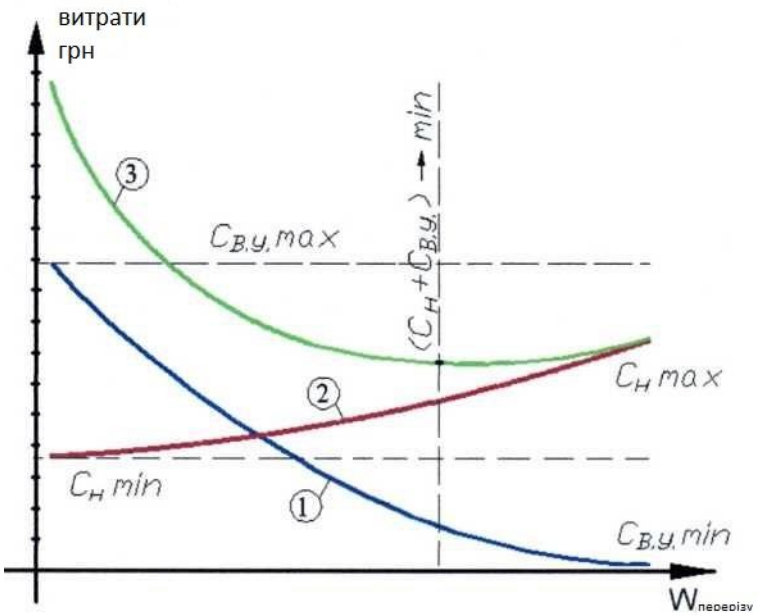


Рисунок 3.5 - Залежність повних витрат від ймовірності руйнування від ймовірності виникнення граничного стану.

Параметри геометричних характеристик відрізнятимуться від значення отриманих за вимогами детермінованого розрахунку нормативних документах - $x^{дет}$. Тоді коефіцієнт надійності упс за своїм змістом має усунути ці розбіжності:

$$\gamma_n^c = \frac{x^{опт}}{x^{дет}}$$

Обмеження ймовірності руйнування з урахування соціальних критеріїв. Для обліку соціальних критеріїв розташування РС біля можна скористатися умовою ймовірності відмовитися від різних соціальних чинників $q^{соц}$:

$$q^{соц} = 10^{-4} * \frac{\zeta_s * T}{L}$$

ζ_s =5 - коефіцієнт соціальної значущості для РС, Т = 5 років – середній термін експлуатації РС; L - середнє число, що у зоні обвалення РС.

Аналіз існуючих РС (див. розділ 1) дозволяє виділити зони

розташування РС за можливим знаходженням людей у зоні обвалення:

3.3 Методика розрахунку РС з обліком розміщення на місцевості і визначення коефіцієнта надійності РС

Імовірнісна методика розрахунку розглядається на прикладі РС з розмірами рекламної поверхні bxh = 6 х3 м і заввишки Н= 8 м з параметрами несучих елементів та значенням конструктивних коефіцієнтів:

№ п/п	Перетин стійки	Перетин елементів рекламної поверхні	Середнє значення ψ для стійки	Середнє значення ψ для рекламної поверхні
1	тр (24-28.5)х0.6 см	3 гнутих швелера160х80х4	1.06-1.13	1.04-1.075

РС встановлено на території р. Казані з параметрами місцевості:

- тип місцевості А(k = 1);

- вітровий район – II w = 30кг/м^2;

- переріз елементів рекламної поверхні приймаються постійними із запасом несучої здатності.

- розташування РС зі схемою, наведеною на рис. 3.6 з варіантами обліку можливих втрат:

- втрати від пошкодження РС;

- з огляду на втрати від погіршення репутації власника РС;

- з урахуванням матеріальних та нематеріальних втрат.

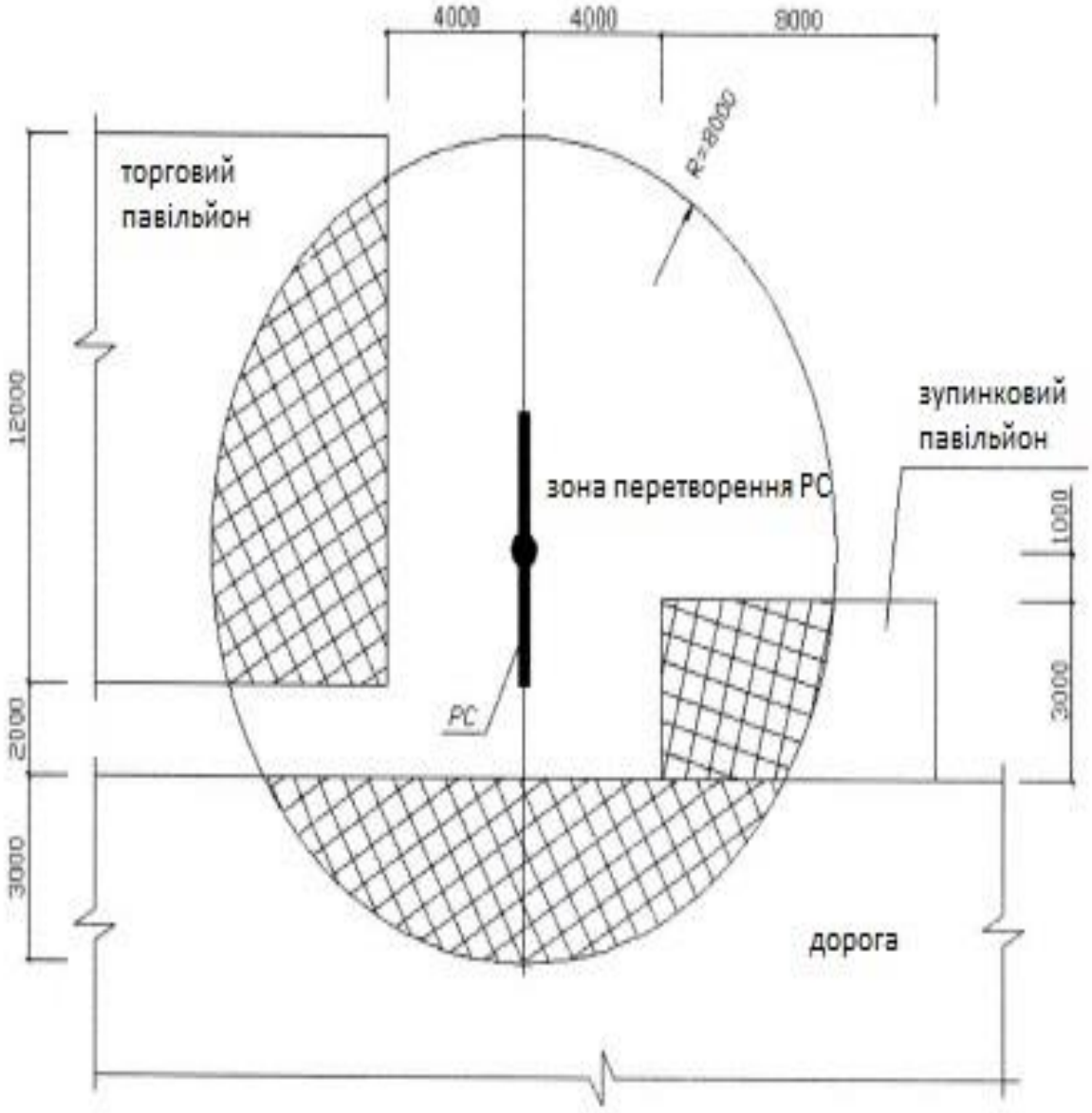


Рисунок 3.6 - Варіант розміщення РС біля

Графічна реалізація умови повних витрат крива 5, 6, 7; витрат, пов'язаних із виготовленням та монтажем РС крива 1; витрат, пов'язаних з можливими збитками крива 2, 3, 4 залежно від геометричних параметрів елемента РС наведено на рис. 3.7.

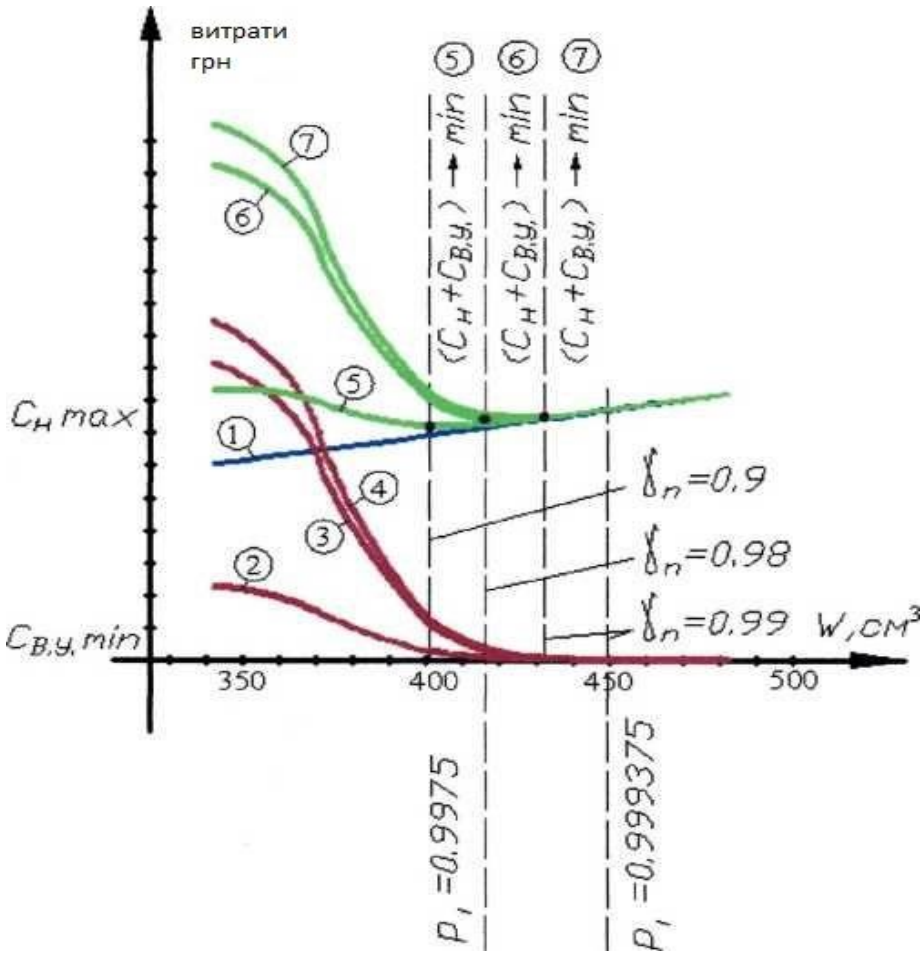


Рисунок 3.7 - Залежність повних витрат для РС, що розглядається, від пластичного моменту опору перерізу стійки.

На рисунку 3.7 наведено характер зміни повних можливих витрат та можливих збитків при обліку:

1 - витрат пов'язаних з відновленням РС після відмови (крива 2 та 5);

2 - витрат пов'язаних з відновленням РС після відмови та погіршенням репутації організації власника РС (крива 3 та 6);

3 - витрат пов'язаних із відновленням РС після відмови, погіршенням репутації організації власника РС та втрат ТМЦ, що знаходяться в зоні обвалення РС (крива 4 та 7).

Також на рисунку 3.7 наведено обмеження за величиною допустимої ймовірності обвалення РС з обліку соціальних втрат з необхідними

значеннями ймовірності безвідмовної роботи: для зони 1 (поруч із зупинковими павільйонами та пішохідними зонами) p_i, = 0.999375, для зони 2 (з можливою присутністю людей) p_i = 0.9975.

Аналіз зміни величини повних витрат (криві 5, 6, 7) для розглянутих видів збитків показує оптимальні значення ймовірності безвідмовної роботи РС та визначені для них значення коефіцієнта надійності:

1 - γ_n = 0.9 (крива 5); 2 - γ_n= 0.98 (крива 6); 3 - γ_n= 0.99 (крива 7).

Дані рівні оптимальної надійності пояснюються високою часткою витрат пов'язаних із можливим збитком у загальному значенні величини повних можливих витрат.

Таким чином, для РС оптимальне значення коефіцієнта надійності уп у разі відмови при врахуванні наслідку:

- ремонту РС - γ_n = 0.9;

- ремонту РС та погіршення репутації власника РС - γ_n = 0.98;

- ремонту РС, погіршення репутації власника РС та пошкодження ТМЦ у зоні обвалення РС – γ_n = 0.99;

- соціальних втрат – γ_n = 0.99.

-

3.4 Висновки з розділу 3

1. Розроблено імовірнісну методику, що дозволяє оптимізувати параметри РС з урахуванням можливих соціально-економічних втрат.

2. Визначено параметри розподілу Вейбула с та β тиску вітру.

3. Визначено значення коефіцієнта надійності для РС з урахуванням можливих наслідків:

- при ремонті РС γ_n = 0.9;

- при ремонті РС та погіршенні репутації власника РС γ_n = 0.98;

- при ремонті РС, погіршенні репутації власника РС та пошкодженні

ТМЦ у зоні обвалення РС – $\gamma_n = 0.99$;

4. Визначено значення коефіцієнта надійності у разі соціальних втрат: $\gamma_n = 0.99$.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію моделювання вітрового навантаження та запропоновано параметри розрахункових схем методом дискретних вихорів (МДВ) для визначення вітрового навантаження на рекламні споруди.

2. Виконано розрахунки та проведено порівняння результатів моделювання вітрового навантаження, отриманих за допомогою чисельних методів МДВ та МКО. Точність моделювання склала: у зоні «несуттєвого впливу відривних обтікань» – 5%; у зоні «суттєвого впливу відривних обтікань» $30° \leq \alpha \leq 60°$ - 25%. Що дозволяє використовувати чисельні методи на вирішення аналогічних завдань.

3. Для рекламних споруд, нижня кромка яких розташовується нижче 3 метрів від рівня землі, значення C_e слід збільшувати на 10%.

4. Експериментальні значення напруги в елементах рекламних споруд з точністю до 7% збігаються з теоретичними значеннями і підтверджують асиметричний характер застосування вітрового навантаження при різних кутах вітрового впливу.

5. Експериментальні власні частоти (14-1.5Гц) з точністю до 2% збігаються з теоретичними значеннями коливань рекламних споруд.

6. Розроблено ймовірнісну методику розрахунку, що дозволяє оптимізувати параметри рекламних споруд з урахуванням можливих соціально-економічних втрат.

7.Мінімальне значення коефіцієнта надійності рекламних споруд з обліку економічних втрат слід набувати: γ_n=0.9, з обліку соціальних втрат: γ_n = 0.99.

.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». Норми проектування /Державні будівельні норми України. – Офіційне видання. Київ: Мінбуд України, 2006. 78 с.

2. Leslie E. Robertson, Edwin Henry Gaylord. Tall Building: Criteria and Loading. ASCE Publications, 1980, 888.

3. EN 1991-1-4:2005. Actions on structures - Part 1-4: General actions – Wind actions.

4. EN 1993-3-1:2006. Design of steel structures - Part 3-1: Towers, masts and chimneys - Towers and masts.

5. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2010, IDT) Київ: Міністерство регіонального розвитку,тбудівництва та житлово-комунального господарства України 2011. 57 с.

6. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 єврокод 1, загальні дії на конструкції, частина 1-4, вітрові навантаження. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2011. 165 с.

7. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:201X. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 201X. 91 с.

8. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2011. 150 с.

9. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011 єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з`єднань. Київ: Міністерство

регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2012. 196 с.

10. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-11: Design of structures with tension components / British Standards BTI. London, 2006. 36 с.

11. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції / Державні будівельні норми України. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 127с.

12. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. Випуск 9, 2012 р. С. 177-192.

13. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.

14. Металеві конструкції: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський Л.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Бєлов І.Д.,ВолодимирськийВ.О. – Видання 2-е. Київ: Сталь, 2010. 869 с.

15. Bernoulli D.Specimen theoriae novas de mesura sortls. Comentarii Academiae Scientarium Imperialis Petropolitanae, 1738, 5, pp. 175-192.

16. Mesarovic M.D. Multilevel concept for systems engineering, Proc.Systems End.Conf., Chicago, 111, 1965.

17. Oxley R., Poskitt J. Management technigues applied to the constraction industry. London, Toronto, New York : Crosby Lockwood Staples Granade Pubb. 1979.

18. Швець В.Б., Фёклін В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція фундаментів. Харків: СІ, 2002. 203 с.

19. Davenport A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. Jut. Reseach Seminar on Wind Effects on Building and Structure, Ottava, 1967.

20. Duchene-Marullar Ph. Etudes des vitesses maximales annuelles de vent pour lecalcul des surcharges. Cahier du CSTB, 1972, Liv.131.

21. Pashinski V.A., Pichugin S.F. Wind Load Probabilistic Description

and ValueComputation Procedure Adopted for Building Code of Ukraine. Preprints EECWE´94. –Warsaw (Poland), 1994, Part 1, Vol.3, P. 49 – 52

22. Pichugin S.F. Probabilistic Analysis on Wind Load and Reliability of Structures. Proc. Of the 2 EACWE.– Genova (Italy), 1997, Vol. 2, P. 1883 – 1890.

23. Pichugin S.F. Probabilistic Specification of Design Wind Load Coefficients. 2nd East European Conference on Wind Engineering. – Prague, 1998, P. 511–515

24. Кінаш Р.І., Бурнаєв О.М. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси в Україні. Львів: Вид-во науково-технічної літератури, 1998, 1152 с.

25. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції. К.: Вид-во «Сталь», 1999, 185 с.

26. Simiu E., Scanlan R.H. Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design. New York: John Wiley, 1996, 704 p.

27. Пічугін С.Ф., Северин В.О. Особливості імовірнісного розрахунку елементів на вітрове навантаження. Вісник ДонДАБА, 2001, вип. 2001-4(29), – С. 91– 96.

28. Sergiy Pichugin and Vitaliy Severin. Certain problems and probabilistic modelling of wind loads. Proceedings of 3rd East European Conference on Wind Engineering (3rd EECWE 2002), Kyiv, 2002, P. 58 - 60.

29. Пічугін С.Ф., Северин В.О. Імовірнісні моделі атмосферних навнтажень. Proceedings of 2rd International Conference ―Problems of the Technical Meteorology‖, – Lviv, 2002, P. 113 – 118.

30. Пічугін С.Ф., Махінько А.В. Імовірнісний опис статичної складової вітрового навантаження у техніці абсолютних максимумів випадкового процесу. Вісник ДонДАБА, вип. 2003-2 (39), 2003. С. 76 – 82.

31. Кінаш Р.І., Гук Я.С. Районування території Закарпатської області за вітровим навантаженням. Зб. наук. праць Укр. науково-досл. та проектного ін.-ту стал. конструкцій ім. В.М. Шимановського, 2010, вип. 5. К.: Вид-во

«Сталь», С.117 – 123.

32. Добрянський І.М., Лопатка С.С. Актуальні проблеми дослідження профілів змінного з висотою тиску на будівлі і споруди. Вісник Національного університету ―Львівська політехніка‖, 2002, № 462, С. 41 – 46.

33. Пашинський В.А. Методика адміністративно-територіального айонування кліматичних навантажень на будівельні конструкції. Зб. наук. Праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди», 2016, вип. 32. Рівне: НУВГП,. – С. 387 – 393.