

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра промислового, цивільного будівництва
ім. Є. М. Бабича

03-01-216М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійного вивчення та виконання
розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни
«Металеві конструкції інженерних споруд»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою
«Промислове та цивільне будівництво»
спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІБАД
Протокол № 1 від 28.08.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до самостійного вивчення та виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Металеві конструкції інженерних споруд» здобувачами вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво» а спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Романюк В. В., Налєпа О. І., Безнюк Л. І., Романюк Є. В. – Рівне : НУВГП, 2025. – 47 с.

Укладачі: Романюк В. В., кандидат технічних наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича; Налєпа О. І., кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича; Безнюк Л. І., магістр, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича; Романюк Є. В., магістр, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича.

Відповідальний за випуск Філіпчук С. В., доктор технічних наук, професор, виконувач обов'язків завідувача кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича.

Керівник групи забезпечення спеціальності
G19 «Будівництво та цивільна інженерія»

Філіпчук С. В

© В. В. Романюк, О. І. Налєпа,
Л. І. Безнюк . Є. В. Романюк, 2025
© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2025

Зміст

Вступ	3
Програма навчальної дисципліни	4
Питання для самопідготовки до складання підсумкового екзамену здобувачами вищої освіти другого (магістерського) рівня денної та заочної форм навчання	6
Індивідуальна робота здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня	9
Рекомендована література	11
Інформаційні ресурси	12
Додаток А. Зразок розрахунково-графічної роботи	13

Вступ

Навчальна дисципліна «Металеві конструкції інженерних споруд» згідно з навчальним планом належить до дисциплін фахової підготовки з циклу дисциплін за вибором вищого навчального закладу за спеціальністю G19 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво».

Міждисциплінарні зв'язки: дисципліна є складовою частиною підготовки здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю G19 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво». Вивчення курсу передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із суміжних дисциплін «Теоретична механіка», «Опір матеріалів», «Будівельна механіка», «Будівельне матеріалознавство», «Архітектура будівель і споруд (спекурс) з курсовим проектом», «Металеві конструкції з курсовим проектом», «Залізобетонні конструкції з курсовим проектом», а також вивчення нормативної і спеціальної літератури, активну роботу на лекційних та практичних заняттях, самостійну роботу та виконання індивідуального завдання у вигляді розрахунково-графічної роботи.

Вимоги до знань та умінь фахівців визначаються галузевими стандартами вищої освіти України.

Метою викладання дисципліни «Металеві конструкції інженерних споруд» є фахова підготовка здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю G19 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво», які повинні:

знати: види листових конструкцій та особливості їх напруженого стану; великопрольотні конструкції покриттів з плоскими та просторовими несучими системами; багатоповерхові будинки; висотні споруди; номенклатуру та особливості роботи легких металевих конструкцій одноповерхових виробничих будівель; загальні положення та класифікацію способів реконструкції виробничих будинків, а також методи підсилення несучих конструкцій;

вміти: розраховувати розтягнуті, стиснуті та згинальні елементи будівельних конструкцій; конструювати резервуари для нафтопродуктів низького тиску та бункери; компонувати великопрольотні покриття балкових, арочних і рамних систем, оболонки, куполів, структур, складок; компонувати несучі системи багатоповерхових будинків та висотних споруд; виконувати розрахунки і конструювання полегшених балок з гнучкою та перфорованою стінками; визначати технічний стан конструкцій та проектувати їх підсилення.

Програма навчальної дисципліни

Тема 1. Листові конструкції

Галузі застосування, класифікація, особливості експлуатації, виготовлення та монтажу листових конструкцій. Навантаження та впливи, особливості напруженого стану тонких металевих оболонок і пластинок. Основи розрахунку тонких оболонок і пластинок, крайовий ефект.

Галузі застосування, класифікація, особливості експлуатації резервуарів. Основи розрахунку резервуарів різних

типів. Галузі застосування, класифікація та особливості експлуатації газгольдерів.

Галузі застосування, класифікація, особливості навантажень на бункери і силоси. Основи компонування, конструювання та розрахунку бункерів з плоскими стінками.

Тема 2. Металеві конструкції великопрольотних покриттів з плоскими та просторовими несучими системами

Галузі застосування, класифікація, основні особливості великопрольотних покриттів. Основи компонування та розрахунку балкових, аркових і рамних великопрольотних покриттів.

Класифікація і аналіз просторових стержневих систем. Особливості компонування, конструювання і розрахунку просторових плит (перехресних ферм і структур).

Особливості компонування, конструювання та основи розрахунку оболонок, куполів та складок.

Великопрольотні висячі покриття: системи висячих покриттів, основні властивості, особливості роботи, способи стабілізації. Особливості компонування, конструювання та розрахунку однопоясних, двопоясних та інших систем покриттів.

Тема 3. Металеві конструкції багатоповерхових будинків

Галузі застосування, класифікація, особливості роботи та компонування несучих систем багатоповерхових будинків. Проектування елементів каркасу багатоповерхових будинків різних систем. Типи елементів, особливості роботи, перевірка міцності та стійкості.

Тема 4. Висотні споруди

Галузі застосування, класифікація, особливості проектування та зведення висотних споруд. Особливості конструювання, компонування та розрахунку несучих конструкцій веж і щогл споруд зв'язку.

Тема 5. Легкі металеві конструкції одноповерхових виробничих будівель і споруд

Загальна характеристика та галузі застосування легких сталевих конструкцій. Особливості компонування каркасів з легких металевих конструкцій.

Особливості роботи, конструкції та розрахунку легких балок з гнучкою та перфорованою стінками.

Конструктивні особливості та основи розрахунку конструкцій легких покриттів, стояків та колон легких сталевих каркасів.

Тема 6. Реконструкція та підсилення несучих конструкцій будівель і споруд

Загальні положення та класифікація способів реконструкції виробничих будівель; вплив різних факторів на стан конструкцій.

Технічний стан та обстеження існуючих сталевих конструкцій.

Методи підсилення конструкцій. Особливості конструювання, роботи та розрахунку елементів і з'єднань, які підсилюються під навантаженням.

Питання для самопідготовки до складання підсумкового екзамену здобувачами вищої освіти другого (магістерського) рівня денної та заочної форм навчання

Тема 1. Листові конструкції

1. Галузі застосування та класифікація листових конструкцій.
2. Особливості експлуатації, виготовлення та монтажу листових конструкцій.
3. Основи розрахунку тонких оболонки і пластинок.
4. Крайовий ефект.
5. Загальна характеристика резервуарів.

6. Вертикальні циліндричні резервуари.
7. Конструювання днищ, стінок і покрівлі вертикальних циліндричних резервуарів.
8. Горизонтальні циліндричні і сферичні резервуари.
9. Загальна характеристика газгольдерів. Сухі і мокрі газгольдери.
10. Загальна характеристика бункерів і силосів.
11. Бункери з плоскими стінками.
12. Гнучкі бункери.

Тема 2. Металеві конструкції великопрольотних покриттів з плоскими та просторовими несучими системами

13. Загальна характеристика великопрольотних покриттів.
14. Основи компонування, конструювання та розрахунку балкових великопрольотних покриттів.
15. Основи компонування, конструювання та розрахунку рамних великопрольотних покриттів.
16. Основи компонування та конструювання аркових великопрольотних покриттів.
17. Структурні і перехресно-балкові системи покриттів.
18. Одно- та двосітчасті оболонки.
19. Куполи (ребристий, ребристо-кільцевий, сітчастий).
20. Складки.
21. Загальна характеристика висячих покриттів.
22. Однопоясні системи з гнучкими вантами.
23. Однопоясні системи з жорсткими вантами.
24. Двопоясні системи.
25. Сідлоподібні сітки. Металеві оболонки-мембрани.

Тема 3. Металеві конструкції багатоповерхових будинків

26. Загальна характеристика і основні особливості каркасів багатоповерхових будинків.
27. Рамні, в'язеві і рамно-в'язеві каркаси багатоповерхових будинків.

28. Розміщення колон в плані і по висоті багатоповерхових будинків.
29. Компонування в'язей багатоповерхових будинків.
30. Колони і балки багатоповерхових будинків.
31. Основи розрахунку каркасів сталевих багатоповерхових будинків.

Тема 4. Висотні споруди

32. Загальна характеристика висотних споруд.
33. Навантаження та впливи на висотні споруди.
34. Вітрове навантаження.
35. Проектування несучих конструкцій веж.
36. Проектування щогл.

Тема 5. Легкі металеві конструкції

1. Загальна характеристика та галузі застосування легких сталевих конструкцій.
2. Легкі несучі та огорожувальні конструкції.
3. Балки з гнучкою стінкою.
4. Балки з перфорованою стінкою.
5. Ферми з труб.
6. Ферми з гнutoзварних коробчастих профілів.

Тема 6. Реконструкція та підсилення несучих конструкцій

7. Поняття про реконструкцію та технічне переозброєння підприємств.
8. Оцінка технічного стану металевих конструкцій, що підлягають реконструкції.
9. Виявлення резервів несучої здатності каркаса.
10. Методи і способи підсилення конструкцій.
11. Особливості конструювання, роботи і розрахунку елементів і з'єднань, які підсилюються під навантаженням.

Індивідуальна робота здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня

Індивідуальна робота полягає у виконанні індивідуального науково-дослідного завдання у вигляді розрахунково-графічної роботи на одну з тем теоретичного курсу. Загальна кількість годин для виконання індивідуального науково-дослідного завдання (розрахунково-графічної роботи) становить 30 годин.

Обсяг розрахунково-графічної роботи становить 25...30 сторінок друкованого тексту з необхідними рисунками, схемами та графіками і оформлюється на папері формату А4.

Пропонується використовувати текстовий редактор “Word”, редактор формул “Microsoft Equation”, шрифт “Times New Roman” 14 пт.

Виконана студентом розрахунково-графічна робота представляється до захисту і оцінюється у сумі від 24 до 40 балів.

Завдання для виконання розрахунково-графічної роботи студенти денної та заочної форм навчання одержують на кафедрі промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича. Зразок роботи наведено у дод. А.

Орієнтовний перелік тем розрахунково-графічної роботи.

1. Вертикальний циліндричний резервуар низького тиску (резервуар постійного об'єму зі стаціонарною покрівлею).
2. Вертикальний циліндричний резервуар низького тиску (резервуар зі стаціонарною покрівлею з понтоном).
3. Вертикальний циліндричний резервуар низького тиску (резервуар з плаваючою покрівлею).
4. Стінки, днища та покрівлі вертикальних циліндричних резервуарів.
5. Циліндричні та сферичні резервуари.
6. Мокрі газгольдери змінного об'єму.
7. Сухі газгольдери змінного об'єму.
8. Бункери з плоскими та гнучкими стінками.
9. Проектування елементів вертикальних циліндричних резервуарів низького тиску.
10. Розрахунок та конструювання бункерів з плоскими стінками.

11. Розрахунок наскрізного стовбура водонапірної башти.
12. Розрахунок та конструювання резервуара водонапірної башти.
13. Балкові великопрольотні покриття.
14. Рамні великопрольотні покриття.
15. Аркові великопрольотні покриття.
16. Перехресно-балкові та структурні покриття.
17. Одно- та двосітчасті оболонки.
18. Ребристі, ребристо-кільцеві та сітчасті куполи.
19. Складчасті покриття.
20. Проектування елементів куполів, складок, структур.
21. Одно та двопоясні висячі покриття.
22. Каркаси багатоповерхових будинків.
23. Конструкції або будівлі з використанням перфорованих елементів.
24. Стінові панелі типу «Сендвіч».
25. Покрівельні панелі типу «Сендвіч».
26. Ферми з круглих труб.
27. Ферми з замкнених гнutoзварних профілів.
28. Щогли.
29. Башти.
30. Проектування елементів башт і щогл.
31. Методи та способи підсилення несучих конструкцій каркасів будівель різноманітного призначення.
32. Проектування підсилення балок та колон будівель різноманітного призначення.
33. Проектування підсилення зварних та болтових з'єднань.

Рекомендована література

Базова:

1. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л. І. Металеві конструкції : підручник 2-е вид., випр. і доп. Львів : Світ, 2002. 312 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни «Металеві конструкції» для студентів напряму підготовки 6.060101 «Промислове та цивільне будівництво» денної форми навчання. XIV. Листові конструкції. XV. Великопролітні покриття. XVI. Стальні каркаси багатоповерхових будинків. XVII. Висотні споруди. XVIII. Легкі металеві конструкції. XIX. Реконструкція та підсилення металевих конструкцій / Налєпа О. І. Рівне : НУВГП, 2013. 154 с.
3. Металеві конструкції : підручник / О. О. Нілов та ін.; за ред. О. О. Нілова та О. В. Шимановського ; 2-е вид., перероб. і доп. К. : «Сталь», 2010. 869 с.
4. Романюк В. В. Робочі майданчики виробничих будівель : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2007. 281 с.
5. Романюк В. В. Металеві конструкції. Розрахунок елементів і з'єднань : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2014. 449 с.
6. Романюк В. В., Супрунюк В. В. Металеві конструкції. Каркаси одноповерхових промислових будівель : навч. посіб. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2021. 501 с.

Допоміжна:

1. ДБН В.2.6–165:2011. Алюмінієві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2012–07–01]. Вид. офіц. К. : ДП «Укрархбудінформ», 2012. 80 с.
2. ДБН В.1.2–14–2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Норми проектування. [Чинний від 2009–12–01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 37 с.
3. ДБН В.1.2–2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007–01–01]. Вид. офіц. К. : Сталь, 2006. 59 с.
4. ДСТУ Б В.1.2–3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007–01–01]. Вид. офіц. К. : Сталь, 2006. 10 с.

5. ДБН В.2.6–198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2015–01–01]. Вид. офіц. К. : ДП «Укрархбудінформ», 2014. 199 с.

Інформаційні ресурси

1. Національна бібліотека ім. В. І. Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua>.
2. Обласна наукова бібліотека. URL: <http://www.lib.rv.ua>.
3. Рівненська централізована бібліотечна система. URL: <http://cbs.rv.ua>.
4. Наукова бібліотека НУВГП. URL: <http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka>.
5. Цифровий репозиторій НУВГП. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua>.
6. Рівненський ЦНТЕІ. URL: <http://cntei.rv.ua>.
7. Інтернет бібліотеки:
 - загально-освітня електронна бібліотека. URL: <http://alledu.eup.ru>;
 - електронна бібліотека «Наука и техника». URL: <http://n-t.ru>.
8. Пошукові сайти (науково-технічні). URL: <http://scholar.google.ru>; <http://www.scopus.com>; <http://www.sciencedirect.com>; <http://www.scienceresearch.com/scienceresearch/>; <http://scirus.com>; <http://www.scinet.cc/>.

Додаток А. Зразок розрахунково-графічної роботи

Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут будівництва, архітектури та
дизайну
Кафедра промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича

Розрахунково-графічна робота
з дисципліни
«Металеві конструкції інженерних споруд»
на тему «Висотні споруди: проектування та дефекти»

Студента ПЦБ-51м групи
ННІБАД
Спеціальності G19 «Будівництво та
цивільна інженерія»
Освітньо-професійної програми
«Промислове та цивільне
будівництво»

Керівник _____

Національна _____ шкала

Кількість
балів _____

Оцінка
ECTS _____

Члени
комісії _____

м. Рівне – 2025 рік
Зміст

- | | |
|--|----|
| 1. Загальна характеристика висотних споруд | 15 |
|--|----|

2.	Конструктивні рішення башт і щогл	17
3.	Навантаження та впливи на висотні споруди	21
4.	Основи розрахунку башт	24
5.	Основи розрахунку щогл	27
6.	Основні дефекти та пошкодження висотних споруд	32
7.	Література	46

1. Загальна характеристика висотних споруд

На сьогоднішній день у зв'язку із поширенням мобільного зв'язку та необхідністю оптимізації конструкції масових серійних щогл, що будуються, обслуговуються та паспортизуються в Україні виникла гостра необхідність у проектуванні раціональних щогл, як найбільш типових опорних систем, а також потреба у аналізі стану існуючих висотних споруд для оцінки їх довговічності та надійності.

Висотними називають споруди великої висоти, яка перевищує розміри в плані більш ніж у 5..8 разів. Висота цих споруд сягає 500..600 м. Існують проекти споруд висотою до 4000 м.

Висотні споруди поділяють на два основні види: башти і щогли (рис. 1). Принципова відмінність між ними полягає в особливостях статичної схеми.

Також окремими групами можна виділити комбіновані опори та опори, що встановлені на дахах будівель.

Комбіновані опори складаються із залізобетонного стовпа (опори контактної мережі або лінії електропостачання) та сталеві надбудови, що являє собою щоглу заввишки від 2 до 22 м із 1–2 рівнями відтяжок або без відтяжок. Рідше зустрічаються стовпи, обладнані лише надбудовою у вигляді майданчика з трубостійками для кріплення антен. Несуча здатність такої опори обмежена несучою здатністю залізобетонної частини та наявністю або відсутністю фундаменту у вигляді залізобетонної плити, розташованої на поверхні землі. Завдяки низькій вартості такий тип опор широко розповсюджений на території України.

Опори, що встановлені на дахах будівель являють собою: сталеві трубостійки заввишки до 6 м, сталеві гратчасті три- або чотиригранні башти заввишки до 20 м, алюмінієві трикутні щогли висотою до 20 м та сталеві три- або чотиригранні щогли заввишки до 30 м. Несуча здатність таких опор обмежена

міцністю будівлі в цілому та його окремих елементів. Такі споруди потребують постійного технічного нагляду внаслідок встановлення їх у місцях щільної міської забудови та масового скупчення людей.

Баштою називається вільно стояча, жорстко зацмелена в основі конструкція, що працює як консоль. Несуча здатність башти забезпечена перерізом стовбура башти, анкерними пристроями та конструкцією фундаментів.

Щогла являє собою шарнірно (іноді жорстко) опертий на фундамент тонкий стовбур, стійкість положення якого забезпечується системою відтяжок.

Ці особливості визначають переваги та недоліки башт і щогл.

Переваги башт порівняно зі щоглами:

- 1) висока надійність в експлуатації;
- 2) менша площа забудови;
- 3) не потребують постійного технічного нагляду.

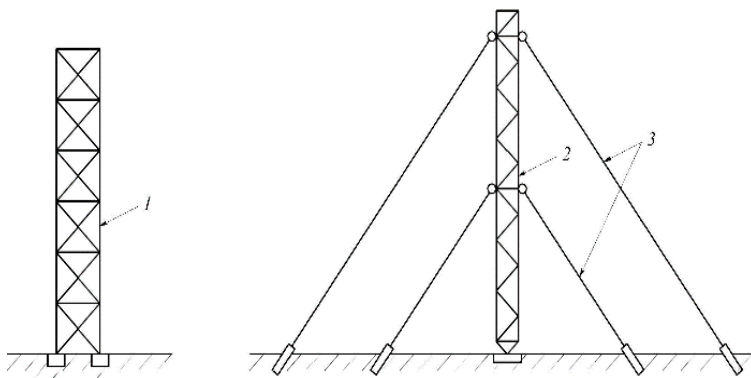


Рис.1. Схема башти і щогли

1 – башта; 2 – стовбур щогли; 3 – відтяжки

Наприклад, для будівництва щогли висотою 200 м площа забудови становить майже 3 га, тоді як для башти такої ж висоти

достатньо всього 0,15 га. Тому в умовах міської забудови перевага надається баштам.

Недоліком башт є більші витрати сталі.

Наприклад, при висоті 150..200 м вартість башт на 20..30% більша, ніж щогл. Цей розрив збільшується зі зростанням висоти споруди, тому застосування башт є доцільним лише для унікальних споруд.

Переваги щогл:

1) висока індустріальність виготовлення та зручність монтажу;

2) менші витрати сталі.

Недоліки щогл:

1) значно більша площа забудови внаслідок наявності відтяжок;

2) необхідність постійного технічного нагляду, що полягає в контролі монтажного натягу відтяжок та вертикальності стовбура щогли.

Областю використання башт і щогл є, як правило, опори різного технологічного призначення: опори для обладнання телевізійних і радіомовних центрів, ліній зв'язку і електропередачі, опори антенних та освітлювальних систем, опори висячих мостів та канатних доріг, бурові вишки, шахтні копри, маяки, водонапірні башти, метеорологічні опори, димові та вентиляційні труби тощо.

2. Конструктивні рішення башт і щогл

За конструкцією башти та стовбури щогл можуть бути решітчастими та суцільними.

Решітчасті конструкції являють собою просторові шарнірно-стержневі системи (ферми) різної конфігурації.

Суцільні конструкції виконують у вигляді сталевих циліндричних або конічних оболонок.

Завдяки індустріальності виготовлення та монтажу найбільше розповсюдження отримали решітчасті башти і стовбури щогл. Суцільні конструкції круглої форми застосовуються в стовбурах щогл, а в баштах практично не зустрічаються.

Решітчасті башти мають в плані переріз у вигляді правильного багатокутника. Найчастіше використовуються три- або чотиригранні башти. При висоті більшій за 300 м для зменшення ширини грані і зменшення довжини стержнів решітки проектують шести- або восьмигранні башти. Зі збільшенням числа граней витрати сталі зростають. Наприклад, при переході від тригранної башти до чотиригранної маса збільшується на 10%, а до шестигранної – на 21%.

Для забезпечення незмінності поперечних перерізів башт по їх висоті на відстані, що дорівнює 2...3 розмірам поперечного перерізу влаштовують жорсткі диски – діафрагми жорсткості. Обов'язково діафрагми влаштовують у тих перерізах башти, де прикладено зосереджені сили, або розташовано місця зламів поясів. Діафрагми жорсткості використовують як технологічні майданчики.

За обрисами поясів башти можуть бути призматичної або пірамідальної форми без зламів поясів, з одним чи декількома зламами по висоті (рис. 2).

Ширина башти біля основи $B=(1/8...1/20)H$, ширина верхівки $b \approx 1...2$ м.

Кожний з наведених обрисів башти має свої переваги і недоліки, які оцінюються шляхом техніко-економічного порівняння варіантів. З одного боку, влаштування зламів у поясах ускладнює конструкцію башти, підвищує трудомісткість виготовлення і монтажу башт. З іншого боку, башта зі зламами

поясів за своєю формою і характером роботи наближається до стержня рівного опору, що забезпечує зменшення витрат металу на башту.

Застосовують такі типи решіток, які з'єднують пояси решітчастих башт і стовбурів щогл (рис. 3): 1) розкісна; 2) трикутна; 3) хрестова; 4) хрестова з додатковими розпірками; 5) ромбічна; 6) ромбічна з додатковими розпірками; 7) напіврозкісна.

Розкісна та трикутна решітки мають малу кількість елементів. Розкоси працюють на розтяг або стиск залежно від напрямку дії навантаження, а тому їх розраховують за більш невигідним випадком – за умовою стійкості стиснутих елементів. Розкісна решітка має значну розрахункову довжину у площині граней, а тому вигідна у разі їх невеликої ширини.

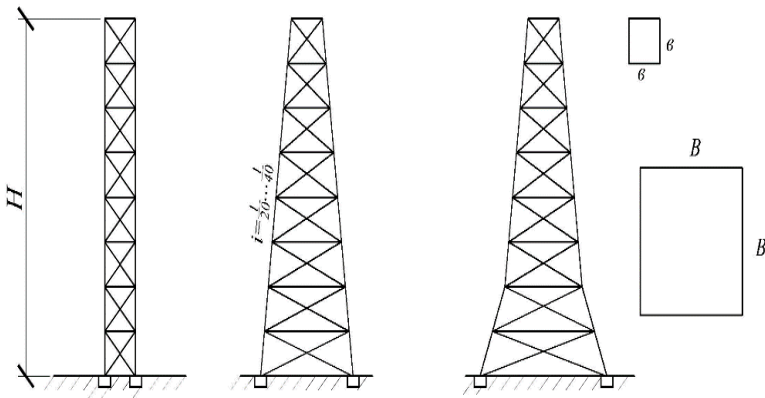


Рис. 2. Обриси поясів башт

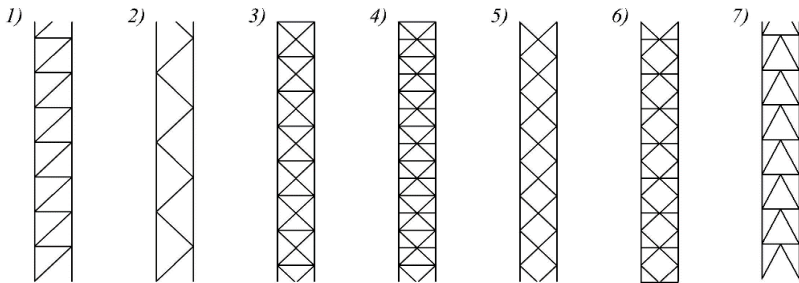


Рис. 3. Типи решіток башт і стовбурів щогл

Хрестова решітка є більш складною за конструкцією, але дозволяє використовувати гнучкі розкоси, які працюють лише на розтяг, а у разі стиску виключаються з роботи. Для збільшення жорсткості та зменшення витрат сталі на решітку можна використовувати попереднє напруження розкосів.

У ромбічній решітці розкоси працюють і на розтяг, і на стиск, як у трикутній і розкісній решітках, але розрахункова довжина стержнів є у два рази меншою. І тому вона є більш вигідною, якщо ширині граней є значною.

Для зменшення розрахункової довжини поясів у хрестовій і ромбічній решітках можуть влаштовуватись додаткові розпірки.

Напіврозкісна решітка є найбільш жорсткою, а тому застосовується при підвищених вимогах до жорсткості башт чи стовбурів щогл.

В решічастих стовбурах щогл найбільш вигідною є трикутна решітка.

На вибір типів перерізів поясів і решітки башт та стовбурів щогл впливають такі особливості їх роботи:

1) залежність величини вітрового навантаження (як основного навантаження на висотні споруди) від розмірів та форми перерізів елементів. Наприклад, для башт висотою 200 м,

елементи яких мають трубчастий переріз і хрестовий переріз з кутиків, співвідношення мас становить 1:2,24;

2) можливість виникнення змінних за знаком та величиною зусиль в одних і тих самих елементах;

3) наявність температурних та корозійних впливів.

Пояси у більшості випадків виконують з круглих труб, які мають найменший лобовий опір та ефективні у разі роботі на стиск.

При невеликій висоті використовують також перерізи з одинарних чи спарених кутиків. Розкоси виконують з труб, кутиків (хрестового і таврового перерізів), складених перерізів зі швелерів. Гнучкі розкоси в хрестовій решітці виконують з одинарних кутиків, круглої сталі або канатів (два останні обов'язково попередньо напружують).

Для відтяжок щогл застосовують сталіні оцинковані канати різних типів.

Для башт і щогл висотою до 500 м застосовують маловуглецеві сталі С235...С285 та низьколеговані С345, С375, С440. Для унікальних споруд можливе застосування спеціальних сталей.

Для газовідвідних стовбурів витяжних башт застосовують сталі, які характеризуються високою корозійною стійкістю в умовах впливу агресивних середовищ і високих температур. До таких матеріалів належать нержавіючі і жаростійкі сталі, титанові сплави, синтетичні матеріали тощо.

3. Навантаження та впливи на висотні споруди

Висотні споруди типу башт і щогл відрізняються тим, що для них основним навантаженням є вітрове навантаження, яке різко зростає в міру віддалення від поверхні землі. Порівняно велика гнучкість цих споруд та їх окремих елементів наближає

частоту власних коливань конструкції до частоти пульсацій вітрового напору, внаслідок чого конструкція починає активно взаємодіяти з вітровим потоком. Тому, на відміну від звичайних жорстких будівель, для башт та щогл необхідно враховувати не лише статичний (середній), але й динамічний (пульсаційний) вплив вітрового тиску. Маса конструкції та навантаження від обладнання мають другорядне значення порівняно з вітровим навантаженням.

У загальному навантаження на башти та щогли поділяються на постійні і змінні (тривалі, короточасні, епізодичні).

До постійних навантажень належать: вага постійних частин несучих конструкцій; вага обладнання, без якого споруда не може функціонувати; вплив попереднього напруження елементів конструкцій.

До тривалих навантажень належать: вага частин споруди, які в процесі експлуатації можуть змінюватися; вага обладнання, яке може змінювати положення; середні швидкості вітру, при яких найбільш часто можливі коливання споруди.

До короточасних навантажень належать: вітрові навантаження максимальної інтенсивності; ожеледиця; зміна температури; атмосферні опади і відкладання пилу; навантаження від ваги людей та інструментів; монтажні.

Епізодичні навантаження – це сейсмічні; вибухові; викликані поломкою обладнання, обривом проводів тощо; нерівномірність осідання основ.

Вітрове навантаження визначають відповідно до [1] та обчислюють за формулою

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C ,$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження, визначений за 9.14[1]; W_0 –

характеристичне значення вітрового тиску за 9.6[1]; C – коефіцієнт, визначений за 9.7[1].

Характеристичне значення вітрового тиску W_0 визначають залежно від вітрового району по карті або за додатком Е[1].

Коефіцієнт C визначають за формулою

$$C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d,$$

де C_{aer} – аеродинамічний коефіцієнт, що визначають за додатком І[1] залежно від форми споруди або конструктивного елемента; C_h – коефіцієнт висоти споруди, що визначають за 9.9[1]; C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, що визначають за 9.10[1]; C_{rel} – коефіцієнт рельєфу, що визначають за 9.11[1]; C_{dir} – коефіцієнт напрямку, що визначають за 9.12[1]; C_d – коефіцієнт динамічності, що визначають за 9.13[1].

Найбільш небезпечні напрямки дії вітру на башти та стовбури щогл при розрахунку поясів (напрямок А) і при розрахунку розкосів (напрямок Б) наведено в табл. 1.

В табл. 1: N_1 – зусилля в поясах від поздовжньої сили; N_2 – зусилля в поясах від згинаючого моменту; N_α – зусилля в розкосах.

Будують епюри вітрового навантаження для розрахунку поясів і розкосів (рис. 4).

Для башт та щогл кругової циліндричної форми (димові труби тощо) вітер може викликати коливання у напрямку, перпендикулярному до потоку. Тому для таких споруд необхідно виконувати перевірку на резонанс.

Навантаження від ваги конструкції і обладнання викликають порівняно невеликі напруження в елементах башт і щогл (до 20...25% від розрахункових). Виключенням є водонапірні башти, для яких навантаження від резервуара з водою є основним.

Таблиця 1

Найбільш небезпечні напрямки дії вітру

$N_1 = \frac{N}{3 \cdot \cos \alpha}$	$N_1 = \frac{N}{4 \cdot \cos \alpha}$	$N_1 = \frac{N}{6 \cdot \cos \alpha}$	$N_1 = \frac{N}{8 \cdot \cos \alpha}$
$N_2 = \frac{2 \cdot M}{3 \cdot r}$	$N_2 = \frac{2 \cdot M}{4 \cdot r}$	$N_2 = \frac{2 \cdot M}{6 \cdot r}$	$N_2 = \frac{2 \cdot M}{8 \cdot r}$
$N_{\alpha} = \frac{Q}{\cos \alpha}$	$N_{\alpha} = \frac{Q}{2 \cdot \cos \alpha}$	$N_{\alpha} = \frac{Q}{2,61 \cdot \cos \alpha}$	$N_{\alpha} = \frac{Q}{2 \cdot \cos \alpha}$

4. Основи розрахунку башт

При розрахунку башт спочатку встановлюють габаритні розміри і схеми розбивки на панелі. Далі задають розміри і форми перерізів та визначають всі навантаження на башту.

Для визначення внутрішніх зусиль використовують точні або наближені методи.

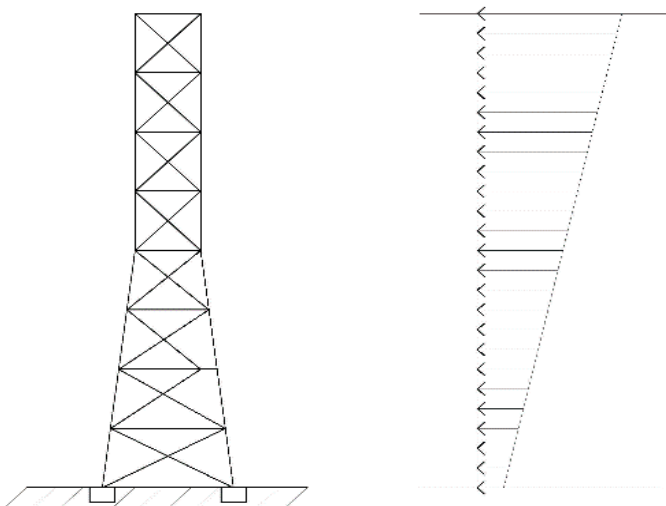


Рис. 4. Епюра вітрового навантаження на башту

Точна розрахункова схема решітчастих башт – це просторова стержнева система з шарнірними з'єднаннями у вузлах. Розрахункова схема суцільної башти – це тонкостінна циліндрична чи конічна консольна оболонка. Розрахунок таких систем за точними розрахунковими схемами достатньо складний і його виконують з використанням ЕОМ.

Наближені способи використовують для попередніх розрахунків (особливо для три- і чотиригранних башт). Серед них найчастіше застосовують такі.

Перший спосіб полягає у розкладанні навантаження на грані башти і визначенні зусиль у гранях як в плоских фермах побудовою діаграм Максвела – Кремони, якщо ці ферми статично визначні (рис. 5).

Другий спосіб полягає в тому, що для решітчастих башт різної форми зусилля в стержнях можна достатньо точно описати через момент M , поздовжні N і поперечні Q сили, отримані для

башти як суцільного вертикального консольного стержня. При цьому для спрощення можна не враховувати вплив M і N на роботу решітки, а також вплив Q на роботу поясів.

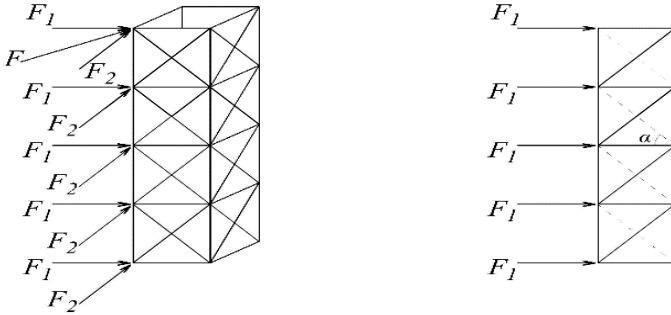


Рис. 5. Розкладання навантаження на грані башти

Повні зусилля в поясах N_f від вертикальних та горизонтальних навантажень дорівнюють сумі зусиль від поздовжньої сили N і згинаючого моменту M , отриманих в башті як у суцільному консольному стержні

$$N_f = N_1 + N_2;$$

де N_1 – зусилля в поясі від дії N ;

$$N_1 = \frac{N}{n \cdot \cos \gamma};$$

N_2 – зусилля в поясі від дії M ;

$$N_2 = \frac{2M}{n \cdot r \cdot \cos \gamma};$$

де n – кількість поясів в башті; γ – кут нахилу поясів до вертикальної осі башти; r – радіус кола, описаного навколо поперечного перерізу башти.

Решітка граней башти сприймає поперечну силу Q і поздовжні зусилля в розкосах від її дії становлять

$$N_d = \frac{Q_{rp}}{\cos \alpha};$$

де α – кут нахилу розкосів до горизонту; Q_{rp} – максимальна поперечна сила в площині грані.

Найбільшого значення поперечна сила в грані досягає тоді, коли напрямок дії вітру збігається з площиною грані

$$Q_{rp} \approx \frac{2 \cdot Q}{n};$$

де n – кількість граней башти.

За розрахунковими зусиллями N_f і N_d перевіряють міцність та стійкість поясів і розкосів як центрально стиснутих або центрально розтягнутих елементів за формулами:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n \quad \text{і} \quad \sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n.$$

Весь стовбур башти перевіряють на загальну стійкість як стиснуто-зігнутий стержень складеного перерізу за формулою

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n.$$

5. Основи розрахунку щогл

Щогла складається з жорсткого стовбура, який працює на стиск і згин, та відтяжок, які можуть працювати тільки на розтяг.

Як правило стовбури виконують решітчастими 3– або 4–гранної призматичної форми. Для надання стовбуру необхідної жорсткості відстані між сусідніми ярусами кріплення відтяжок приймають:

$a \leq 40b$ – для 4–гранного стовбура;

$a \leq 30b$ – для 3–гранного стовбура.

Ширину грані b в типових тригранних щоглах з трубчастих стержнів приймають:

якщо $H=45\dots120$ м – $b=0,8$ м ;

якщо $H=100\dots250$ м – $b=1,35$ м ;

якщо $H=150\dots400$ м – $b=2,2$ м .

Місця кріплення відтяжок погоджують з розміщенням технологічного обладнання. Для тригранних щогл використовують три відтяжки, розміщені під кутом 120° одна до одної, для чотиригранних – чотири відтяжки, розміщені у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Кут нахилу відтяжок до горизонту приймають близько 45° . Для відтяжок використовують сталіні оцинковані канати.

Розрахункова схема стовбура щогли – це нерозрізна багатопрольотна балка, пружними опорами якої є вузли кріплення відтяжок. Відтяжки є гнучкими нитками, навантаженими розподіленим навантаженням від власної ваги та вітру, кінці яких закріплені в різних рівнях.

Така здавалось би проста за конструкцією вантово-стержнева система відрізняється досить складним характером поведінки під навантаженням, що пов'язано з особливістю роботи відтяжок як гнучких ниток, навантажених поперечним навантаженням. Зменшення або збільшення прольоту гнучкої нитки (тобто зближення або розходження кінців) відбувається як від пружного видовження чи укорочення, так і в результаті зміни форми провисання нитки від змінних навантажень, якими для відтяжок є вітер, ожеледиця, температурні перепади. Внаслідок цього виникають значні переміщення відтяжечних вузлів стовбура щогли, що за величиною досягають поперечного розміру стовбура. Зміна ексцентриситету вертикальних сил у стовбурі призводить до появи в ньому додаткових згинаючих моментів. Таким чином, великі деформації щогли призводять до того, що її розрахункова схема змінюється під навантаженням, а тому необхідно виконувати розрахунок за деформованою схемою методом послідовного наближення.

Працездатність щогл забезпечується попереднім натягом відтяжок, в результаті чого вони можуть сприймати стискаючі зусилля, а також збільшується їх поздовжня жорсткість за рахунок зменшення стріли провисання.

Перед розрахунком розробляють конструктивну схему щогли з призначенням форми і основних розмірів елементів стовбура, необхідних для визначення вітрового тиску на щоглу.

Розрахунок щогли виконують у два етапи.

На першому, наближеному етапі, коли перерізи відтяжок ще невідомі (а відповідно, ще невідомі ні вага ниток, ні вітрове навантаження на них), відтяжки розглядають як невагомні нитки, і переміщення вузлів кріплення їх до стовбура щогли не враховують. У результаті стовбур умовно розраховують, як балку на жорстких опорах. Для спрощення попередніх розрахунків у вузли обпирання такої балки вводять шарніри. Отриману таким чином спрощену розрахункову систему використовують для попереднього підбору перерізів стовбура і відтяжок. Для цього в напрямку на одну з відтяжок визначають розрахункове вітрове навантаження на стовбур щогли. За результатами розрахунків будують епюри фактичного вітрового тиску на стовбур щогли, яку в межах ділянок між вузлами кріплення відтяжок замінюють еквівалентним рівномірно розподіленим навантаженням. Таким чином, стовбур щогли розглядають як систему розрізних балок, навантажених вітровим тиском (рис. 6). Для кожної балки визначають опорні реакції і обчислюють суму реакції балок у кожному вузлі.

Таким чином зусилля розтягу в i -тій відтяжці (рис. 7) визначають як

$$N_i = \frac{K \cdot V_i}{\sin \alpha_i},$$

де V_i – сума опорних реакцій балок в i -тому вузлі; K – коефіцієнт, який враховує зусилля попереднього натягу відтяжок; $K=1,2$ (при

трьох або чотирьох відтяжках у вузлі); α_i – кут нахилу i -тої відтяжки до вертикалі.

Розтягуюче зусилля N_i не повинно перевищувати половини розривного зусилля, яке може сприйняти відтяжка.

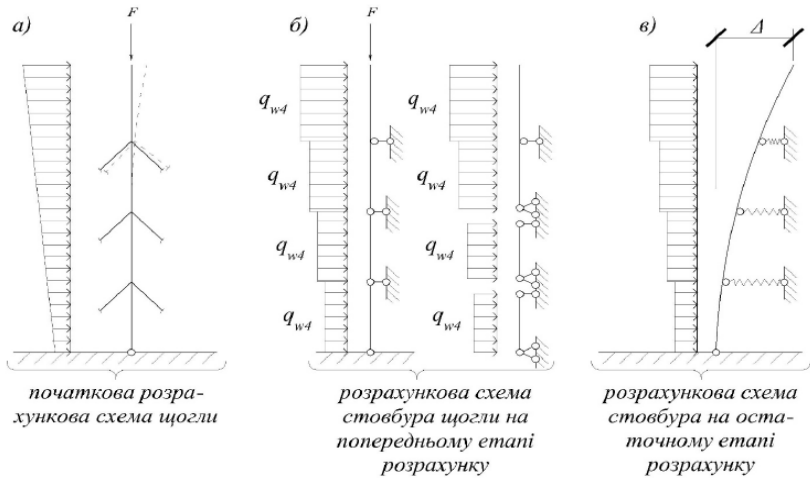


Рис. 6. Етапи розрахунку щогли

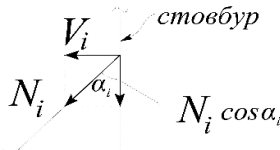


Рис. 7. До визначення зусилля розтягу у відтяжках

Зусилля M та N в перерізах стовбура визначають за формулами:

$$M = 0,1ql^2; N = \sum N_i \cos \gamma_i + N_1 + N_2,$$

де q – усереднений тиск вітру у даному прольоті стовбура щогли;
 $\sum N_i \cos \gamma_i$ – сума проєкцій зусиль усіх вище розташованих

відтяжок на вертикаль; N_1 і N_2 – зусилля відповідно від власної ваги щогли та устаткування.

Зусилля стиску у поясі решітчастого стовбура за спільної дії M і N визначають як і для башт за формулою, що має загальний вигляд

$$N_f = \frac{2M}{nr} + \frac{N}{n},$$

а саме:

а) для щогли з трикутною формою перерізу стовбура

$$N_f = \frac{2M}{3r} + \frac{N}{3};$$

б) для щогли з чотирикутною формою перерізу стовбура

$$N_f = \frac{2M}{4r} + \frac{N}{4}.$$

За отриманими зусиллями попередньо підбирають перерізи відтяжок і поясів стовбура щогли.

Після цього переходять до другого, остаточного, етапу розрахунку.

Оскільки перерізи відтяжок вже попередньо підібрані, то можна визначити діючі на них постійне та вітрове навантаження і розраховувати відтяжки як нитки, навантажені поперечним навантаженням. Це дозволяє врахувати фактичні зміщення вузлів кріплення відтяжок і розглядати стовбур як нерозрізну багатопрольотну балку на податливих опорах. Невідомими в цій багатократно статично невизначній системі є зусилля у відтяжках, зміщення у горизонтальній площині точок кріплення відтяжок до стовбура і моменти в стовбурі у тих самих точках.

Якщо число ярусів відтяжок позначити n , а число відтяжок в кожному ярусі m , то у загальному випадку для визначення невідомих використовують:

а) $2n$ рівнянь статичної рівноваги вузлів в координатах X і Y ;

б) mn рівнянь спільності деформацій точок кріплення відтяжок до стовбура;

в) $2n$ рівнянь нерозривності пружної лінії стовбура.

Статичний розрахунок щогли як просторової вантово-стержневої системи дуже трудомісткий і може бути виконаний тільки з використанням ЕОМ.

Після визначення в стовбурі розрахункових зусиль M , N і Q кожну його ділянку в межах між вузлами кріплення відтяжок перевіряють на стійкість як суцільний чи складений решітчастий позацентрово стиснутий стержень за формулою

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n .$$

Для решітчастого стовбура визначають поздовжні зусилля в поясах N_f і розкосах N_d , виристовуючи наведені вище формули. Пояси і розкоси перевіряють на стійкість як центрально стиснуті елементи за формулою

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n .$$

6. Основні дефекти та пошкодження висотних споруд

Нерівномірне просідання фундаментів.

Даний дефект найчастіше спостерігається у баштах і зазвичай є наслідком низької якості проектування (без урахування інженерно-геологічних особливостей майданчика) та виконання будівельно-монтажних робіт. Через те, що у замовника, як правило, відсутні дані про інженерно-геологічні умови майданчика, виконавчі схеми та журнали робіт, а такі конструкції є досить новими і планові обстеження проводять рідко або не проводять взагалі, зазвичай неможливо зробити правильний висновок щодо появи такого дефекту. При виявленні просідання, яке виходить за межі норми, потрібно організовувати постійний нагляд за такою конструкцією, а вже на основі

накопичених даних робити висновки щодо заходів із ремонту опори.

Відхилення стовбура опори від вертикалі, його скручування та викривлення поясів опори.

У випадку комбінованих опор поява такого дефекту пов'язана:

- з якістю складання опори – кріплення металевої надбудови до бетонного стовпа, яке зазвичай виконують в горизонтальному положенні опори;

- з якістю будівельно-монтажних робіт під час встановлення опори у вертикальне положення;

- з якістю геодезичного контролю встановлення опори;

- з недостатньою глибиною занурення бетонної частини в ґрунт та відсутністю вимощення навколо стовпа або монолітної бетонної плити, що стабілізує вертикальне положення опори;

- із заводським браком – викривлення бетонної частини.

У випадку башт поява такого дефекту пов'язана:

- з якістю монтажу фундаментів (відхилення позначок верхніх частин фундаментів);

- з якістю елементів опори (виготовлення, доставка та монтаж конструкцій);

- з якістю виконання будівельно-монтажних робіт та вибором схеми складання опори: поелементне збирання, посекційне нарощування або перекидання.

Це стосується також щогл, але ще додається якість та контроль натягів у відтяжках та контроль за їх станом.

Також для всіх типів опор це може бути пов'язане з нерівномірністю встановлення обладнання на опорі.

У будь-якому випадку при виявленні зазначених дефектів необхідно встановити контроль за розвитком деформацій і тільки на основі накопичених даних приймати рішення щодо заходів із ремонту опори.

Невідповідність монтажних натягів відтяжок проектним вимогам.

Цей дефект спостерігається у 95% щогл і є наслідком:

- недосконалої проектної документації;
- неякісного виконання фундаментів відтяжок: помилки в розташуванні фундаментів, невідповідність їхньої конструкції та маси сприйняттю зусиль, що виникають у відтяжках, і, навіть, використання випадкових, тимчасових або застарілих конструкцій;
- використання тросів, що не відповідають вимогам конструкцій відтяжок;
- монтажу відтяжок без попереднього витягування тросів;
- доступу до регулюючих пристроїв сторонніх осіб;
- самовільного розкручування регулюючих пристроїв.

Контроль монтажних натягів у відтяжках є одним із найважливіших чинників під час обслуговування щогл і потребує кваліфікованого персоналу та комплекту спеціального вимірювального обладнання.

Для запобігання виникненню таких дефектів потрібно дотримуватись технологічної послідовності щодо підготовчих та завершувальних робіт, а також вимог норм щодо роботи з тросами.

Пошкодження лакофарбового або гальванічного захисного покриття та корозія елементів конструкцій (рис. 8, 9).

Цей дефект спостерігається у 98% опор і є наслідком:

- неякісної підготовки конструкцій перед нанесенням захисного покриття;
- використання неякісних матеріалів для захисного покриття;
- неякісного виконання робіт з нанесення захисних покриттів;

– недотримання регламенту обслуговування опор.

	
Рис. 8. Корозія елементів; відшарування лакофарбового покриття	Рис. 9. Пошкоджена ділянка каната відтяжки

Відсутність або пошкодження гідроізоляції бетонних конструкцій (рис. 10).

Спостерігається у майже 50% опор. Тривала відсутність гідроізоляції призводить до поступового руйнування бетонних конструкцій, а тому необхідно виконувати періодичні обстеження та відновлювати гідроізолюючий шар

Руйнування бетону фундаментів (рис.11, 12).

Цей дефект тісно пов'язаний із попереднім, але також може виникати під час виконання бетонних робіт у зимовий період або/та у разі використання бетону невідповідної якості. Спостерігається у майже 5% опор. На практиці зустрічались випадки руйнування бетону на глибину більш ніж 150 мм і, виходячи з того, що такий дефект може призвести до поступової деформації та руйнування структури в цілому, потрібно на етапі

будівництва дотримуватись технології виконання бетонних робіт, а в період експлуатації негайно усувати подібні дефекти.



Рис. 10. Пошкодження гідроізоляції фундаменту



Рис. 11. Руйнування бетону фундаменту

Дефекти анкерних пристроїв опор (рис. 13, 14, 15, 16).

Це такі дефекти:

- невідповідність діаметрів анкерних болтів навантаженням, що виникають у конструкції (помилки на стадії проектування);

- відсутність одного або декількох анкерних болтів;

- відсутність контргайок на анкерних болтах;

- дефекти гайок анкерних болтів (невідповідність висоти гайки, її пошкодження внаслідок неможливості «нормального» закручування, недостатня щільність болтового з'єднання).

Усі ці дефекти (спостерігаються на майже 10% башт) виникають внаслідок низької якості будівельно-монтажних робіт і у разі невчасного виявлення та усунення призводять до поступового руйнування бетонних конструкцій, зварних швів та деформацій металевих елементів.



Рис. 12. Руйнування бетону
фундаменту



Рис. 13. Відсутність
контргайок, гайки не
затягнуті, корозія
елементів з'єднання



Рис. 14. Дефект гайки



Рис. 15. Відсутність
анкерного болта



Рис. 16. Недостатня довжина анкерних болтів

Відсутність або заміна елементів конструкції (рис.17).

В конструкціях щогл цей дефект проявляється у невідповідності типів, діаметрів та засобів кріплення відтяжок, зазначених у проєкті. Оскільки стійкість щогли забезпечують відтяжками, то такий дефект може призвести до миттєвого руйнування конструкції і має негайно усуватись. Дефект зустрічається у 40% щогл.

У випадку башт це:

- відсутність елементів решітки або їх заміна іншими профілями, що не вказані в проєкті, такий дефект викликає перерозподіл напружень в елементах конструкції і, як наслідок, перенапруження в елементах та їх деформацію, що може призвести до руйнування опори (5% опор);

- відсутність елементів кріплення та стабілізації положення антен (3% опор).

Двома окремими групами можна виділити:

- 1) Самовільний демонтаж елементів решітки башт, відтяжок щогл, зрізання фідерів, демонтаж елементів заземлення та блискавкозахисту, підпали та розведення багаття навколо елементів опор та контейнерів, демонтаж та руйнування огорожень майданчика та фундаментів відтяжок.

2) Відсутність або недбале ставлення до елементів, що забезпечують безпечне виконання робіт на висоті: відсутність драбин або щаблів, невідповідність нормам конструкцій драбин (зменшення діаметру або заміна щаблів круглого профілю на періодичний, звуження ширини драбини внаслідок недбалого проектування або кріплення фідерів безпосередньо до щаблів, відсутність огорожувальних кошиків або шинних пристроїв), відсутність або невідповідність нормам майданчиків для відпочинку та їх огорожень.



Рис. 17. Відсутність елементів решітки

Дефекти болтових та зварних з'єднань (рис. 18, 19, 20, 21, 22).

Під час обстеження близько у 30% щогл, башт та надбудов комбінованих опор можна виявити такі «класичні» дефекти зварних з'єднань: кратери, пори, включення шлаку, напливи, підрізи, непровари, пропали, нерівномірні форми швів, тріщини та, навіть, розриви з'єднань. Такі дефекти є наслідком низької кваліфікації зварювальників та відсутності технічного контролю

готової продукції і в польових умовах їх досить складно виправляти, а наслідки руйнування таких з'єднань можуть бути катастрофічними.

Дефектами болтових з'єднань є:

- відсутність метизів у пакеті;
- невідповідність діаметрів болтів діаметрам отворів;
- невідповідність класу міцності болтів напруженням, що виникають у з'єднанні;
- відсутність маркування класу міцності та клейма заводу-виробника на болтах та гайках;
- відсутність контргайок, пружинних шайб або їх надмірне встановлення;
- розкручування болтів.

Дефекти болтових з'єднань призводять до виключення елементів конструкції із силової схеми структури та непередбачуваного перерозподілу зусиль, що може призвести до руйнування конструкцій.

Поява дефектів болтових з'єднань на 95% залежить від низької кваліфікації робітників та відсутності технічного нагляду за будівництвом.

Зазвичай такі дефекти усувають заміною метизів у з'єднаннях.



Рис. 20. Відсутність фіксації гайки на канатних зажимах від саморозкручування



Деформації елементів конструкцій (рис. 23, 24, 25, 26. 27).

Такими деформаціями є вигини, зім'яття та підрізи елементів конструкцій. Вони найчастіше спостерігаються в елементах решітки, рідше в елементах поясів. Поява таких дефектів пов'язана з недбалим ставленням до елементів під час монтажу та навіть падінням опор під час підйому, іноді встановленням елементів невідповідної довжини. Незначні вигини елементів спостерігаються на 80 % опор і виправляються, як правило, рихтуванням або підсиленням; значні вигини, зім'яття та підрізи зустрічаються на майже 5% опор та виправляються заміною елементів або їх підсиленням

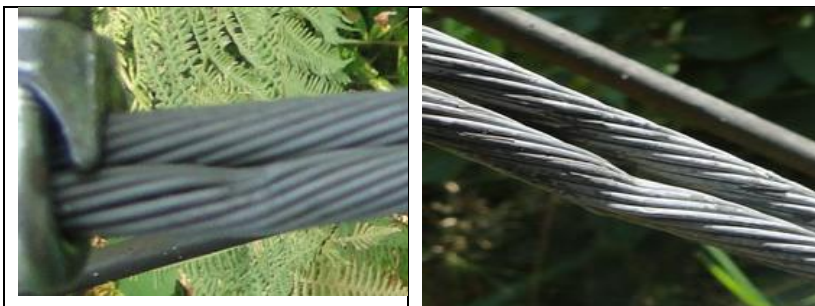


Рис. 23. Залишкові деформації канатів відтяжок від раніше встановлених затискачів



Рис. 24. Розплетення сплетінь канатів відтяжок у місцях кріплення до стовбура щогли; неналежно виконана захисна обмотка

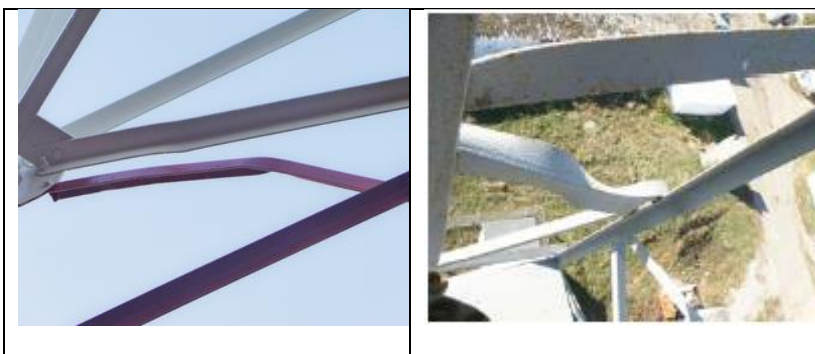


Рис. 25. Втрата стійкості розкосу



Рис. 26. Неспівосність елементів решітки стовбура щогли



Рис. 27. Підріз полиці розкошу

Рис. 28. Морозні деформації

Морозні деформації.

Причиною появи таких деформацій є замерзання рідини всередині трубчастих конструкцій з роздуттям або розривом стінки елемента. Спостерігаються в конструкціях щогл та металевих надбудов, у яких для поясів використані труби. Довжина тріщин становить від 20 до 250 мм, ширина до 40 мм. Такі дефекти можуть призвести до миттєвого руйнування опори, тому що вони з'являються у нижній частині структури і таким

чином знижують несучу здатність як окремого елемента, так і конструкції в цілому. Ремонтується підсиленням елементів або повною заміною секції.

Література

7. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Чинний від 2015-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 198 с. (Державні будівельні норми України).
8. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд [На заміну ДБН В. В.1.2-14-2009; чинний від 2019-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 29 с. (Державні будівельні норми України).
9. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [На заміну СНиП 2.01.07-85; чинний від 2007-10-01]. Київ : Мінрегіон України, 2006. 75 с. (Державні будівельні норми України).
10. ДСТУ Б В.1.2–3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування [На заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85; чинний від 2007-01-01]. Київ : Мінбуд України, 2006. 10 с. (Національний стандарт України).
11. Голоднов О. І., Доан Н. Т. Дослідження основних впливів на технічний стан антенно-щоголових споруд. *Збірник наукових праць українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. Випуск 5, 2010 р.
12. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л. І. Металеві конструкції : підручник. 2-е вид., випр. і доп. Львів : Світ, 2002. 312 с.
13. Конспект лекцій з дисципліни «Металеві конструкції» для студентів напряму підготовки 6.060101 «Промислове та цивільне будівництво» денної форми навчання. XIV. Листові конструкції. XV. Великопролітні покриття. XVI. Стальні каркаси багатоповерхових будинків. XVII. Висотні споруди. XVIII. Легкі металеві конструкції. XIX. Реконструкція та підсилення металевих конструкцій./ Налєпа О. І. Рівне : НУВГП, 2013. 154 с.
14. Конспект лекцій з курсу «Проектування металевих конструкцій» / В. Я. Жиликов; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. 66 с.

15. Металеві конструкції. Загальний курс : підручник / О. О. Нілов та ін. ; 2-е вид., перероб. і доп. Київ : Сталь, 2010. 869 с.
16. Методичні вказівки до самостійного вивчення та виконання курсової роботи з навчальної дисципліни «Металеві конструкції інженерних споруд з курсовою роботою» здобувачами вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Промислове і цивільне будівництво» всіх форм навчання / Романюк В. В., Налепа О. І., Безнюк Л. І. Рівне : НУВГП, 2023. 33 с.
17. Молчанов Д. С. Дефекти опор мобільного зв'язку. *Збірник наукових праць українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. Випуск 9, 2012 р.
18. Романюк В. В. Металеві конструкції. Розрахунок елементів і з'єднань : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2014. 449 с.