

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Аналіз та дослідження напружено-деформованого стану
металевого каркасу норійної вежі в складі елеваторного комплексу

Виконав: студент 6 курсу, групи МБМ-61
спеціальності 192

Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Ганчар М. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Ясній В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мещерякова О. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Ясній В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Богуславська В. Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Ясній В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ганчар Михайло Богданович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз та дослідження напружено-деформованого стану
металевого каркасу норійної вежі в складі елеваторного комплексу

Керівник роботи Ясній Володимир Петрович, к.т.н., доцент.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ; Опис технологічних процесів елеваторного комплексу; Характеристика елеваторного
комплексу та аналіз конструкції норійної вежі; Напружено-деформований стан каркасу;
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація; Загальний висновок; Бібліографія.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Аркуш №1 – Генеральний план комплексу; аркуш №2 – Технологічна схема елеватора;
аркуш №3 – Технологічна схема норійної вежі; аркуш №4 – 3D вид каркасу норії, схеми
розміщення конструкцій, відомість елементів; аркуш №5 - Схема розміщення конструкцій
технологічних площадок; аркуш №6 – Розріз 1-1 – Розріз 5-5; аркуш №7 – Вузол 1 – Вузол 20
аркуш №8 – Вузол 21 – Вузол 32; аркуш № 9 – Епюри згинальних моментів, нормальних та
поперечних зусиль, деформована схема конструкції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Ясній В. П. к.т.н., проф.		
Охорона праці	Каспрук В.Б. к.т.н., доц.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О. М. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Ганчар М. Б.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ясній В. П.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ..	7
1.1 Прийом зерна	7
1.2 Очищення зерна	8
1.3 Сушіння зерна	10
1.4 Зберігання зерна	11
1.5 Переробка зерна.....	12
1.6 Відвантаження зерна.....	13
1.7 Висновки до розділу 1.....	15
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ НОРІЙНОЇ ВЕЖІ.....	17
2.1 Загальна характеристика елеваторного комплексу	17
2.1.1 Загальні положення.....	17
2.1.2 Коротка характеристика технології виробництва	17
2.1.3 Опис технологічного процесу	22
2.1.4 Технологічні вузли.....	26
2.1.5 Кількісний та якісний облік	26
2.1.6 Приймання з автомобільного транспорту	27
2.1.7 Приймання з залізничного транспорту.....	27
2.1.8 Очистка.....	27
2.1.9 Сушка.....	28
2.1.10 Відвантаження зерна.....	29
2.1.11 Силоси зберігання зерна.....	29
2.1.12 Склад і обґрунтування обладнання, яке застосовується.....	29
2.2 Роль норійної вежі у функціонуванні елеваторного комплексу.....	31
2.3 Створення каркасу норійної вежі в програмі Dlubal RFEM.....	33
2.4 Задання навантажень на каркас розрахункової схеми.....	41

2.4.1 Власна вага.....	41
2.4.2 Експлуатаційне навантаження від людей.....	42
2.4.3 Атмосферні впливи.....	43
2.5 Висновок до розділу 2.....	46
3. НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН КАРКАСУ.....	48
3.1 Аналіз напружено-деформованого стану конструкції каркасу.....	48
3.2 Детальний аналіз колон за допомогою модуля RF-STEEL EC3.....	57
3.3 Висновок за розділом 3.....	60
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	61
4.1 Охорона праці.....	61
4.1.1 Інструкція з охорони праці під час виконання робіт з монтажу металевих конструкцій. Загальні вимоги безпеки.....	63
4.1.2 Вимоги до технологічних процесів	65
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	68
4.2.1 Основні причини аварій будівель і споруд	68
4.2.2 Небезпека руйнування несучих конструкцій	69
4.2.3 Попередження руйнуванню металевих конструкцій	70
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	72
БІБЛІОГРАФІЯ.....	73

ВСТУП

Технологічні процеси елеваторних комплексів відіграють ключову роль у сільськогосподарській галузі, забезпечуючи ефективне зберігання, обробку та транспортування зернових культур. Вони дозволяють зменшити втрати урожаю, підтримувати високу якість продукції та оптимізувати логістичні процеси, що особливо важливо в умовах зростаючої конкуренції на світовому ринку зерна.

Становлення елеваторних комплексів як частини агропромислової інфраструктури стало можливим завдяки впровадженню передових матеріалів і технологій у будівництві. Розвиток виробничих сил людського суспільства лише в середині XIX століття дозволив гучно говорити про метал як будівельний матеріал. Найвизначніші споруди подальшого періоду так чи інакше пов'язані із застосуванням цього будівельного матеріалу.

Сьогодні елеваторні комплекси є одним із ключових елементів аграрної інфраструктури [1, 2]. Сучасні споруди з металевих каркасів забезпечують високу надійність, довговічність і адаптивність до різних умов експлуатації. Це сприяє подальшому розвитку сільського господарства та зміцненню економіки держави, враховуючи експортну орієнтованість українського аграрного сектору.

Металеві каркаси, що використовуються в будівництві норійних веж, повинні забезпечувати міцність, довговічність і здатність витримувати вплив значних експлуатаційних і кліматичних навантажень. Зростання масштабів аграрного виробництва, необхідність збільшення пропускної здатності елеваторів та інтеграція сучасних технологій обробки зерна вимагають використання інноваційних підходів у проектуванні та аналізі конструкцій.

Актуальність теми роботи зумовлена необхідністю зменшення витрат на будівництво і обслуговування елеваторних комплексів, що є важливим фактором у підвищенні конкурентоспроможності агропромислового сектору. Враховуючи постійний розвиток будівельних технологій і зростання ролі цифрових технологій у моделюванні та аналізі конструкцій, вивчення цієї теми набуває ще більшої значущості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з науковими напрямками кафедри будівельної механіки ТНТУ ім. І. Пулюя.

Мета й задачі роботи. Метою є аналіз металокаркасу норійної вежі в складі елеваторного комплексу, який здійснюється за допомогою програми Dlubal RFEM 5 [3-5].

Об'єктом дослідження є металевий каркас норійної вежі.

Предметом дослідження є напружено деформований стан каркасу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у комплексному аналізі норійної вежі в складі елеваторного комплексу, досліджені напружено деформованого стану сталевого каркасу конструкції.

Практичне значення одержаних результатів. Дослідження напружено-деформованого стану металевих каркасів норійних веж є важливим етапом забезпечення їхньої надійності. Це дозволяє не лише забезпечити безпечну експлуатацію, а й оптимізувати конструкцію з точки зору матеріаломісткості та економічної доцільності.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати роботи оприлюднені на XIII Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 11 – 12 грудня 2024 року.

Публікації. Аналіз та дослідження напружено-деформованого стану сталевого каркасу норійної вежі в складі елеваторного комплексу / М.Б. Ганчар, Х.І. Прийдун, д.т.н.; В.П. Ясній // Збірник тез доповідей XIII Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11 – 12 грудня 2024 року – Т.: ТНТУ, 2024 - С

Ключові слова: каркас, норійна вежа, елеватор, постійні навантаження, тимчасові навантаження, деформації, напруження.

РОЗДІЛ 1

ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ

1.1 Прийом зерна

Прийом зерна є першим і важливим етапом в роботі елеватора. Зерно може доставлятися різними видами транспорту:

- Автотранспорт: зерновози доставляють продукцію з полів або складів. Для цього на елеваторі облаштовуються спеціальні розвантажувальні станції. Вони складаються з бункера приймання зерна, який в свою чергу зерно передає на транспортери (рис. 1.1), та накриття зони розвантаження автомобілів.

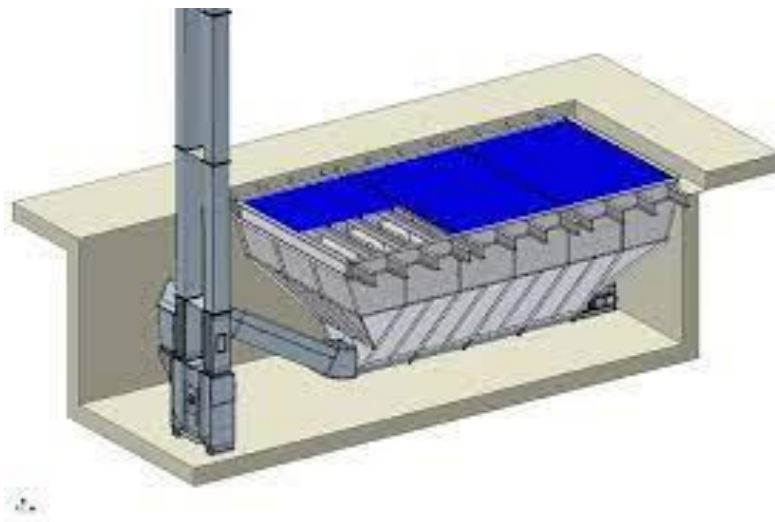


Рисунок 1.1 - Бункер приймання зерна з транспортувальним обладнанням

- Залізничні вагони: використовуються в основному для великих партій зерна. Спеціальні вагони (зерновози) вивантажують зерно через нижні сипи в бункер приймання зерна, конструкція та технологічні процеси доволі схожі зі станціями вивантаження авто. Також присутнє накриття розвантажувальної зони (рис. 1.2)



Рисунок 1.2 - Накриття станції розвантаження залізничних вагонів

Прийом зерна включає перевірку його якості (вологості, рівня засміченості) на спеціалізованих лабораторіях. Це дозволяє визначити, чи відповідає зерно стандартам зберігання та подальшої переробки [6].

1.2 Очищення зерна

На цьому етапі зерно очищується від різноманітних домішок (рис. 1.3), таких як:

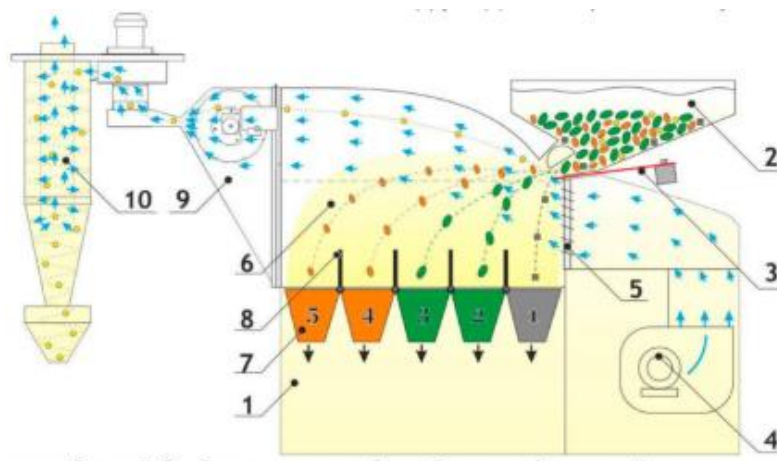
- органічні залишки (солома, трава, лушпиння);
- неорганічні домішки (пісок, камінці, пил).



Рисунок 1.3 - Очищене та неочищене зерно

Для очищення використовуються механізовані пристрої [1], зокрема:

- Сепаратори: розділяють зерно за розміром і вагою на різні фракції (рис. 1.4), від твердих домішок (пісок, камінь) до легких (лушпиння, пил)



1 – модуль базовий; 2 – бункер подачі зерна; 3 – віброблок; 4 – головний вентилятор;
5 – струменевий генератор; 6 – камера сепарації; 7 – літки (збірники фракцій); 8 – поворотні шторки; 9 – відвід легких фракцій.

Рисунок 1.4 - Схема роботи сепаратора з аспіраційною системою

- Аспіраційні системи: видаляють пил та легкі домішки (рис. 1.5). Дані системи можуть також очищати повітря в зоні розвантаження зерна від пилу

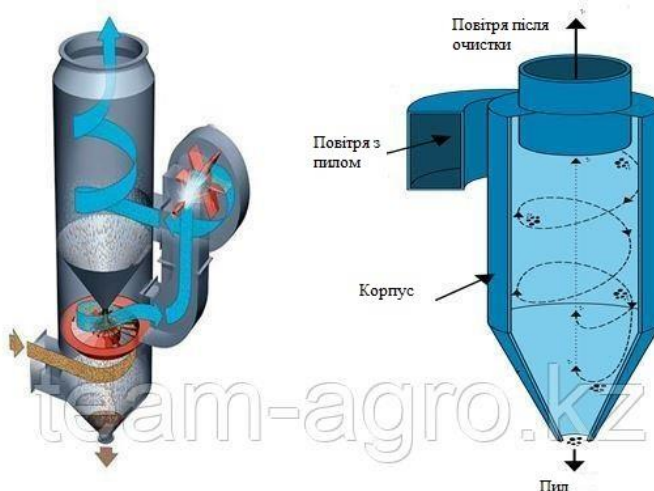


Рисунок 1.5 - Аспіраційна установка

Цей етап важливий, оскільки домішки можуть спричиняти псування зерна або знижувати якість продукції під час зберігання.

1.3 Сушіння зерна

Зерно, яке надходить на елеватор, часто має підвищену вологість (особливо при збиранні вологого урожаю). Висока вологість сприяє розвитку мікроорганізмів і плісняви, що робить сушіння необхідним етапом. Оптимальний рівень вологості для тривалого зберігання зерна 12–14%.

Для сушіння використовують:

- Зерносушарки конвективного типу: працюють на газу, вугіллі або іншому паливі, забезпечуючи рівномірне зниження вологості;
- Сушарки з рециркуляцією тепла: найчастіше це зерносушарки шахтного, колонкового або баштового типу. Система рекуперації дозволяє значно економити енергоресурси, що є перспективним рішенням в даний час (рис. 1.6).

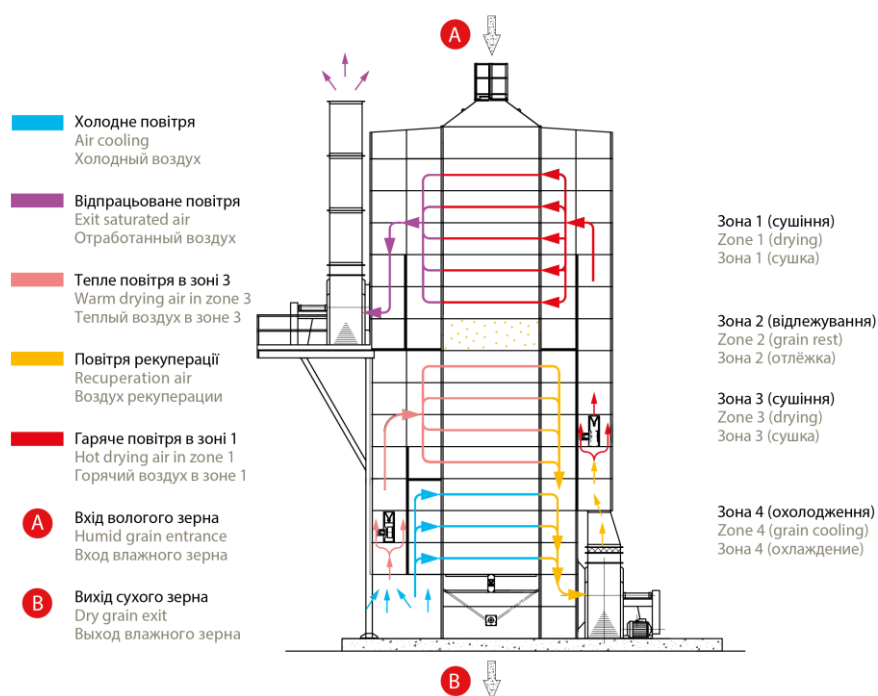


Рисунок 1.6 - Теплова схема двозонної зерносушарки з повною рекуперацією тепла

1.4 Зберігання зерна

Після сушіння зерно транспортується в силоси (рис. 1.7) або сховища підлогового зберігання (рис. 1.8), де підтримуються оптимальні умови для довготривалого зберігання, а саме:

- Контроль температури: системи термометрії дозволяють відстежувати перегрів зерна;
- Контроль вологості: запобігає утворенню конденсату;
- Вентиляція: забезпечує циркуляцію повітря, щоб уникнути застою і запобігти псуванню.



а)



б)

Рисунок 1.7 - Металевий силос з плоским дном (а); конусним дном (б)

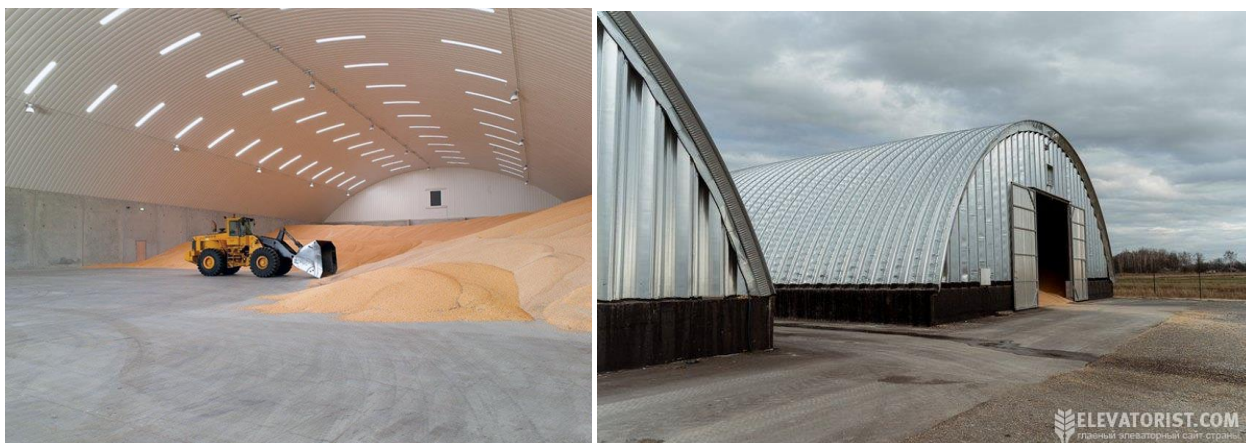


Рисунок 1.8 - Сховища підлогового зберігання зерна

Металеві силоси мають перевагу над сховищами підлогового зберігання зерна, тому, що вони зазвичай оснащені системами аерації і датчиками для автоматичного моніторингу стану зерна, що дозволяє створювати умови ідеальні для зберігання продукції [7].

1.5 Переробка зерна

Уже багато років тривають обговорення щодо переходу від експорту одного лише зерна до глибокої його переробки та отримання в результаті продукції з високою доданою вартістю (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 - Продукти переробки зерна

Технологія переробки зерна включає такі основні:

- СОРТУВАННЯ: виділення зерен високої якості.
- ШЛІФУВАННЯ або ОБРУШЕННЯ: підготовка зерна до використання у харчовій промисловості.
- ПОДРІБНЕННЯ: для виготовлення комбікормів.

Переробка проводиться безпосередньо на елеваторі або у спеціалізованих переробних підприємствах.

1.6 Відвантаження зерна

Відвантаження зерна є останнім етапом технологічного процесу елеваторного комплексу. Він передбачає транспортування продукції до кінцевого споживача (переробні підприємства, комбікормові заводи, експортери) або до перевалочних пунктів (морські порти, залізничні вузли). Процес відвантаження вимагає простоти, ефективності та швидкості процесу з мінімальними витратами продукції.

Відвантаження зерна відбувається на такі транспортні засоби:

- Автотранспорт. На елеваторах є спеціалізовані майданчики для завантаження зерна в зерновози (рис. 1.10). Автотранспорт найчастіше використовується для перевезення зерна на невеликі відстані, наприклад, до локальних переробних підприємств. Процес завантаження контролюється автоматичними дозаторами, які визначають масу зерна та забезпечують рівномірне заповнення кузова.



Рисунок 1.10 - Процес відвантаження зерна на автотранспорт

- Залізничний транспорт. Залізничні вагони-хопери використовуються для транспортування великих партій зерна. Подібно до завантаження автомобілів відбувається даний процес на залізничні вагони (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 - Процес відвантаження зерна на залізничні вагони

- Річковий і морський транспорт. У випадках, коли елеватор інтегрований із портовою інфраструктурою, зерно відвантажується на судна. Для цього застосовуються спеціальні портові перевантажувальні механізми, такі як

стрічкові транспортери чи пневматичні системи та сучасні системи автоматизації, які забезпечують точний облік кількості відвантаженого зерна (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 - Процес відвантаження зерна на річковий і морський транспорт

1.7 Висновок до розділу 1

Технологічні процеси, що відбуваються в елеваторному комплексі, є ключовими для забезпечення ефективного функціонування агропромислового сектору. Прийом, очищення, сушіння, зберігання, переробка та відвантаження зерна формують безперервний цикл, який дозволяє зберегти якість зернових культур, мінімізувати втрати продукції та забезпечити стабільність її постачання на внутрішні та зовнішні ринки.

Кожен із цих етапів відіграє важливу роль:

- Прийом і очищення зерна створюють основу для подальшого оброблення, усуваючи домішки та перевіряючи якість продукції.
- Сушіння гарантує довготривале зберігання зерна, захищаючи його від псування.
- Ефективне зберігання із застосуванням сучасних технологій забезпечує збереження якості зерна навіть упродовж тривалого часу.
- Переробка дозволяє адаптувати зерно до потреб споживачів, включаючи комбікорми та харчову промисловість.

- Відвантаження є фінальним етапом, що забезпечує доставку зерна до споживачів або на експорт з мінімальними втратами та максимальним дотриманням логістичних стандартів.

Роль елеваторних комплексів у сільськогосподарській галузі важко переоцінити, оскільки вони забезпечують безперервність агропромислового циклу, сприяють зниженню втрат урожаю та підвищують його якість. Удосконалення кожного з етапів технологічного процесу є запорукою подальшого розвитку аграрної галузі та зміцнення позицій України на світовому ринку зернових культур.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ НОРІЙНОЇ ВЕЖІ

2.1 Загальна характеристика елеваторного комплексу

2.1.1 Загальні положення

У даному розділі проекту представлені основні технологічні рішення, які застосовані при виконанні проекту «Нове будівництво елеваторного комплексу м. Скалат».

Проект виконаний відповідно до завдання на проектування та у відповідності з діючими нормативними документами [8, 12].

2.1.2 Коротка характеристика технології виробництва

Комплекс призначений для приймання, очищення, сушіння та відвантаження зернових культур (рис. 2.1).

Будівництво даного комплексу передбачається виконати у п'ять черг.

Перелік споруд, будівництво яких передбачається при реалізації проекту вказано в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Перелік споруд

№ п/п	Найменування споруд	Номер по генплану
	Перша черга	
1	Лабораторний корпус з автоваговою	1
2	Станція розвантаження автомобілів на два проїзди	2
3	Норійна вежа №1	3
4	Пункт залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою	4
5	Транспортна підземна галерея №1	5
6	Норійна вежа №2	6
7	Блок очистки з бункерами вивантаження зерна на автотранспорт	8

Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Найменування споруд	Номер по генплану
8	Транспортна підземна галерея №2	9
9	Силос-хопер №1, №2, №3 ($\varnothing 12\text{м}$; 1956м^3 ; $H=27,29\text{м}$)	10.1-10.3
10	Розподільча підстанція з операторською	14
11	Насосна станція пожежогасіння з резервуарами води	15
12	Компресорна	17
13	Транспортна надземна галерея №3	20
	Друга черга	
14	Силос-хопер №4, №5 ($\varnothing 12\text{м}$; 1956м^3 ; $H=27,29\text{м}$)	10.4-10.5
15	Зерносушарка №2	19
16	Транспортна надземна галерея №4	21
	Третя черга	
17	Норійна вежа №3	7
18	Транспортна надземна галерея №1	11
19	Транспортна надземна галерея №2	12
20	Силоси №1, №2 для зберігання зерна з підземною галереєю №1, №2, №3, №4 ($\varnothing 22\text{м}$; 8482м^3 ; $H=27,911\text{м}$)	13.1-13.2
	Четверта черга	
21	Силоси №3, №4 для зберігання зерна з підземною галереєю №1, №2, №3, №4 ($\varnothing 22\text{м}$; 8482м^3 ; $H=27,911\text{м}$)	13.3-13.4
	П'ята черга	
22	Зерносушарка №1	18
10	Транспортна надземна галерея №2 з опорами	22

Весь обсяг перевантаженого зерна надходить на підприємство автомобільним транспортом та дуже рідко залізничним транспортом.

Продуктивність обладнання комплексу та кількість транспортних потоків прийнята з розрахунку забезпечення оперативного виконання робіт.

Відповідно до завдання на проектування, прийняті технологічні рішення забезпечують проведення технологічних операцій:

- приймання зерна з автомобільного транспорту двома потоками, продуктивністю до 210 т/год;
- приймання зерна з залізничного транспорту, продуктивністю до 210 т/год;

- очистка зерна на очищувачі зерна з системою аспірації, дві лінії очистки продуктивністю до 210 т/год кожна;
- накопичення відходів в бункерах;
- накопичення зерна в хоперах до сушіння, об'ємом до 1856 м³ кожен;
- сушіння зерна на двох зерносушарках, продукт. 46,4 т/год кожна;
- зберігання зерна в силосах з плоским дном, в кількості 4-ти шт. з підземними галереями об'ємом по 8382 м³ кожний
- відвантаження зерна відбувається на залізничний транспорт.
- перевантаження зерна з автомобільного на залізничний транспорт

Загальні характеристики комплексу, що проектується в Таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Характеристики комплексу

Показник	Значення
Розрахунковий період заготовок Пр, днів	120
Загальний обсяг зберігання, тис. тон.	26,82
Середня вологість зерна, що надходить, %	24
Середня засміченість зерна, що надходить, %	5
Розрахункова вантажопідйомність транспорту, т.	24
Коефіцієнт добової нерівномірності	1,6
Максимальне добове надходження зерна, тис. тон	6,4
Коефіцієнт годинної нерівномірності	2,0
Максимальне годинне надходження зерна, тис. тон	0,4
Коефіцієнт умов роботи норій і транспортерів по засміченості і вологості	1,0
Необхідна продуктивність транспортного обладнання, т/г	200
Максимальне добове надходження автомобілів	267
Максимальне надходження автомобілів протягом години	17
Вантажообіг, тис. тон	150,0

Розроблена технологічна схема та застосоване обладнання комплексу передбачає роботу з зерновими культурами, перелік та характеристика яких вказані в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 - Характеристика зернової сировини

Найменування властивості	Показник					
	Пшениця	Кукурудза	Ячмінь	Ріпак	Соя	Соняшник
Об'ємна маса, т/м ³	від 0.65	від 0.60	від 0.48	від 0.54	від 0.73	від 0.65
	до 0.86	до 0.85	до 0.75	до 0.62	до 0.85	до 0.75
Шпаруватість	від 0.35	від 0.35	від 0.40	від 0.30	від 0.38	від 0.40
	до 0.45	до 0.55	до 0.55	до 0.40	до 0.46	до 0.55
Кут природнього відкосу, °						
У спокої	від 35	від 35	від 32	від 19	від 17	від 35
	до 40	до 43	до 42	до 28	до 20	до 45
У русі	від 23	від 30	від 28	від 17	від 13	від 27
	до 38	до 36	до 36	до 20	до 15	до 30
Коефіцієнт зовнішнього тертя по сталі	від 0.42	від 0.36	від 0.38	від 0.33	від 0.22	0.4
	до 0.76	до 0.50	до 0.60	до 0.38	до 0.30	
Граничні розміри, мм:						
Товщина	від 1.6	від 2.5	від 1.2	від 1.8	від 6.1	від 1.7
	до 3.8	до 8.0	до 4.5	до 2.5	до 13.0	до 6.0
Ширина	від 1.8	від 5.0	від 2.0	від 1.8	від 6.2	від 3.5
	до 4.0	до 12.0	до 2.5	до 2.5	до 11.8	до 8.6
Довжина	від 4.8	від 5.5	від 7.0	-	4.0	від 7.5
	до 8.6	до 15.0	до 14.6	-	8.7	до 15.0
Вологість за категоріями, %:						
Сухе	до 14.0	до 14.0	до 14.0	до 7.0	до 12.0	до 7.0
Середньої сухості	від 14.1	від 14.1	від 14.1	від 7.1	від 12.1	від 7.0
	до 15.5	до 15.5	до 15.5	до 8.0	до 14.0	до 8.0
Вологе	від 15.6	від 15.6	від 15.6	від 8.1	від 14.1	від 8.0
	до 17.0	до 17.0	до 17.0	до 10.0	до 16.0	до 9.0
Сире	від 17.1	від 17.1	від 17.1	від 10.1	від 16.1	від 9.0
	і більше	і більше	і більше	і більше	і більше	і більше
Гігроскопічність	Дуже гігроскопічне					
Самозаймистість	Самозаймається					

2.1.3 Опис технологічного процесу

Технологічну схему комплексу (див. рис. 2.2) та специфікацію застосованого технологічного обладнання.

Продуктивність транспортного та технологічного обладнання вказана по зерну пшениці з об'ємною масою $0,75 \text{ т/м}^3$.

Технологічна схема комплексу:

- запроектована з урахуванням забезпечення необхідної гнучкості;
- дозволяє проведення технологічних операцій по найкоротших транспортних маршрутах;
- передбачає мінімальну кількість підйомів зерна норіями, що зменшує травмування зерна при транспортуванні;
- дозволяє застосування систем автоматизації та дистанційного управління технологічними вузлами комплексу.

Для забезпечення роботи зернового комплексу передбачається застосування автоматичної системи управління (АСУ). Основним завданням, яке виконується АСУ, являється оперативне управління перевантажувальними роботами та планування роботи зернового комплексу. В приміщенні ЦПУ передбачається автоматизоване робоче місце диспетчера з пультом управління, обладнане технічними засобами (персональний комп'ютер, принтер та ін.). Дистанційний централізований запуск маршрутів проводиться в зворотному напрямку руху вантажопотоку [13, 14].

Система автоматизації забезпечує оперативне відключення обладнання з пульта керування, готовність до наступного запуску обладнання, аварійну зупинку обладнання при спрацюванні систем протиаварійного захисту. При аварії чи зупинці одного з механізмів передбачена зупинка усіх попередніх до нього механізмів по технологічній схемі, самозапуск механізмів виключається.

Маршрути передбачені технологічною схемою (позиції обладнання вказані у відповідності з технологічною схемою):

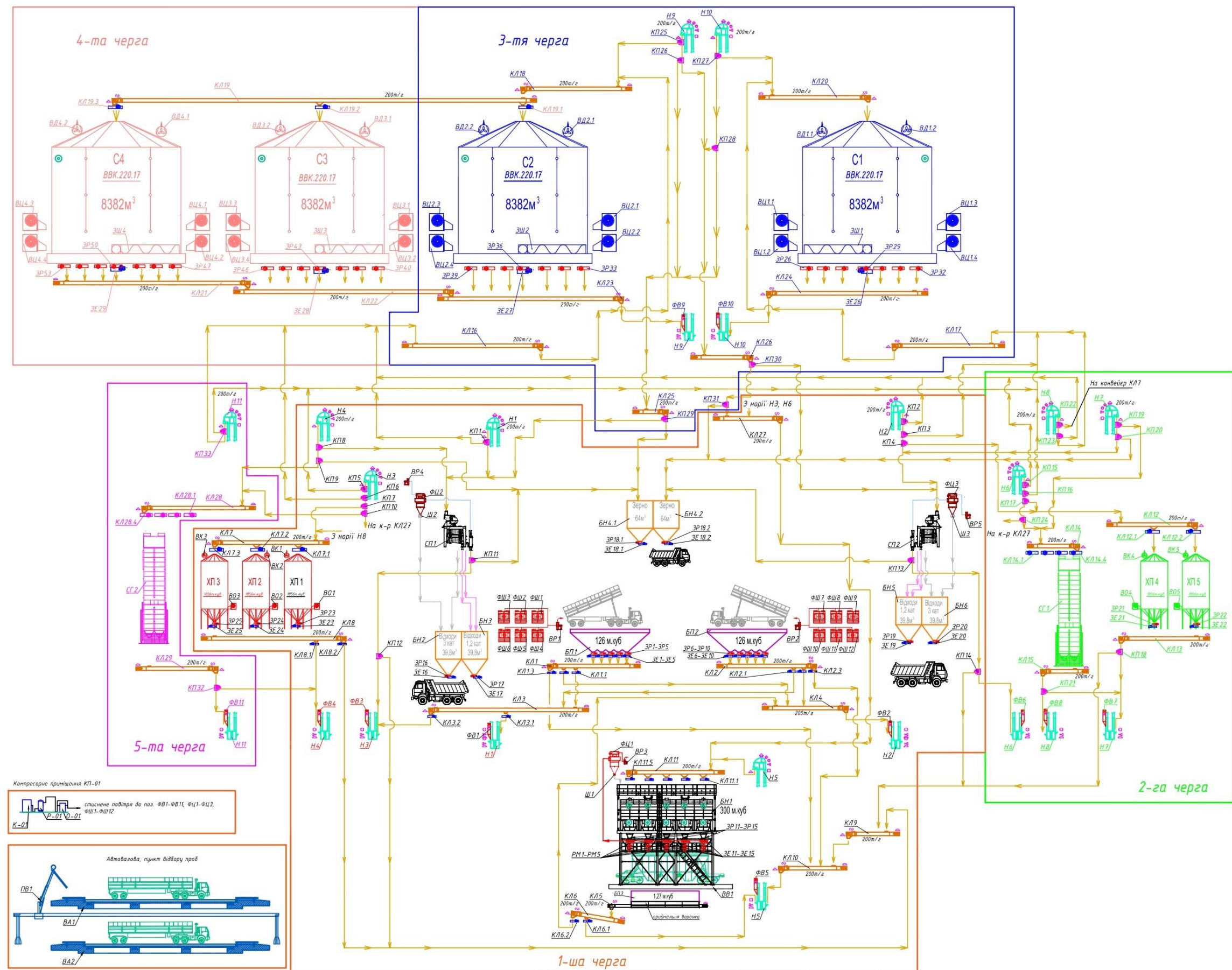


Рисунок 2.2 – Технологічна карта елеваторного комплексу

При прийманні зерна з автотранспорту, можливе використання нижче вказаних маршрутів:

- Станція розвантаження автомобілів на два проїзди → очистка (поз. СП1), транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Станція розвантаження автомобілів на два проїзди → очистка (поз. СП2), транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Станція розвантаження автомобілів на два проїзди → силоси-хопери вологого зерна (поз. ХП1, ХП2, ХП3) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Станція розвантаження автомобілів на два проїзди → силоси-хопери вологого зерна (поз. ХП4, ХП5) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Станція розвантаження автомобілів на два проїзди → силоси зберігання зерна (поз. С1-С4) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Станція розвантаження автомобілів на два проїзди → відвантаження зерна на залізничний транспорт – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;

Приймання зерна з залізничного транспорту (перевантаження вагонів):

- Пункт залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою → Пункт залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;

При проведенні очистки, можливе використання нижче вказаних маршрутів:

- Очистка (поз. СП1) → силос-хопер (поз. ХП1, ХП2, ХП3) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Очистка (поз. СП1) → силоси для зберігання зерна (поз. С1-С4) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Очистка (поз. СП1) → Зерносушарка (поз. СГ2) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Очистка (поз. СП1) → Відвантаження зерна на автомобільний транспорт;
- Очистка (поз. СП1) → Відвантаження зерна на залізничний транспорт – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;

- Очистка (поз. СП2) → силос-хопер (поз. ХП4, ХП5) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;;
- Очистка (поз. СП2) → силоси для зберігання зерна (поз. С1-С4) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Очистка (поз. СП2) → Зерносушарка (поз. СГ1) – транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Очистка (поз. СП2) → Відвантаження зерна на автомобільний транспорт;
- Очистка (поз. СП2) → Відвантаження зерна на залізничний транспорт - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;

При проведенні операції сушіння, можливе використання нижче вказаних маршрутів:

- Силос-хопер (поз. ХП1, ХП2, ХП3)→ Сушка (поз. СГ2) – одна транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Сушка (поз. СГ2)→ Сушка (поз. СГ2) – одна транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Сушка (поз. СГ2) → Силоси для зберігання зерна С1-С4 - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год.
- Силос-хопер (поз. ХП4, ХП5)→ Сушка (поз. СГ1) – одна транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Сушка (поз. СГ1)→ Сушка (поз. СГ1) – одна транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Сушка (поз. СГ1) → Силоси для зберігання зерна С1-С4 - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год.

Транспортування відходів:

Накопичені відходи з бункерів відвантажуються на автотранспорт для подальшої утилізації на спеціалізованих підприємствах.

Завантаження автомобільного та залізничного транспорту:

- Силоси для зберігання зерна С1-С4→ Пункт залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;

- Силоси для зберігання зерна С1-С4→ Очистка (поз. СП1) → Пункт залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Силоси для зберігання зерна С1-С4→ Очистка (поз. СП2) → Пункт залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Силоси для зберігання зерна С1-С4→ Бункер завантаження автомобільного транспорту (поз. БН4.1) - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Силоси для зберігання зерна С1-С4→ Бункер завантаження автомобільного транспорту (поз. БН4.2) - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Силоси для зберігання зерна С1-С4→ Очистка (поз. СП1) → Бункер завантаження автомобільного транспорту (поз. БН4.1) - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;
- Силоси для зберігання зерна С1-С4→ Очистка (поз. СП2) → Бункер завантаження автомобільного транспорту (поз. БН4.2) - транспортна лінія, продуктивністю до 210 т/год;

2.1.4 Технологічні вузли

Технологічну схему елеваторного комплексу та специфікацію застосованого технологічного обладнання (див. рис. 2.2) (позиції обладнання вказані у відповідності з технологічною схемою), позиції споруд вказані у відповідності до генерального плану (див. рис. 2.1).

2.1.5 Кількісний та якісний облік

Ваговий контроль автомобільного транспорту проводиться на вагах при в'їзді на територію підприємства.

Ваговий контроль залізничного транспорту проводиться в «Пункті залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою».

Визначення якості зерна передбачене експрес-лабораторією. Відбір проб проводиться пробовідбірниками.

2.1.6 Приймання з автомобільного транспорту

Приймання зерна з автомобільного транспорту організовано на станції розвантаження автомобілів на два проїзди поз. 2 по ГП, яка включає:

- приймальні бункери;
- два ланцюгових конвеєри КЛ1, КЛ2 з продуктивністю до 210 т/год кожний.

2.1.7 Приймання з залізничного транспорту

Приймання зерна з залізничного транспорту виконується в пункті залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою поз. 4 по ГП, який складається з:

- приймального бункера
- ланцюгового конвеєра з приймальною воронкою КЛ5 з продуктивністю до 210 т/год.

2.1.8 Очистка

Процес очистки організовано в блоці очистки з бункерами вивантаження зерна на автотранспорт поз. 8 по ГП (рис. 2.1).

Очистка проводиться на очищувачах зерна з системою аспірації СП1 та СП2. Після очистки зерно може направлятись на накопичувальні силоси-хопери або

сушку, чи направлятись на відвантаження на автомобільний та залізничний транспорт або на зберігання в силоси.

Перевантаження очищеного зерна передбачено транспортною лінією продуктивністю до 210 т/год.

Вертикальне переміщення зерна, пов'язане з процесом очистки, здійснюється норіями.

Транспортування відходів від сепараторів зерна здійснюється за допомогою самопливного транспорту до бункерів накопичення відходів.

Розташування накопичувальних бункерів для відходів забезпечує проїзд під ними автотранспорту для відвантаження та подальшої утилізації відходів.

Кількість відходів при очищенні зерна вказані в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 - Кількість відходів

Крупні відходи до 3%, тон на добу	192
Дрібні відходи до 2%, тон на добу	128
Пилові відходи, тон на добу	64

2.1.9 Сушка

Для забезпечення можливості приймання зерна, вологість якого перевищує базисні кондиції, передбачається влаштування двох вузлів сушіння.

Вузли зерносушіння передбачають:

- зерносушарки СГ1 поз.19 по ГП та СГ2 поз. 18 по ГП;
- силоси-хопери ХП1, ХП2, ХП3 поз. 10.1-10.3 по ГП та ХП4, ХП5 поз. 10.4-10.5 по ГП, для накопичення вологого зерна, ємністю 1856 м³ кожен;

- конвеєри завантаження і розвантаження накопичувальних хоперів та зерносушарки.

Зерно після сушіння транспортується на зберігання в силоси С1-С4. При необхідності зменшення вологи зерна за декілька етапів сушіння, можливе повернення зернових на сушарки.

2.1.10 Відвантаження зерна

Відвантаження зерна на залізничний транспорт відбувається в пункті залізничного вивантаження та навантаження вагонів з ваговою поз. 4 по ГП через силос розвантаження на залізничний транспорт, ємністю 300 м³ (поз. БН1). Одночасно з завантаженням вагона передбачено зважування вагона на вагах (поз.ВВ1).

Відвантаження зерна на автомобільний транспорт передбачено в блоці очистки з бункерами вивантаження зерна поз. БН4.1 та БН4.2 на автотранспорт поз. 8 по ГП.

2.1.11 Силоси зберігання зерна

Зберігання зерна передбачено в силосах з плоским дном з системою аерації та термометрії, місткість силоса 6705 тон. Завантаження та вивантаження силосів забезпечується конвеєрами потужністю 210 т/г.

Система аерації дозволяє зберігати зерно тривалий час шляхом продування зерна повітрям [15].

Система термометрії стежить за температурою зерна.

2.1.12 Склад і обґрунтування обладнання, яке застосовується

Вибір обладнання визначений умовами забезпечення оптимальної роботи технологічних ліній, виконання виробничих завдань, раціонального використання трудових ресурсів, а також виконання правил охорони праці, промислової санітарії та заявленими інтересами Замовника.

Перелік та основні характеристики обладнання приведені в специфікації технологічного обладнання -ТХ.С.

Перевантаження зерна передбачається ланцюговими конвеєрами, які мають закритий металевий корпус та відносно просту конструкцію. Мають можливість завантаження і розвантаження в будь-якій точці траси конвеєрів.

Для вертикального переміщення зерна використовуються норії, які є ефективним засобом транспортування, що характеризуються високою продуктивністю і мінімальною площею. Конструкція і робочі органи норій, що використовуються, призначені для безпечного транспортування зернової сировини. Встановлені на норіях вибухорозрядні пристрої запобігають руйнуванню та розповсюдженню полум'я. Вибухорозрядні пристрої складаються з запобіжних мембран або відкидного клапана.

Очищення зерна від сторонніх домішок проводиться на зерновому сепараторі TAS-206A, продуктивністю до 210 т/год. Обладнання забезпечує відділення домішок, що відрізняються розмірами і аеродинамічними властивостями від основного зерна.

Сушіння зерна проводиться на зерносушарці STRAHL модель 10000 FR/8 безперервної дії та призначеній для зовнішнього розташування. Джерелом тепла для зерно-сушки є природний газ.

Для накопичення вологого зерна використовуються силоси з конусним дном моделі CMBA11.14.K45 "KMZ Industries", $H = 26.25$ м, $\varnothing 11.0$ м, $V=1856$ м³, обладнані системою активного вентилявання, драбинами обслуговування (на даху, зовнішня та внутрішня).

Зберігання зерна здійснюється в силосах с плоским дном моделі ВВК.220.17.03.В12 "KMZ Industries", $H = 26,9$ м, $\varnothing 22.0$ м, $V=8382$ м³, обладнані системою активного вентилявання, термометрією, драбинами обслуговування (на даху, зовнішня та внутрішня).

Розподільчі пристрої та самопливний транспорт підібрані з розрахунку забезпечення продуктивності транспортного обладнання. Кути нахилу самопливів прийняті з метою мінімізації пилоутворення і травмування зерна, а також

забезпечення безперервного транспортування різної за якістю та типом зернової сировини.

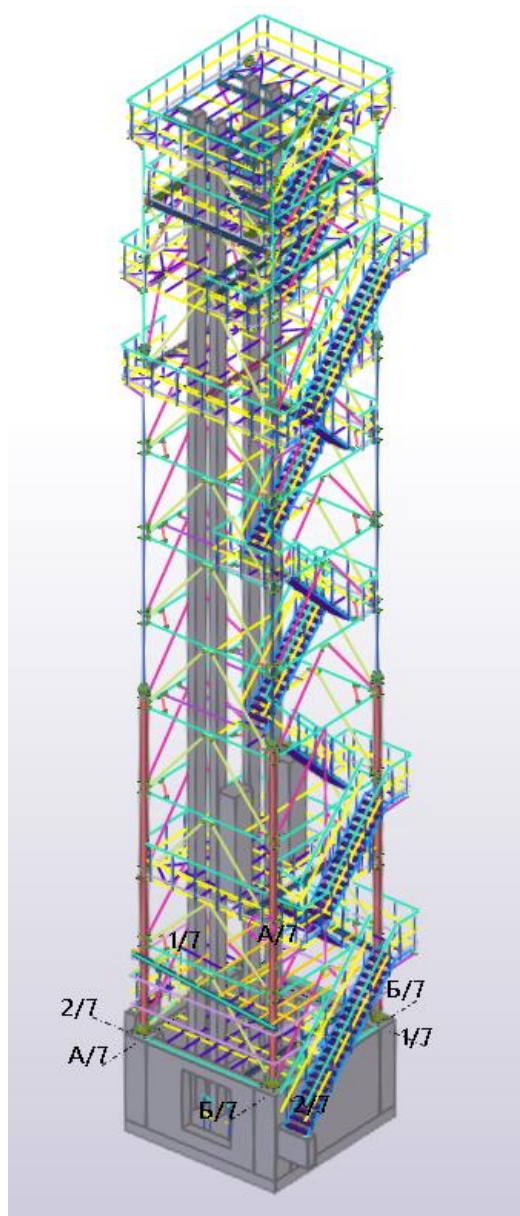
Розподільчі і самопливні пристрої підібрані з розрахунку забезпечення продуктивності 200 т/год, поперечний перетин розподільчих пристроїв складає $\varnothing$ 400 мм та 400х400 мм.

Застосовані засувки дозволяють плавно і точно регулювати подачу зерна. Їх поперечні перетини підібрані виходячи з розрахунку забезпечення продуктивності ліній до 210 т/год.

2.2 Роль норійної вежі у функціонуванні елеваторного комплексу

Норійна вежа (рис. 2.3 а) є важливою ланкою інженерних споруд у складі елеваторного комплексу, оскільки вона забезпечує вертикальне транспортування зерна між різними рівнями об'єкта. Її конструкція та функціональність визначають безперебійність технологічного процесу, впливаючи на загальну продуктивність елеватора.

Норійна вежа є сполучною ланкою між різними ділянками комплексу, а саме: відділенням прийому зерна, очищенням, сушінням, зберіганням у силосах або бункерах, навантаженням на транспортні засоби (залізничні вагони чи автотранспорт). В межах одного елеваторного комплексу можуть бути декілька таких споруд, що в свою чергу залежить від технологічних процесів підприємства. Норійна вежа фактично є каркасом який забезпечує проходження технологічного обладнання норійних труб (рис. 2.3 б) та зон обслуговування його комплектуючих.



а)



б)

Рисунок 2.3 - Конструкція норійної вежі, розробленої в програмі Tekla Structures (а); транспортер вертикальної подачі зерна (б)

На верхньому рівні вежі зазвичай встановлені системи розподілення потоків зерна (живильники, клапани, жолоби), які спрямовують продукцію в потрібний силос або на потрібну технологічну лінію (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 - Система розподілення потоків зерна норійної вежі

За допомогою норійної вежі зерно може бути переміщене між силосами для рівномірного розподілення або підготовки до наступних етапів, наприклад, сушіння чи очищення.

2.3 Створення каркасу норійної вежі в програмі Dlubal RFEM

Норійна вежа, зазвичай, представляє собою просторову в'язеву конструкцію, яка складається з колон та вертикальних зв'язків, також є площадки для обслуговування обладнання, сходові марші. Нерідко до даної конструкції сполучаються транспортні галереї (рис. 2.5), які є ланками горизонтального транспортування зерна. Технологічне обладнання часто створює динамічні впливи. Всі ці чинники значно ускладнюють процес розрахунку, з такою задачею може справитись тільки сучасний розрахунковий комплекс, наприклад, можна

використати скінчено-елементні програмні комплекси (ПК) «Dlubal RFEM», Robot Structural Analysis, SCAD Office та інші [16-19].

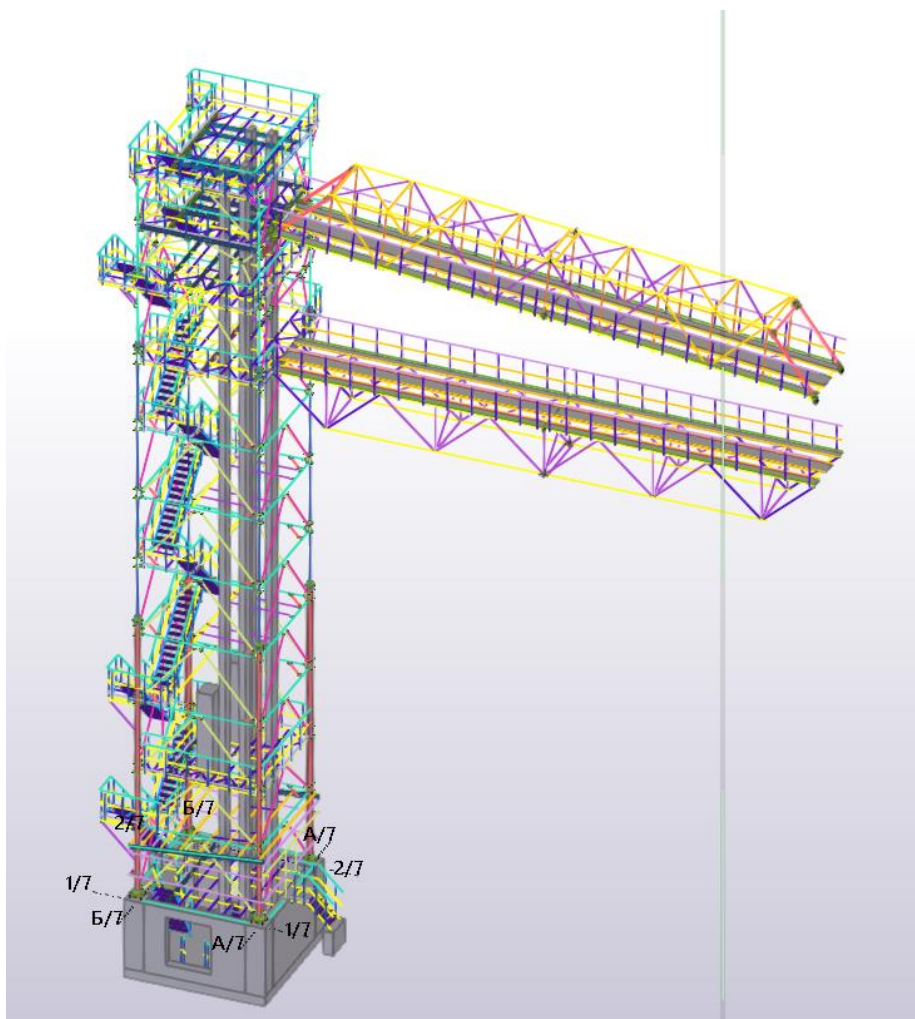


Рисунок 2.5 – Норійна вежа сполучена з транспортними галереями

В даній дипломній роботі розрахунок каркасу норійної вежі під дією статичних навантажень виконано в програмному комплексі Dlubal RFEM. Вибраний програмний пакет дає ряд переваг:

- легка побудова аналітичної моделі конструкції;
- імпорт та експорт з іншими програмними комплексами (Tekla Structures, Revit Structures, Bentley ISM та ін.);
- інтуїтивний інтерфейс програми;

- гнучка модульна система розрахунків для конкретних інженерних задач;
- висока продуктивність;
- реалізація BIM технологій [20].

Dlubal RFEM 5 — це сучасний програмний комплекс для чисельного аналізу та проектування інженерних конструкцій різного типу та призначення, розроблений компанією Dlubal Software, яка знаходиться в Німеччині. Даний софт застосовується для розрахунків та аналізу в будівництві, машинобудуванні, а також інших інженерних галузях, використовуючи метод скінчених елементів (МКЕ).

Dlubal Software — це провідний німецький розробник програмного забезпечення для структурного аналізу конструкцій. Компанія заснована в 1987 році, вона спеціалізується на розробці сучасних інструментів для інженерів, що дозволяють проводити точні розрахунки складних завдань.

Беручи до уваги вище згадані переваги, аналітичну модель норійної вежі створюємо за допомогою стандартних інструментів програми. В діалоговому вікні (рис. 2.6) вибираємо тип розрахункової моделі «3D» оскільки ми будемо розглядати просторову задачу.

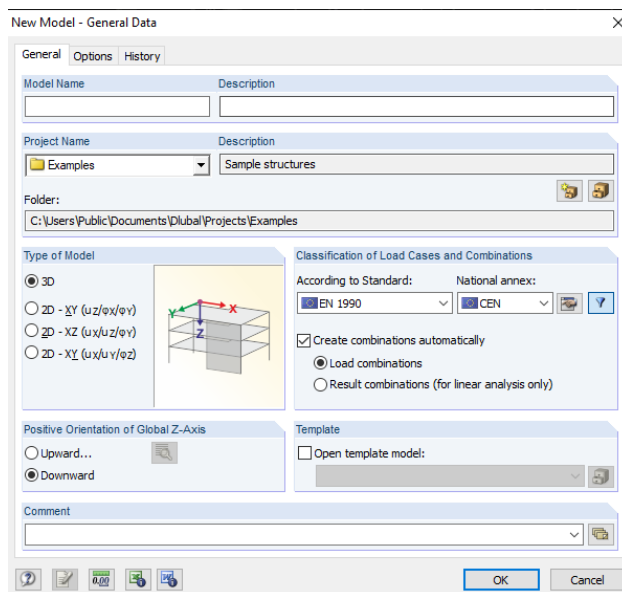


Рисунок 2.6 – Діалогове вікно створення нової моделі програми Dlubal RFEM

В нашому випадку норійна вежа має розміри в плані 5х5 метри і висоту 32,2 м (рис 2.7 та рис. 2.8).

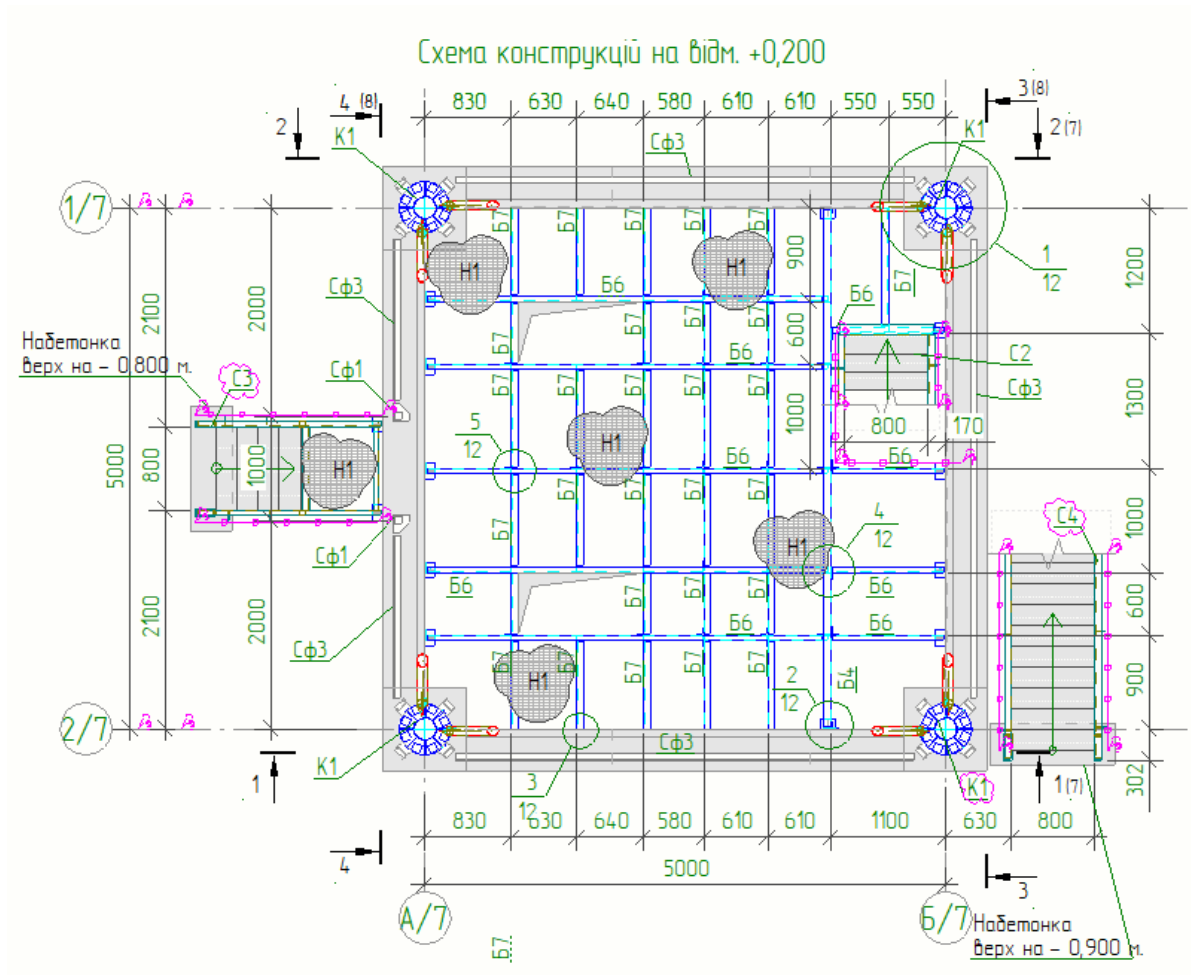


Рисунок 2.7 – План-схема норійної вежі

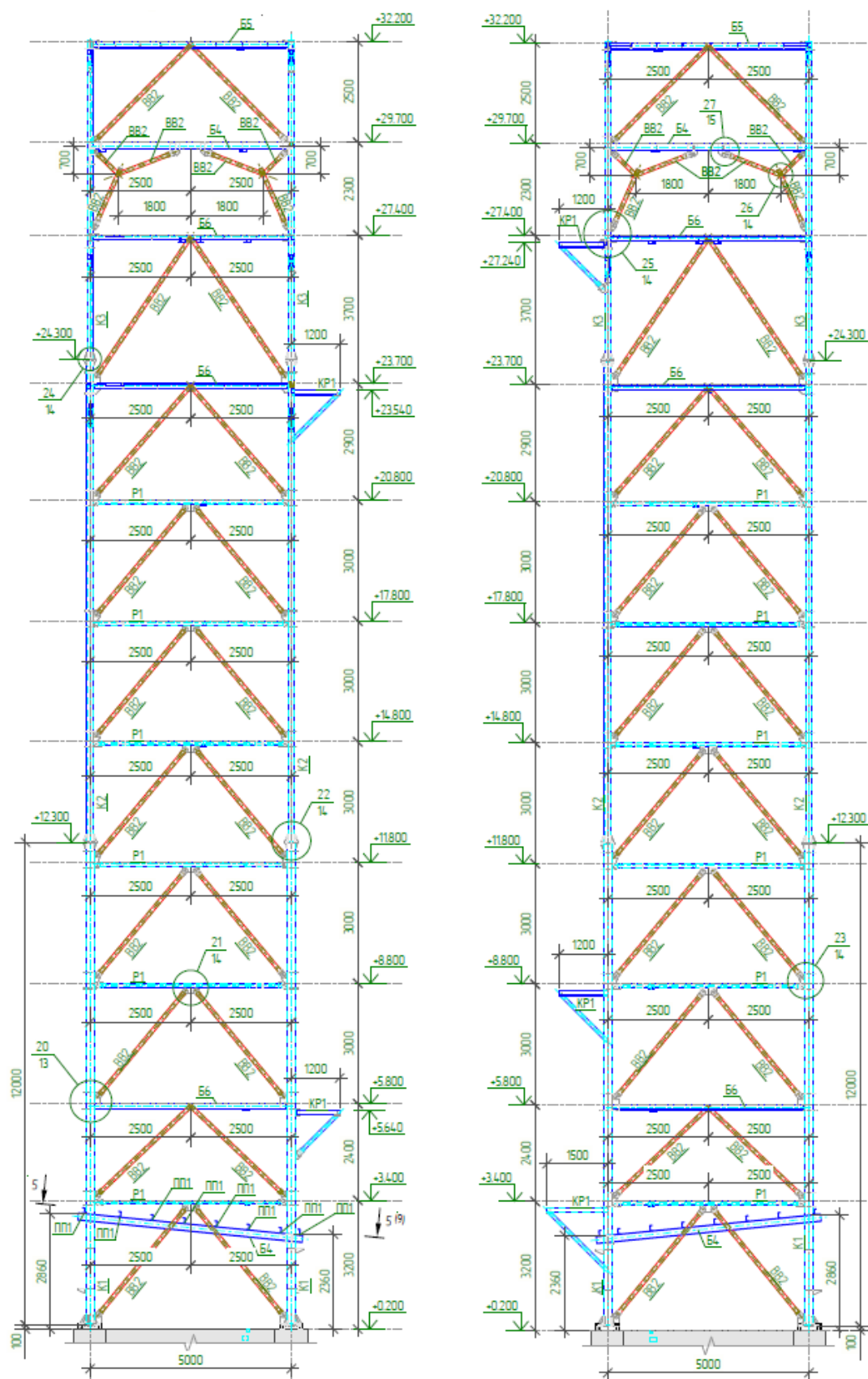


Рисунок 2.8 – Розрізи норійної вежі

Далі нам доступне робоче поле (інтерфейс програми) (рис. 2.9), в якому буде безпосередньо проводитись процес створення аналітичної моделі металевго каркасу норійної вежі.

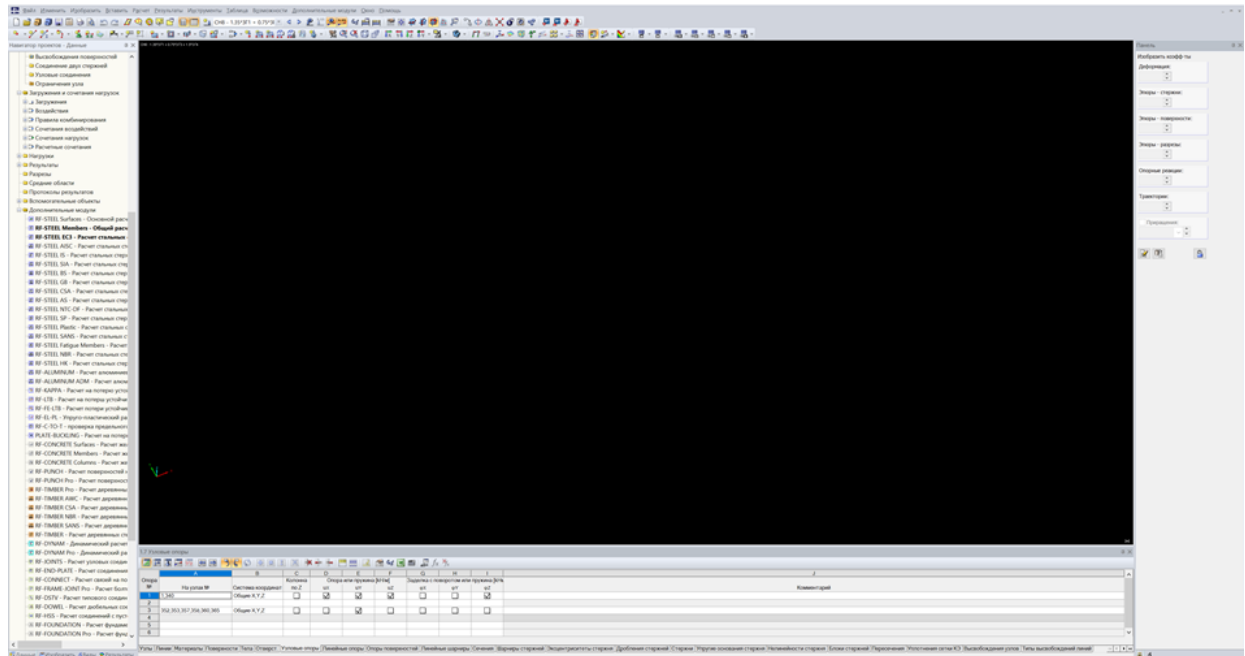


Рисунок 2.9 - Інтерфейс програми DLUBAL RFEM

За допомогою інструментів створення точок, ліній та стержнів а також інструментів редагування (копіювання, переміщення, дзеркальне відображення та поворот) виконується побудова аналітичної моделі каркасу (рис. 2.10). Паралельно задаємо стержням орієнтовні січення (профільні та круглі труби, швелера, двотаври, тощо), які в процесі розрахунку будуть коригуватись в залежності від напружено-деформативного стану елементів.

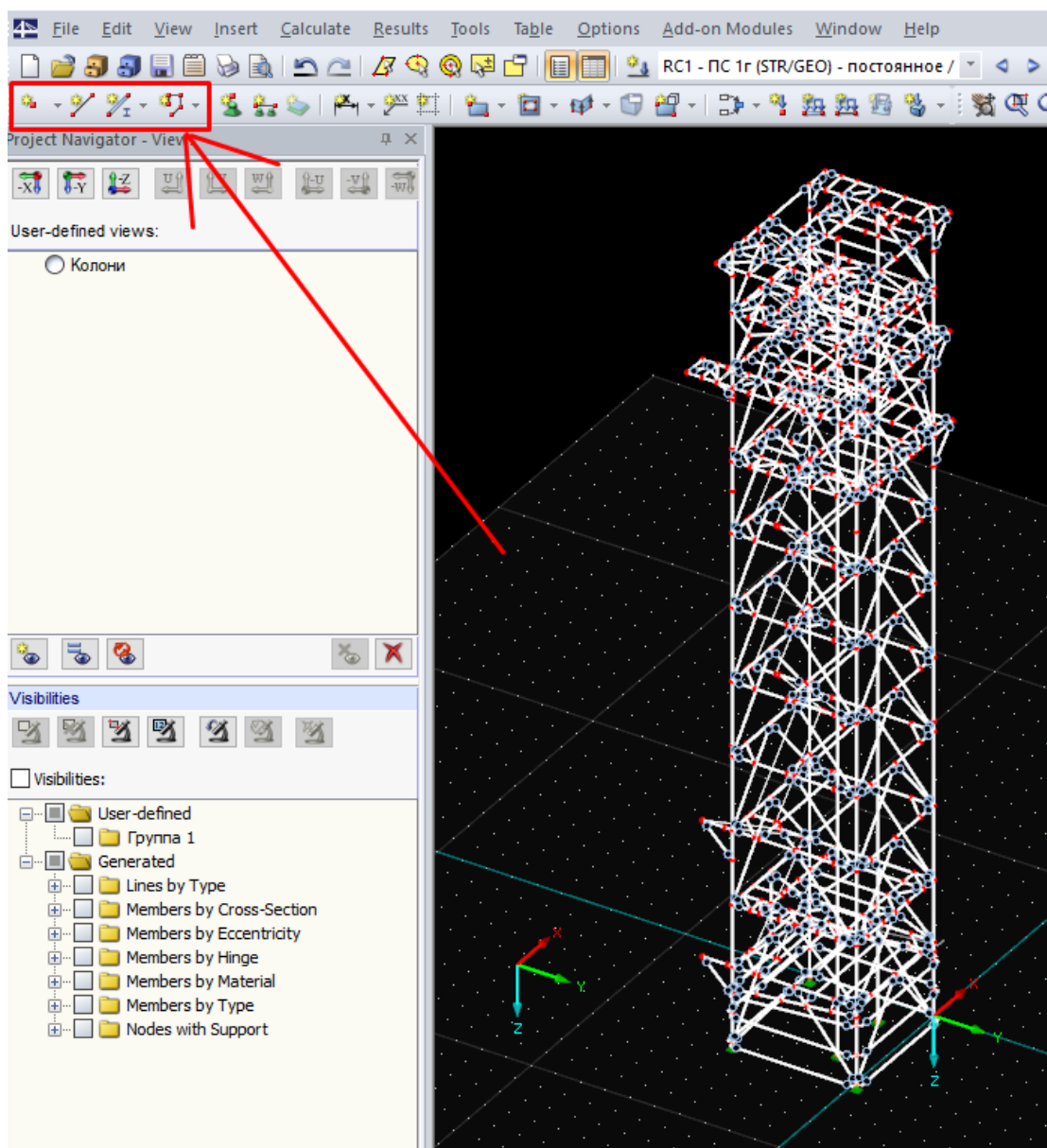


Рисунок 2.10 – Аналітична модель металоконструкції норійної вежі

В даній конструкції для кожного конструктивного елемента задано певний тип перерізу, а саме:

- Колони – нижній ярус – труба кругла прямошовна 219x5 мм; середній ярус – 159x5 мм; верхній ярус – 133x5 мм;
- Вертикальні в'язі – труба кругла прямошовна 89x4 мм та 102x4 мм;
- Балки площадок – швелера №12 - №20; двотавр IPE 220.

Детальний перелік конструктивних елементів див. графічні матеріали, що додаються.

Вузли з'єднання конструкцій норійної вежі передбачені шарнірними, що в свою чергу дозволяє розглядати каркас, як просторово-в'язеву модель поведінки. Задання шарнірів виконується безпосередньо в налаштуваннях кожного необхідного нам стержня (ри. 2.11).

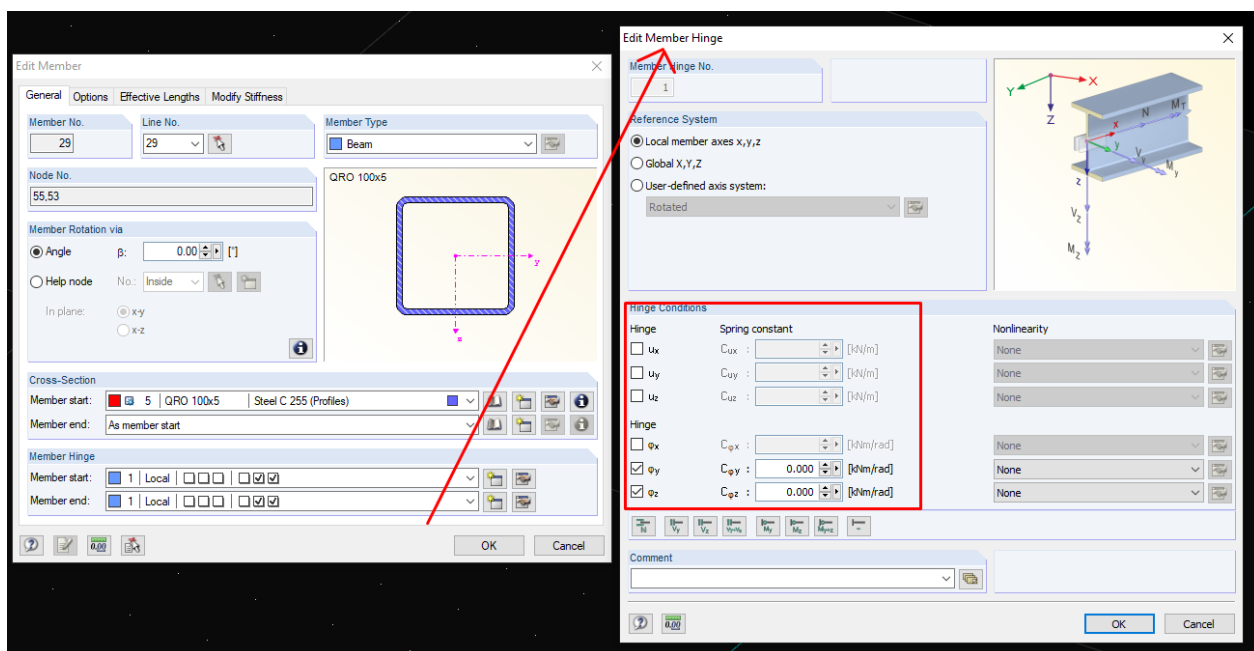


Рисунок 2.11 – Діалогові вікна налаштування шарнірів на кінцях стержнів

Обпирання колон на фундаменти виконане по типу нерухомого шарніра (рис. 2.12), що дозволяє зменшити навантаження на фундамент.

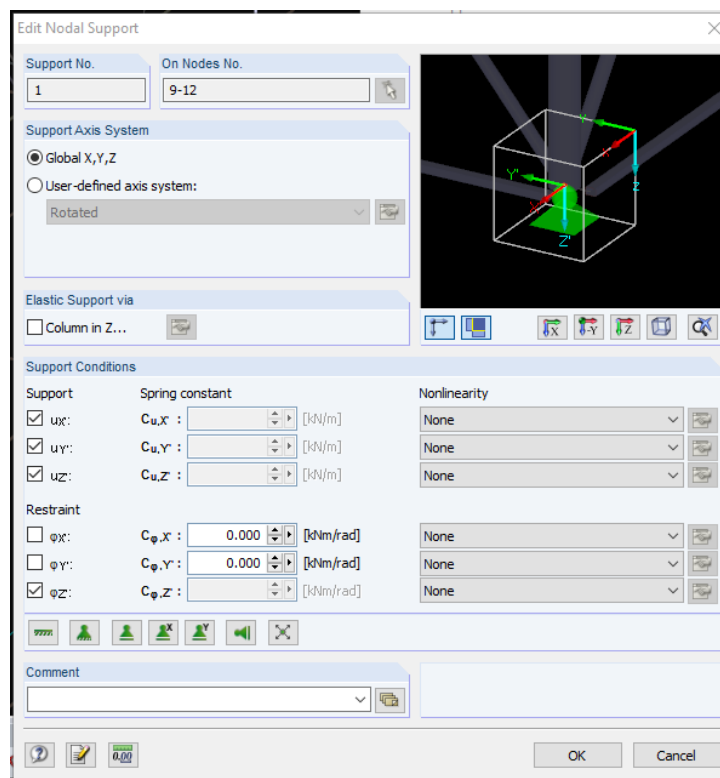


Рисунок 2.12 – Діалогове вікно задання граничних умов для колони

2.4 Задання навантажень на каркас розрахункової схеми

2.4.1 Власна вага

Навантаження від власної ваги враховують масу металевих конструкцій норійної вежі, настили (ПВЛ 506) площадок обслуговування та технологічного обладнання, яке розміщується в даній інженерній споруді (рис. 2.11). Вагу обладнання беремо залежно від його типу, яке вказане в технологічних схемах (рис. 2.2), навантаження від настилу приймаємо $0,21 \text{ кН/м}^2$ [21].

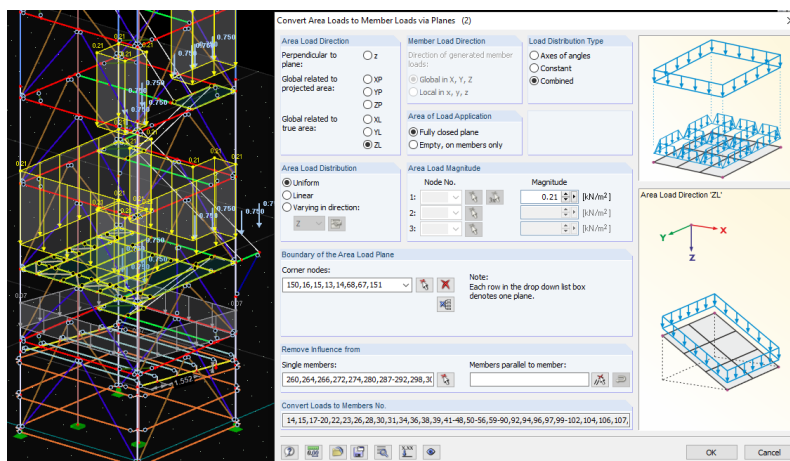


Рисунок 2.13 – Задання навантажень від власної ваги

2.4.2 Експлуатаційне навантаження від людей

Для кожного технологічного рівня (площадки обслуговування, перехідні майданчики сходових маршів та безпосередньо самі сходові марші) задаються експлуатаційні навантаження, для кожного рівня створюється окреме завантаження (рис. 2.14). Величину характеристичного навантаження приймаємо $1,6 \text{ кН/м}^2$.

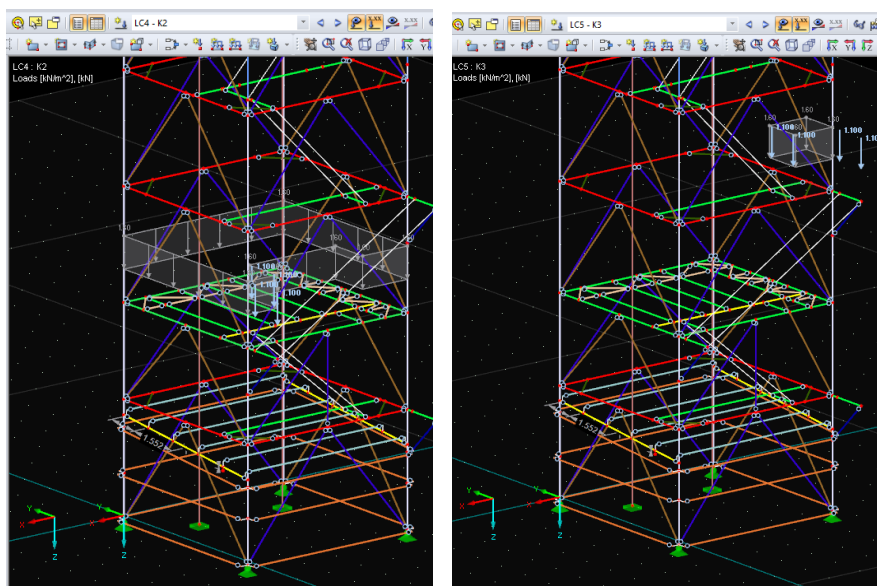


Рисунок 2.14 – Схема експлуатаційних навантажень

Окремі завантаження для кожного рівня створюються з метою створення подальшої комбінації зусиль в яких до уваги будуть братись дані зусилля із коефіцієнтами сполучення для головних тимчасових навантажень да супутніх.

2.4.3 Атмосферні впливи

Снігові наванатження є змінними в часі і прикладаються безпосередньо на поверхні покрівель [22]. Зусилля на покрівлі визначаються таким чином:

- для перехідних/постійних розрахункових ситуацій за формулою,

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

де μ_i – коефіцієнт форми снігового навантаження; s_k – характеристичне значення снігового навантаження на ґрунт;

- для випадкових розрахункових ситуацій, для яких снігове навантаження визначається як випадкова подія,

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad}$$

де s_{ad} – розрахункове значення для надзвичайного снігового навантаження на поверхню ґрунту для певної місцевості (див. 2.15); C_e – коефіцієнт навколишнього середовища; C_t – температурний коефіцієнт.

Характеристичне значення ваги снігового покриву на поверхню ґрунту в нашому випадку, а саме для м. Скалат, становить $s_k=1400$ Па.

Снігове навантаження для досліджуваної норійної вежі ми прикладаємо на покрівлю накриття прямика (рис. 2.16 а), а також на поверхню технологічного обладнання (рис. 2.16 б).

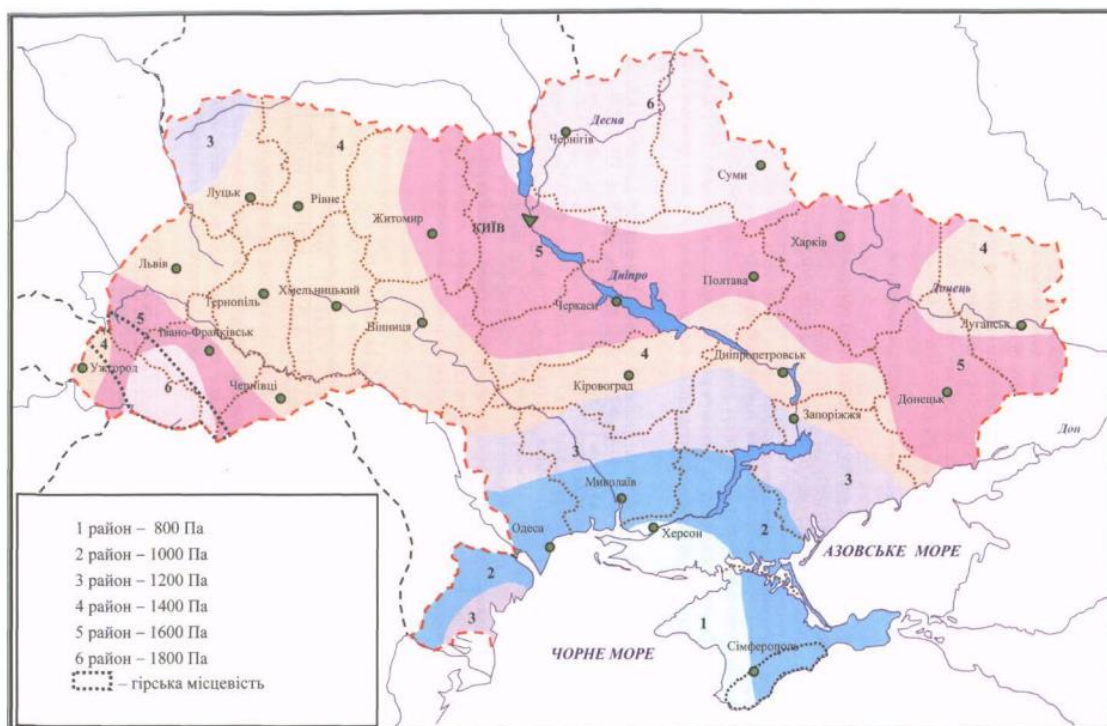


Рисунок 2.15 – Карта районування території України за характеристичним значеннями ваги снігового покриву

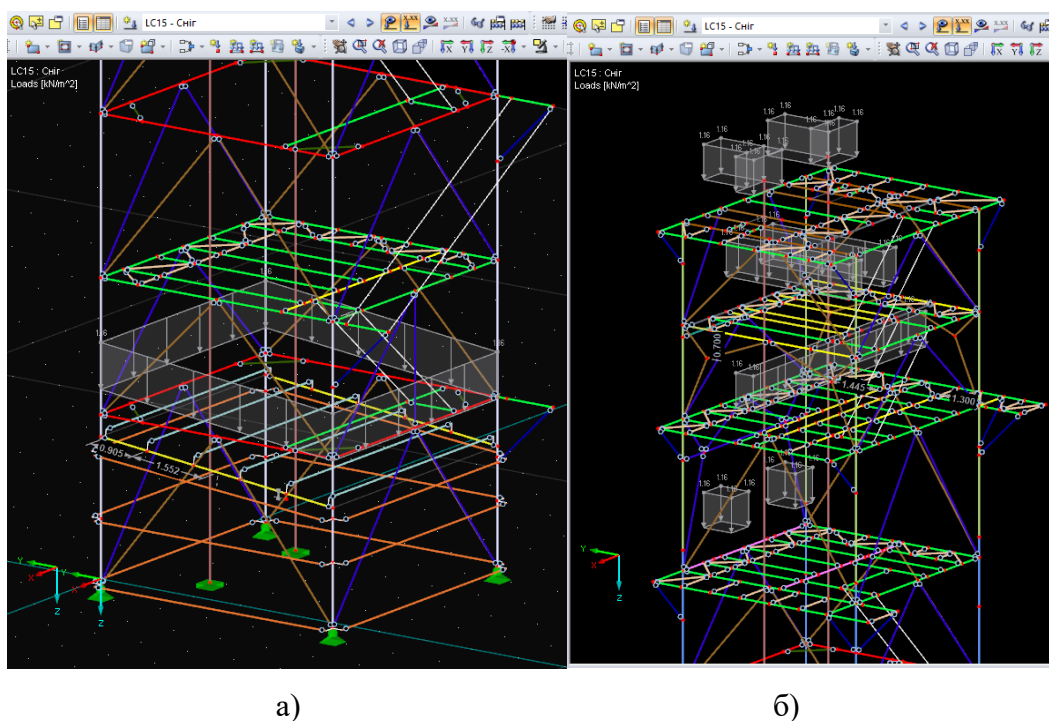


Рисунок 2.16 – Схема снігового навантаження: а - на покриття норійного прямика; б - на технологічне обладнання

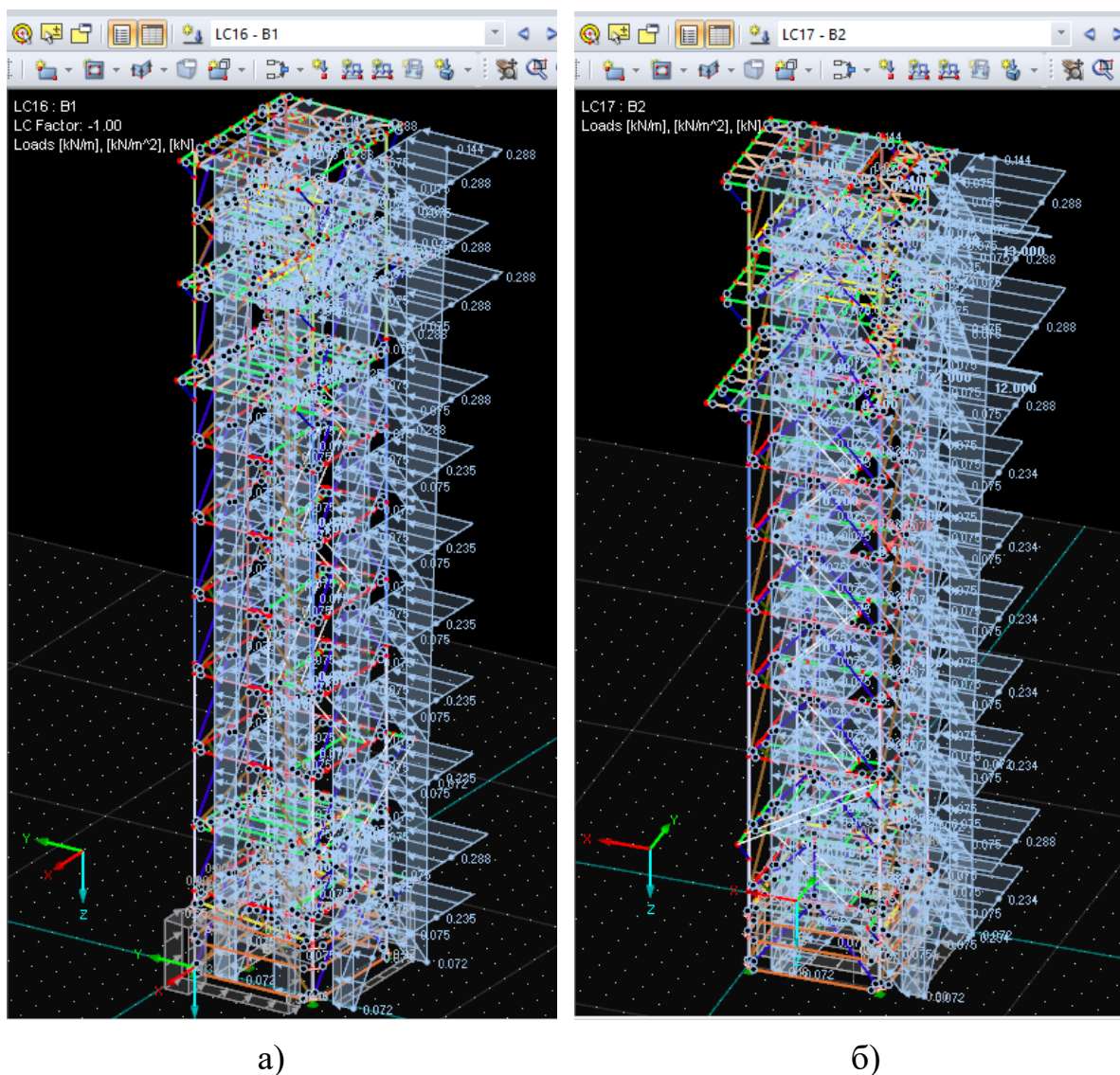
Вітрові навантаження аналогічно сніговим є змінними в часі і безпосередньо тиснуть на поверхні закритих конструкцій (вертикальні огорожувальні конструкції входу в норійний прямок), решітчасті конструкції металевго каркасу (колони, балки, в'язі, огороження, тощо) так і на технологічне обладнання (норійні труби, аспіраційні установки, тощо).

Середня швидкість вітру v_m розраховується на основі базової швидкості вітру v_b , яка залежить від його режиму, описаного в 4.2 EN 1991-1-4:2005 [23], і висотної варіації потоків, що визначається нерівністю місцевості і рельєфом, це описано в 4.3 EN 1991-1-4:2005. Максимальний швидкісний напір розраховується згідно 4.5 EN 1991-1-4:2005.

Норійна вежа, яка знаходиться в складі елеваторного комплексу, відноситься до III категорії місцевості, $v_{b,0} = 25\text{ м/с}$.

де, $v_{b,0}$ – це характеристичне значення швидкості вітру при десятихвилинному осереднюванні на висоті 10 м над землею, яка знаходиться у відкритій місцевості з низькою рослинністю (наприклад, травою) і окремими перешкодами з мінімальним віддаленням в 20 висот перешкоди, незалежне від напрямку вітру і пори року.

До елементів конструкції прикладаємо вітрові навантаження вздовж осі У та Х (рис. 2.17).



a - вздовж осі *Y*; *б* – вздовж осі *X*

Рисунок 2.17 – Схема вітрового навантаження

2.5 Висновок до розділу 2

Розглянуто основні характеристики елеваторного комплексу, його технологічні спроможності та потужності, описано процеси зберігання та транспортування зерна на підприємстві.

Розкрито роль норійної вежі, як невід'ємної частини елеваторного комплексу, розглянуто її функції, конструктивні та технологічні вимоги.

Згідно із поставленим завданням для технологічного обладнання, створена розрахункова модель металевого каркасу норійної вежі в програмному комплексі Dlubal RFEM.

До аналітичної моделі прикладені постійні навантаження від власної ваги конструкції, технологічного обладнання та тимчасові чинники від експлуатаційних ситуацій та атмосферних впливів (сніг, вітер).

РОЗДІЛ 3

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН КАРКАСУ

3.1 Аналіз напружено-деформованого стану конструкції каркасу

В розділі 2 було розглянуто основні технологічні та конструктивні характеристики норійної вежі. Прикладенні навантаження від постійних та тимчасових чинників. Тепер на основі цього в аналітичній моделі програмного комплексу Dlubal RFEM можна виконати розрахунок напружено-деформованого стану конструкції [24].

Комбінації навантажень створюється програмою автоматично, додаткові налаштування виконуються в діалоговому вікні «Edit Load Cases and Combinations» (рис. 3.1), згідно норм EN 1990 [25].

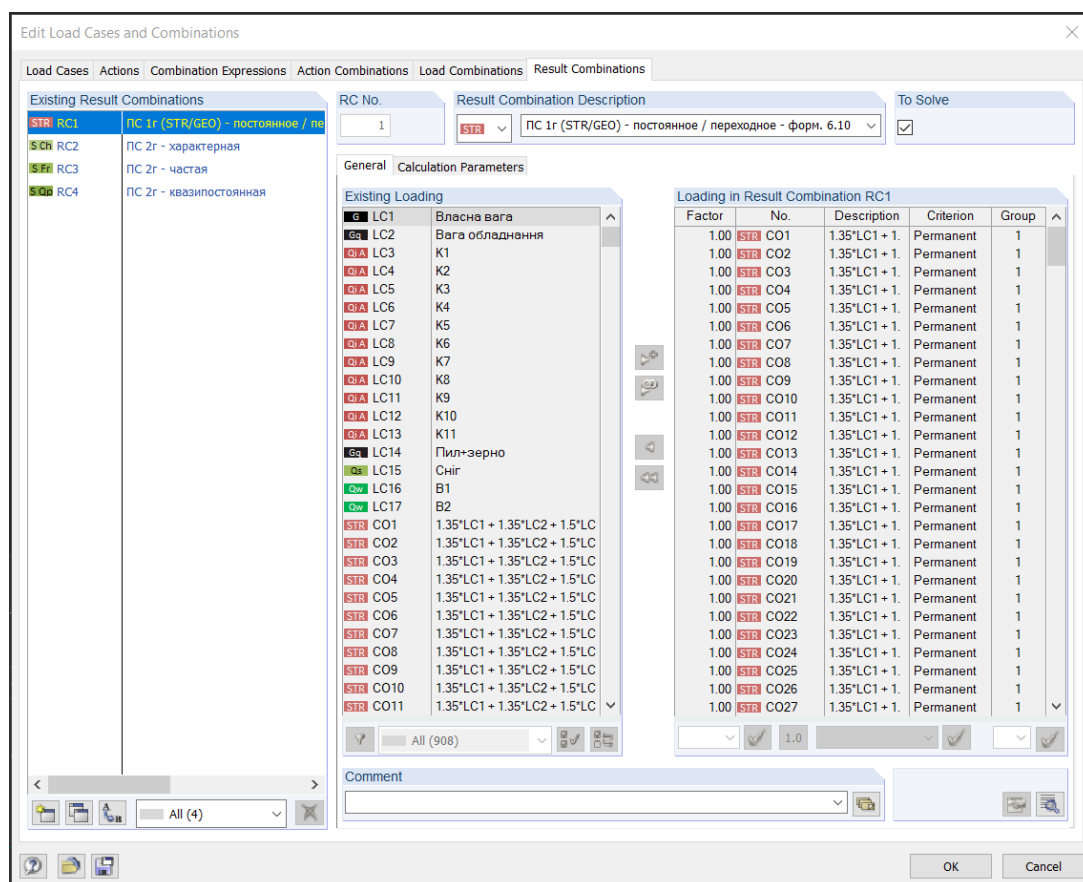


Рисунок 3.1 – Діалогове вікно налаштування комбінації навантажень

Розглянемо напружено-деформований стан основних елементів норійної вежі:

- Балки

Дані елементи сприймають безпосередньо навантаження від власної ваги настилу, обладнання, корисні навантаження, а також з горизонтальними в'язями формують жорсткі диски (рис. 3.2) площадок, що є невід'ємною частиною конструктивної схеми для забезпечення стійкості конструкції.

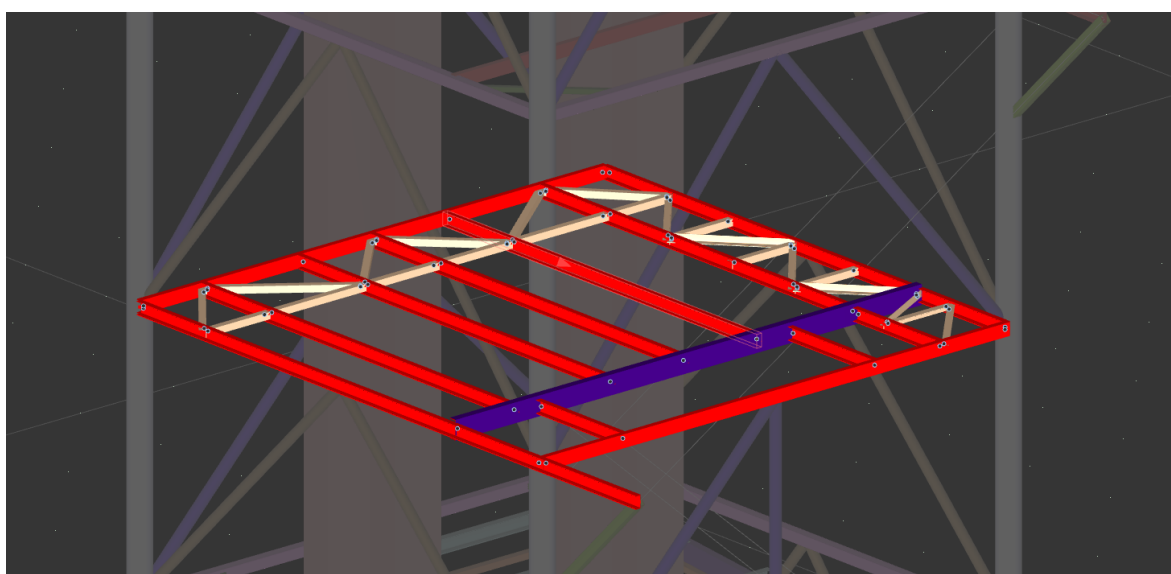


Рисунок 3.2 – Схема балкової клітки

Згинальні моменти є характерною складовою даних елементів (рис. 3.3). Розрахункове значення згинального моменту M_{Ed} , для поперечного січення має задовольняти умові [26 - 31]:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (3.1)$$

де, M_{Ed} – величина згинального моменту що діє в перерізі;

$M_{c,Rd}$ – опір згинальному моменту для перерізу.

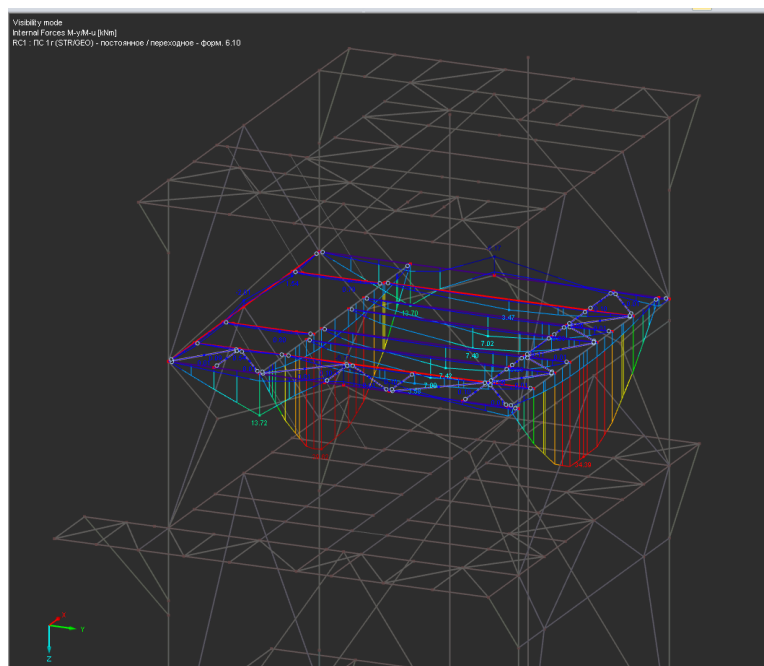


Рисунок 3.3 – Епюра згинальних моментів балкової клітки норійної вежі

Нормалі зусилля не рідко зустрічаються в даних конструкціях, якщо обидва кінці балки мають нерухоме закріплення, і до цього елемента приєднуються в'язі, то неодмінно будуть виникати нормальні сили в перерізі (рис.3.4).

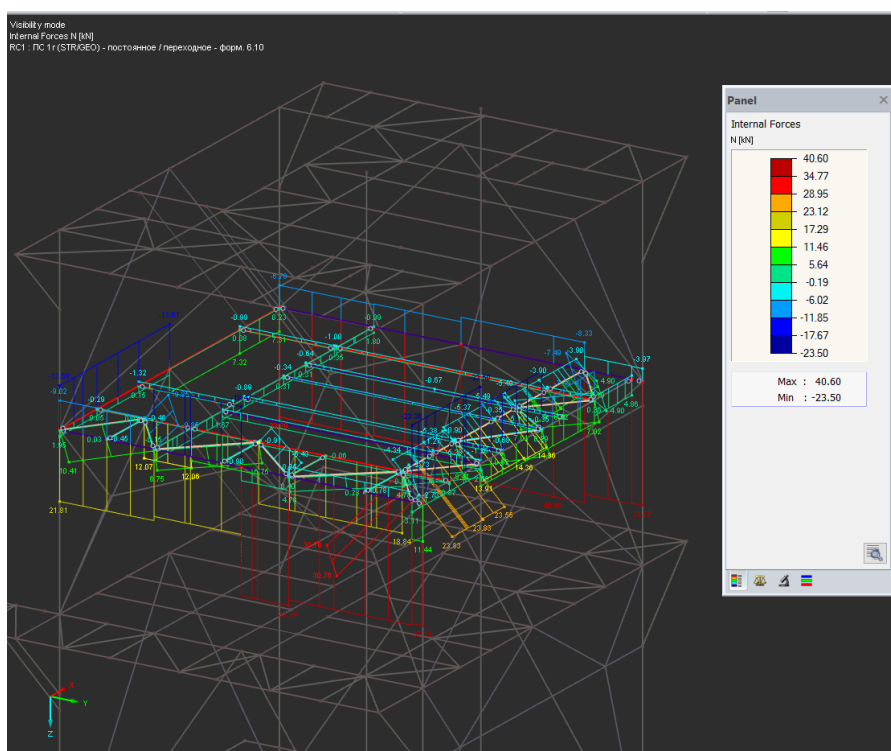


Рисунок 3.4 – Епюра нормальних сил балкової клітки норійної вежі

Також в цих конструкціях виникають поперечні зусилля (рис. 3.5).

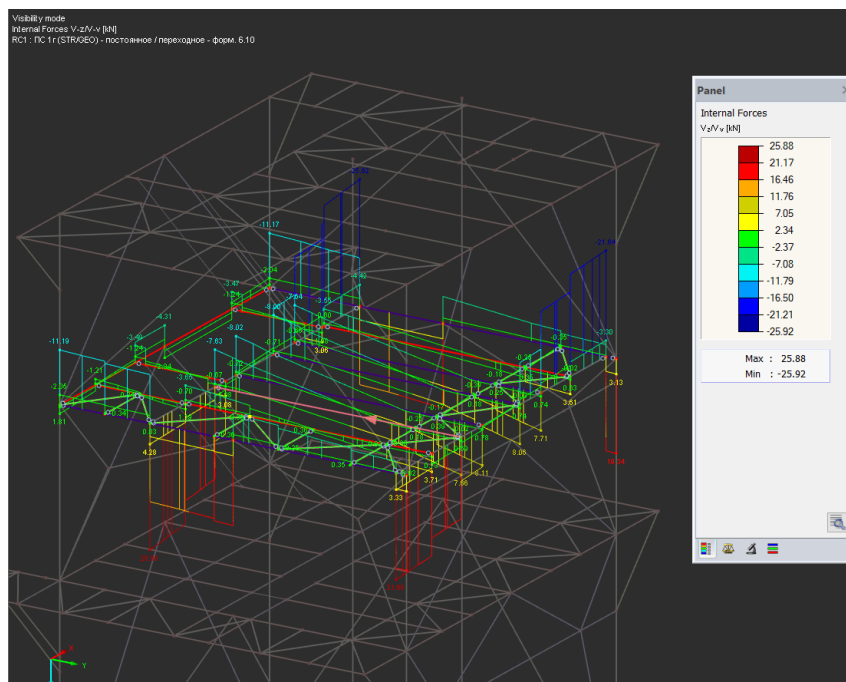


Рисунок 3.5 – Епюра поперечних сил балкової клітки норійної вежі

Розглянемо вертикальні прогини конструкції балкової клітки (рис. 3.6)

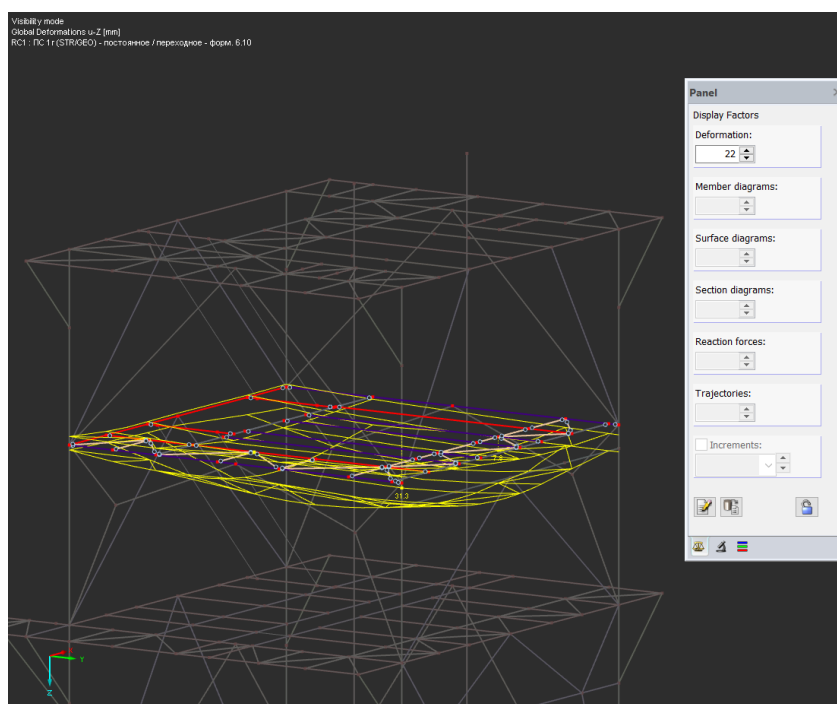


Рисунок 3.6 – Схема вертикальних прогинів (переміщень) елементів балок

- Колони

Вони являються основним несучим елементом конструкції, через них передаються навантаження від всіх конструкцій на фундаменти. На рисунку 3.7 можемо побачити максимальні та мінімальні осьові зусилля в елементах. Звідси можна дійти висновку, що чим нижче розташований елемент, тим більші на нього діють навантаження.

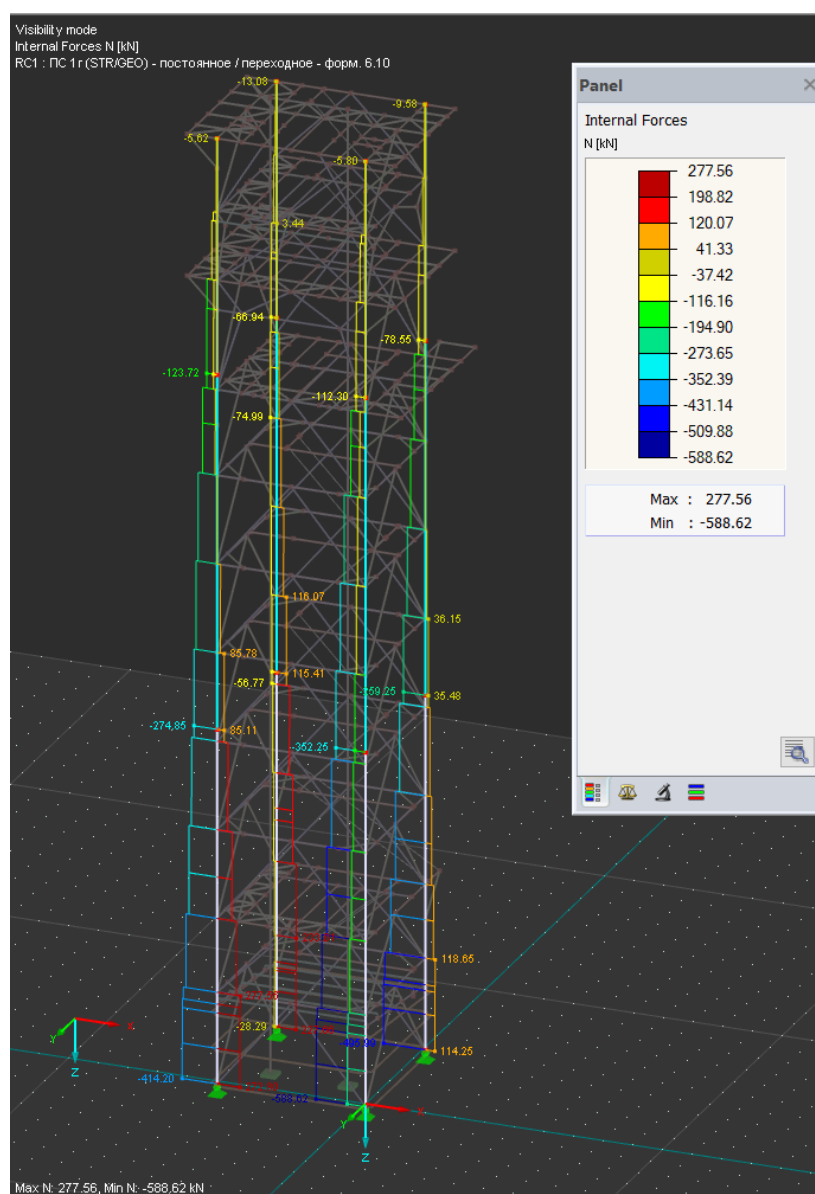


Рисунок 3.7 – Епюра осьових максимальних та мінімальних зусиль в колонах

Згинальні моменти а також поперечні зусилля на даних елементах практично відсутні (рис. 3.8), так як конструкція представляє собою стержневий в'язевий каркас. Незначні зусилля можуть виникати внаслідок ексцентриситетів прикладання зусиль від балок на колони, кронштейнів сходових маршів (рис. 3.9), тощо.

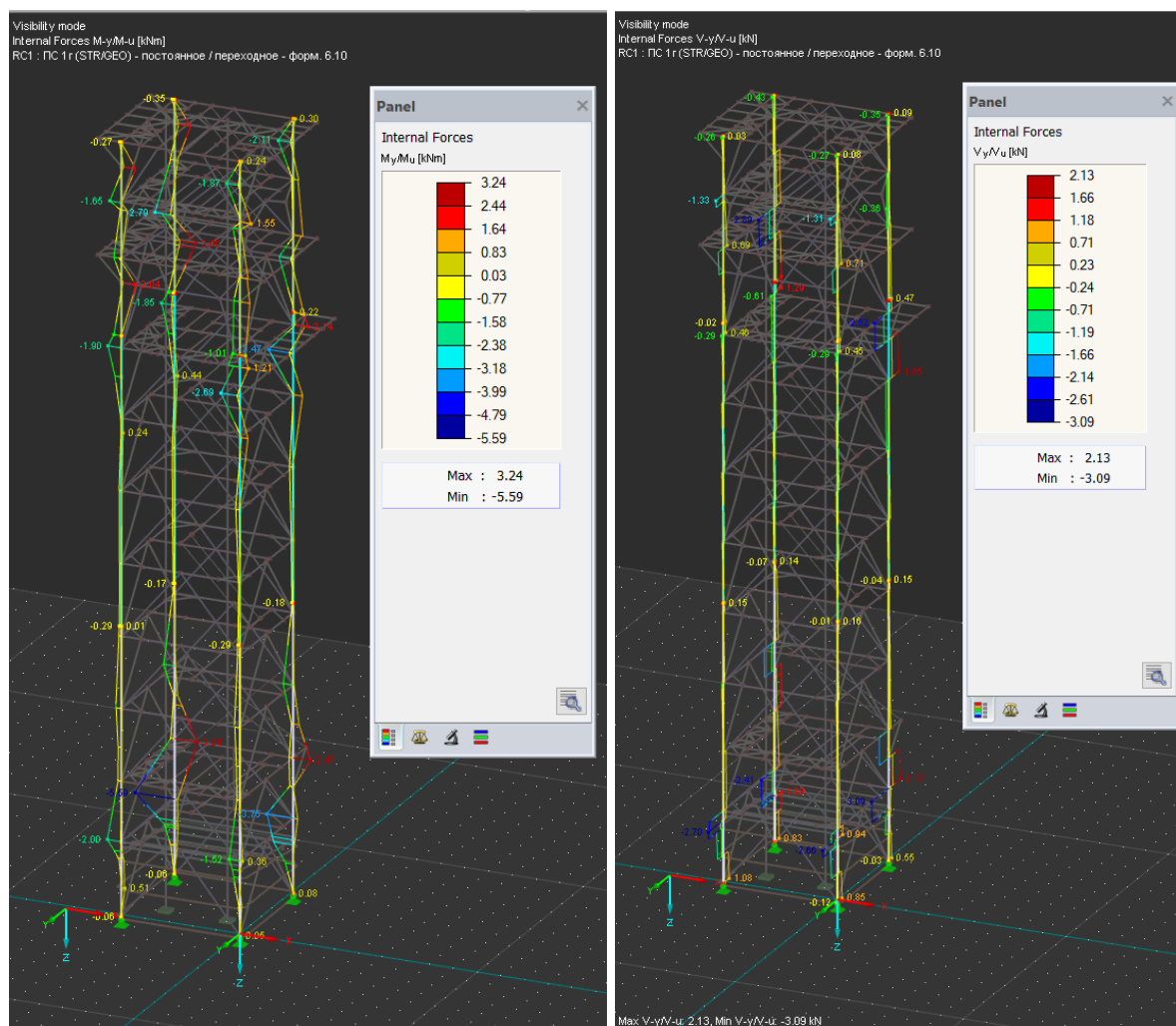


Рисунок 3.8 – Епюри згинальних моментів та поперечних сил в колонах

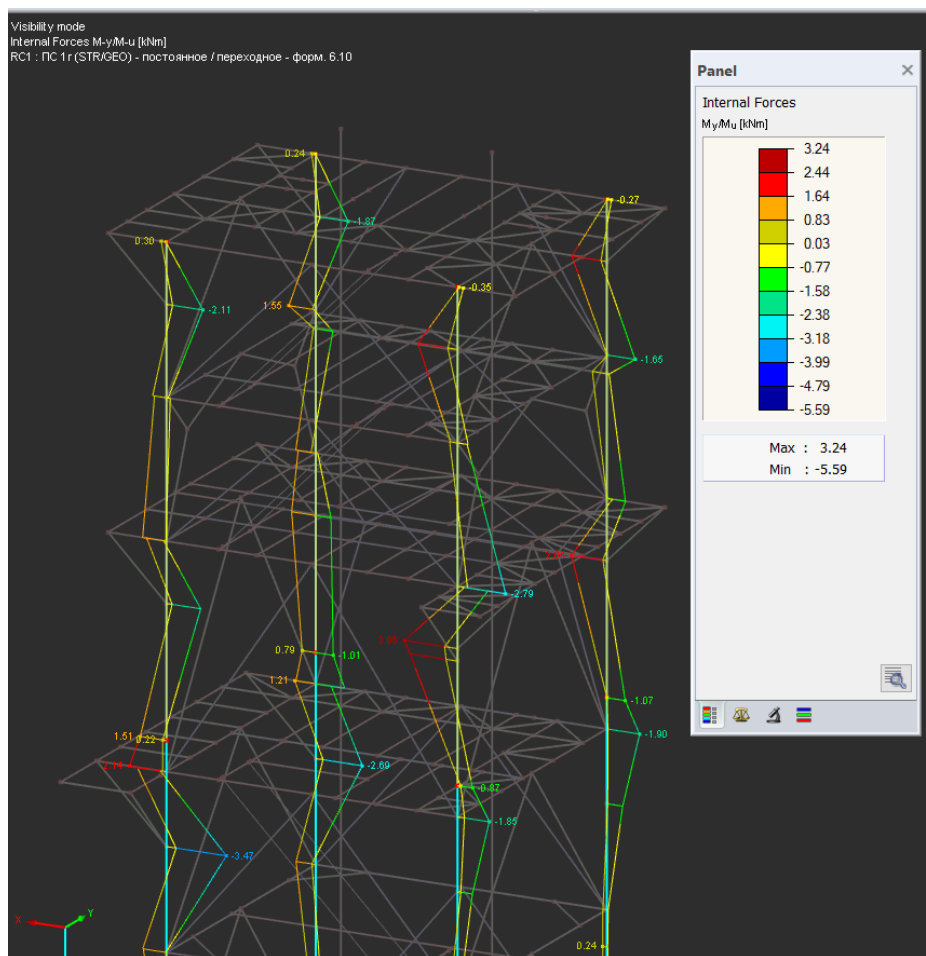


Рисунок 3.9 – Епюри згинальних моментів спричинених конструкцією кронштейна площадок та сходових маршів

Також для конструкцій такого типу мають місце вертикальні переміщення каркасу від навантажень (рис. 3.10). Значення мають бути в межах зазначених у нормативному документі [25].

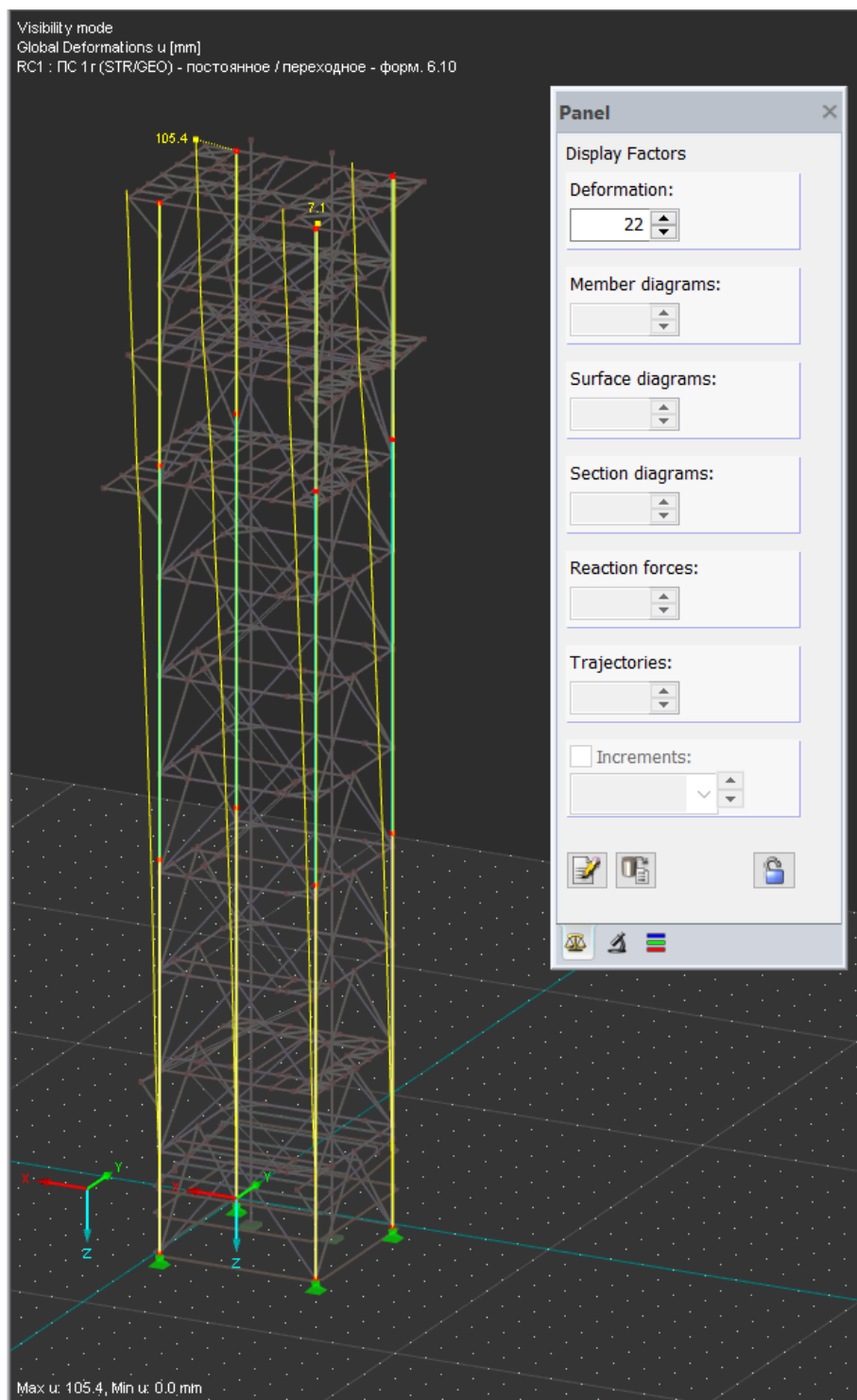


Рисунок 3.10 – Схема горизонтальних переміщень колон норійної вежі

- Вертикальні зв'язки

Вертикальні зв'язки виконують таку ж роль, що розкоси в конструкції ферми, тільки в нашому випадку вона просторова (рис. 3.11). Вони дозволяють конструкції зберігати просторову жорсткість та стійкість під дією навантажень.

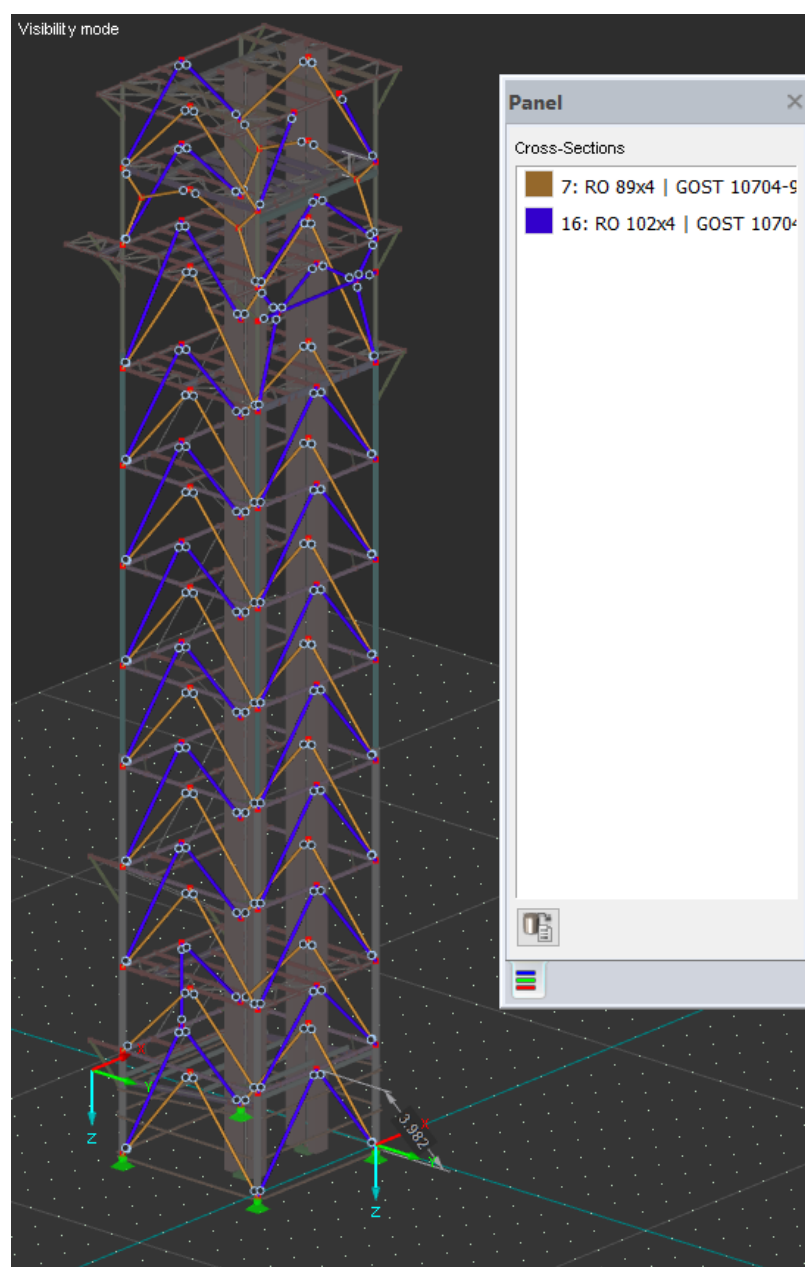


Рисунок 3.11 – Схема вертикальних зв'язків норійної вежі

Дані елементи, як і розкоси ферм сприймають тільки осьові зусилля (рис. 3.12).

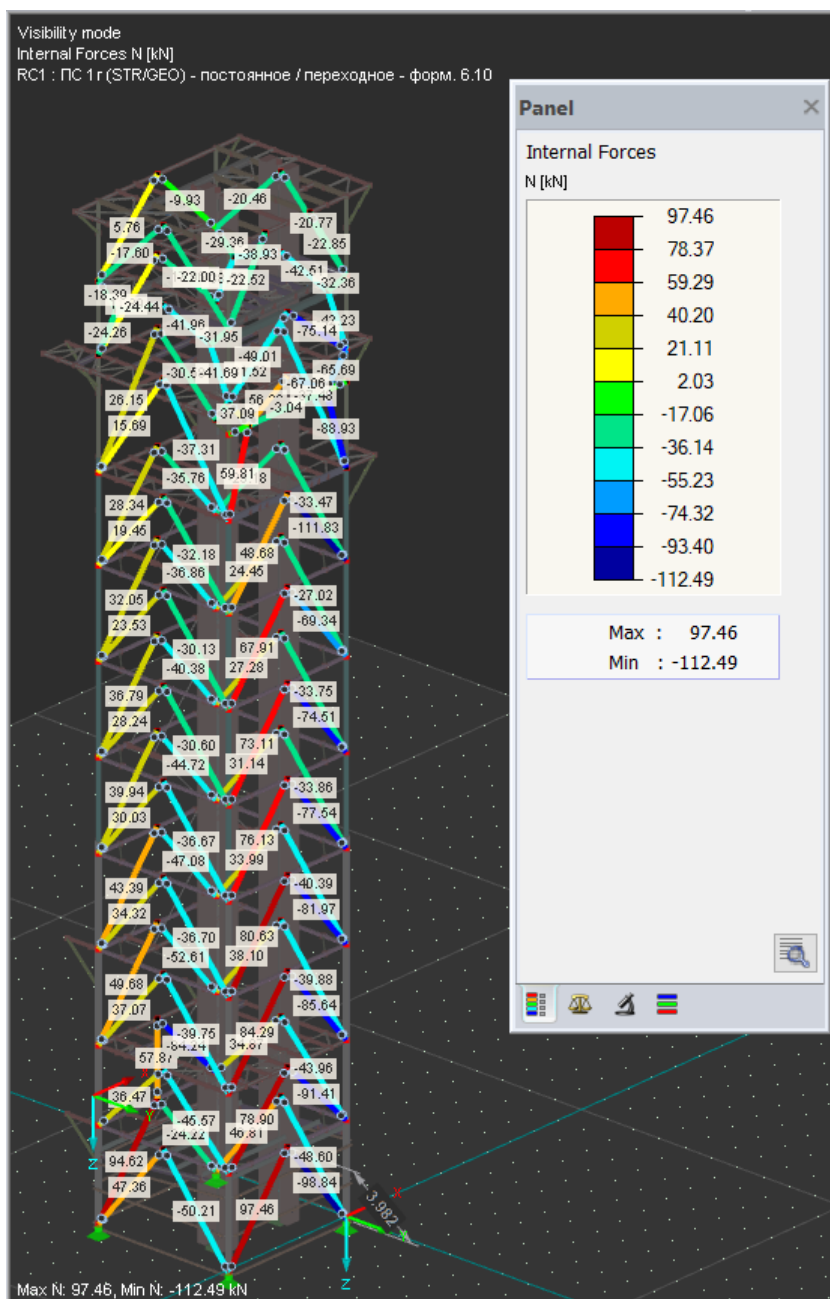


Рисунок 3.12 – Епюра осевих зусиль вертикальних зв'язків норійної вежі

3.2 Детальний аналіз колон за допомогою модуля RF-STEEL EC3

Модуль RF-STEEL EC3 (рис. 3.13) у програмному комплексі Dlubal RFEM є інструментом для перевірки сталевих елементів конструкції на міцність і стійкість відповідно до норм Єврокод 3 (EN 1993-1-1). Він забезпечує точний розрахунок напружень, стійкості та перевірки граничних станів першої та другої групи поперечних перерізів елементів конструкції.

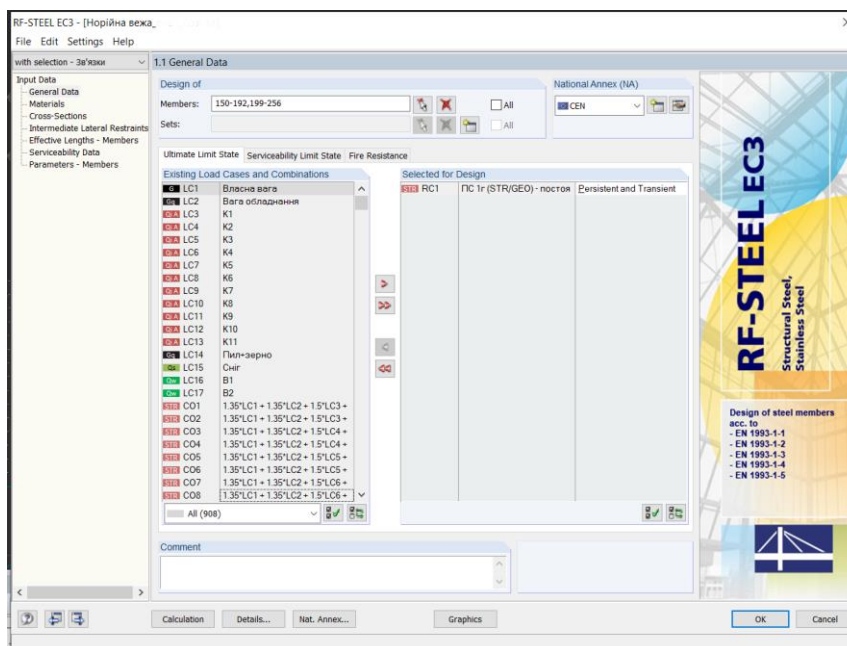
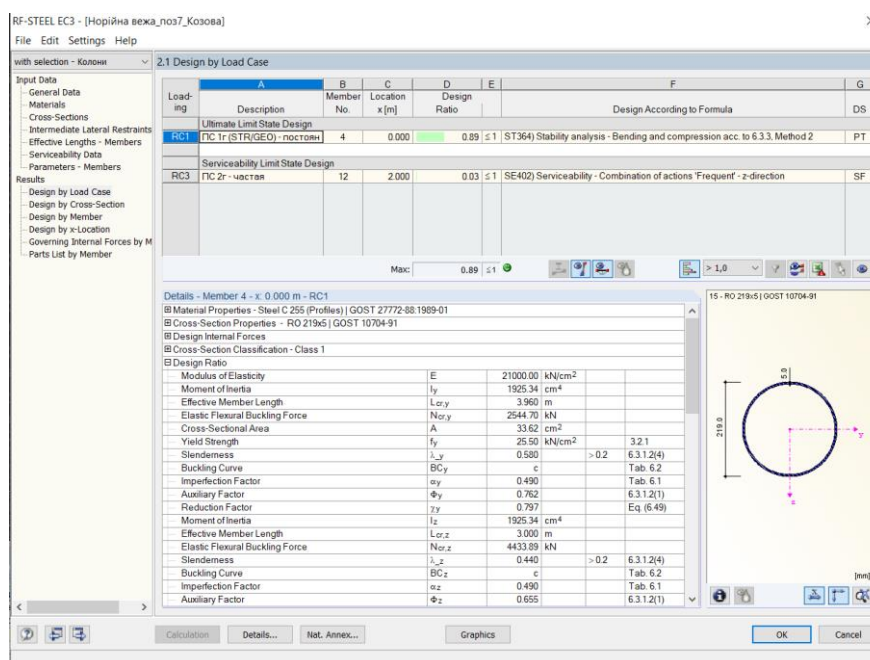


Рисунок 3.13 – Діалогове вікно модуля RF-STEEL EC3

Результати обчислення безпосередньо взяті з розрахункового комплексу Dlubal RFEM та модуля RF-STEEL EC3 (рис. 3.14), і подані у виді таблиць (Додаток 2) та графічних схем (рис. 3.15).



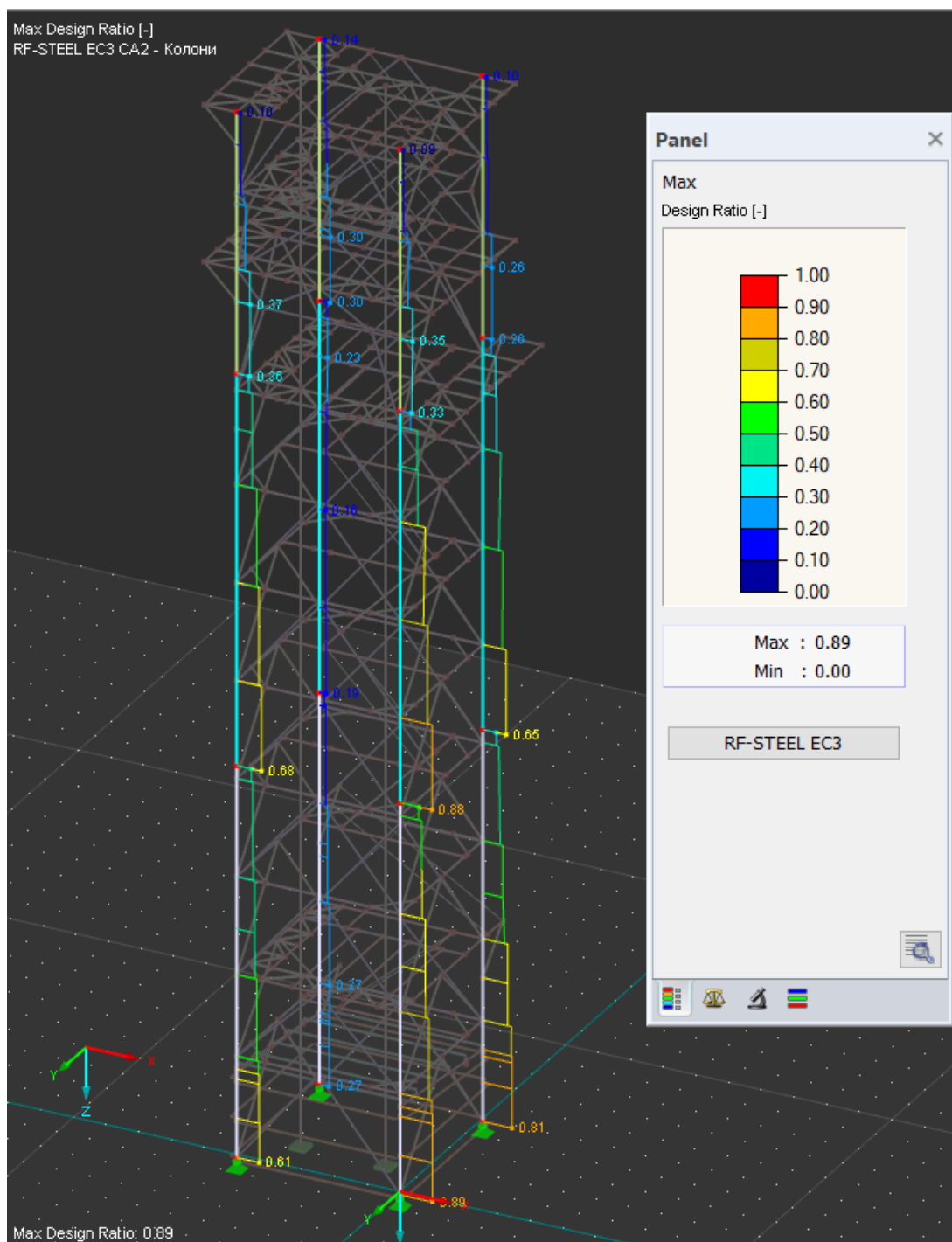


Рисунок 3.15 – Графічна схема розрахунку модуля RF-STEEL EC3

Беручи до уваги результати розрахунку модуля RF-STEEL EC3, можна зробити висновок, що запроектовані січення колон задовольняють вимогам двох граничних станів. З табличних даних (Додаток 2) дізнаємось, що відсоток використання січення нижнього ярусу колон (труба 219x5.0) складає 89%. Дане значення відповідає вимогам забезпечення міцності та стійкості елемента, а також

створює запас, який може покривати неточності будівництва та відхилення від експлуатаційних ситуацій.

3.3 Висновок за розділом 3

1. Проведено розрахунок металевого каркасу норійної вежі в програмному комплексі Dlubal RFEM.

2. Проаналізовано напружено-деформований стан каркасу.

3. Виконано перевірку запроектованих конструкцій в розрахунковому модулі RF-STEEL EC3 за першою та другою групою граничних станів. Надано результати розрахунку в табличній та графічній формі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [32].

Роботодавець - власник підприємства, установи, організації або уповноважений ним орган, незалежно від форм власності, виду діяльності, господарювання, і фізична особа, яка використовує найману працю.

Працівник - особа, яка працює на підприємстві, в організації, установі та виконує обов'язки або функції згідно з трудовим договором (контрактом).

Дія цього Закону «Про охорону праці» поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих.

Охорона праці гіг-спеціалістів, які уклали гіг-контракти з резидентом Дія Сіті, регулюється Законом України "Про стимулювання розвитку цифрової економіки в Україні", затвердженими з урахуванням його положень внутрішніми документами резидента Дія Сіті та укладеними з гіг-спеціалістами гіг-контрактами.

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням.

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;

підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;

комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;

соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;

адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;

використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;

інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;

використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва.

4.1.1 Інструкція з охорони праці під час виконання робіт з монтажу металевих конструкцій. загальні вимоги безпеки

Для запобігання впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів застосовують засоби колективного та індивідуального захисту [33].

При монтуванні металоконструкцій найбільш поширені обмежуючі пристрої, переважно захисні та сигнальні загородження [34]. Захисні загородження застосовуються, для запобігання доступу сторонніх осіб на ділянки, де проводяться роботи. Щоб уникнути падіння людей з висоти, висота захисних загороджень повинна бути не менше 1,1 м. До колективних засобів захисту належать і знаки безпеки, які доносять необхідну інформацію про можливу небезпеку.

Щоб попередити падіння монтажників з висоти, а також для того, щоб упіймати предмети, які впали, застосовують захисні пристрої з синтетичними сітками, їх встановлюють як по периметру будівлі, так і через кожні 3 - 4 м по висоті будівлі [35, 36].

Засоби індивідуального захисту при виконанні монтажних робіт найчастіше застосовують комбінезони з бавовняних тканин, які захищають від пилу, бруду, дрібних травм. Для захисту від вологи та атмосферних впливів використовують брезентові, бавовняні, прогумовані або просочені спеціальними сумішами комбінезони [37].

Під час монтажу металоконструкцій будівель та споруд повинна витримуватися певна послідовність встановлення конструктивних елементів у проектне положення. Порядок і послідовність монтування конструкцій обумовлюються у ПВР [38]. Важливим заходом запобігання виробничому травматизму при монтажі є підготовка конструкцій до підйому на висоту.

Під час монтажу будівельних конструкцій основними шкідливими виробничими факторами слід вважати:

– машини і механізми, що рухаються і працюють, включаючи вантажопідіймальні;

– переміщення при підйомі і установці в проектне положення конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також укрупнених блоків будинків і споруд;

– втрату стійкості монтувальних чи змонтованих будівельних майданчиків;

– розташування робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок;

– недостатню освітленість робочої зони;

– дію вітру на вантажопідіймальні крани, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції чи частини будинків і споруд;

– фізичні перевантаження при перенесенні вантажів вручну;

– підвищену чи знижену температуру повітря робочої зони;

– небезпечну і шкідливу дію на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного випромінювання і статичної електрики;

– вплив підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань при виконанні електрозварювальних робіт, а також іонізуючих випромінювань при контролі якості зварених швів;

– токсичний і дратівний вплив на дихальні шляхи газів і аерозолів, що утворюються при зварювальних роботах;

– токсичний і дратівний вплив лакофарбових матеріалів, а також пари від них на дихальні шляхи людини при виконанні антикорозійних робіт;

– використання порохового монтажного інструмента.

До заходів, що побічно позитивно впливають на охорону праці, можна віднести проведення внутрішньої експертизи (на додаток до державної) проектно-кошторисної документації (ПКД) на предмет наявності в ній рішень по:

- технологічності монтажу конструкцій;

- забезпеченню міцності, стійкості і просторовій незмінюваності окремих елементів (колон, ферм і т.д.) при транспортуванні і монтажі;

- необхідності проведення при виготовленні загальної чи контрольної зборки металевих конструкцій чи споруд окремих їх частин;

- включенню до складу робочої документації робочих креслень на спеціальні допоміжні спорудження, пристосування і пристрої, необхідні при підйомі, насуві, зборці, пересуванні і надбудові будинків; будівництві їх в особливо складних умовах і у випадку реконструкції і ремонту діючих підприємств, будинків і споруд.

У разі потреби підрядчик розробляє і передає заводам-виготовлювачам ПКД із погодженими з проектною організацією додатковими технічними вимогами (ДТВ) на виготовлення конструкцій з урахуванням вищевказаних вимог, включаючи оснащення відправних конструкцій і елементів пристроями для стропувань, навішення засобів підмашування і зборки з'єднань. ДТВ є невід'ємною частиною проектно-кошторисної документації.

4.1.2 Вимоги до технологічних процесів

«Виробничі процеси з монтажу будівельних конструкцій повинні бути організовані відповідно до проекту виконання робіт (ПВР), який містить заходи з охорони праці, викладені в ДСТУ Б А.3.2-12:2011, ДНАОП 0.00-1.03-93, та в технологічній послідовності, що відповідає вимогам ДБН В.1.2-6:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд опір та стійкість», ДБН В.2.6-198:2014 «Конструкції і споруди. Норми проектування», а також іншими нормативними актами і документами, що діють в Україні».

ПВР повинні розроблятися в спеціалізованій проектній організації або проектною групою (відділом) будівельно-монтажної організації, що має ліцензію на даний вид робіт.

Проектні групи будівельних організацій можуть розробляти технологічні рішення на нескладні будинки і спорудження, необхідність виконання яких виникла на місцях. При цьому повинні бути розроблені заходи, що забезпечують охорону праці з урахуванням конкретних місцевих умов.

ПВР і технологічні записки повинні затверджуватися головним інженером будівельно-монтажної організації і узгоджуватися з генпідрядником (чи іншими субпідрядними організаціями) і в обов'язковому порядку з відповідними службами замовника, а при розташуванні об'єкта в зоні житлової забудови з відповідними органами управління цією житловою забудовою.

Перед початком робіт керівництво будівельно-монтажної організації повинно:

- забезпечити вивчення ПВР особами, відповідальними за виконання робіт;
- ознайомитися на місці з майбутніми умовами роботи, звернувши особливу увагу на можливість виникнення виробничої небезпеки і за її наявності видати відповідальному виконавцю робіт наряд-допуск на виконання робіт підвищеної небезпеки.

Переміщення вантажів над перекриттями, під якими розташовані виробничі, житлові і службові приміщення, де знаходяться люди, допускається у виняткових випадках після розробки заходів, що забезпечують безпечне виконання цих робіт. Такі роботи повинні виконуватися під безпосереднім керівництвом особи, відповідальної за безпечне виконання монтажу і переміщення вантажів кранами.

Підйом і переміщення вантажу декількома кранами допускається в окремих випадках і повинне виконуватися по ПВР, розробленому проектною спеціалізованою організацією, виключаючи при цьому можливість перевантаження кожного з цих кранів.

Виконання будь-яких робіт з головних балок мостового крана допускається здійснювати за наявності ПВР чи технологічної записки, а також наряду-допуску, оформленого у встановленому порядку, із указівкою всіх заходів безпеки, що виконуються замовником і підрядчиком.

Місця виконання робіт по підйому і переміщенню вантажів у темний час доби повинні бути освітлені відповідно з діючими нормативами. Освітлювати їх допускається з використанням переставних інвентарних прожекторних щогл, а також електроприладів освітлення, установлюваних на металеві конструкції

вантажопідіймальних кранів. На електричну частину вищевказаних способів освітлення необхідно розробляти спецпроект.

Підйом, переміщення і установку в проектне положення вантажів, що мають значну довжину, об'єм і масу (див. п.3.1), а також вантажів, підйом яких здійснюється декількома кранами, необхідно виконувати під безпосереднім керівництвом осіб, відповідальних за безпечне виконання робіт по переміщенню вантажів кранами, чи спеціально призначеного ІТП.

Підйом вантажів, що мають значну довжину, об'єм чи масу (металеві рулони, бункери, колони, укрупнені блоки веж і труб, з горизонтального положення у вертикальне з використанням вантажопідіймальних кранів повинні виконуватися відповідно до ПВР, у якому необхідно відобразити послідовність виконання операцій (синхронного переміщення вантажу і роботи крана), способи стропування, а також застосовані при цьому монтажні пристосування (шарніри, кантователі, розчалування, відтягнення і ін.) і заходи безпеки.

Усі монтажні пристрої і пристосування, а також альпіністське оснащення необхідно піддавати профілактичному огляду відповідно до графіка проведення цих робіт. Результати огляду оформляють у спеціальному журналі.

При виконанні робіт по виконанню з'єднань на дюбелях слід дотримуватися інструкції з експлуатації порохових монтажних інструментів, що регламентують порядок введення їх в експлуатацію, правил експлуатації, технічного обслуговування, вимог безпеки, збереження, обліку і контролю пістолетів і монтажних патронів до них.

Зварювальні роботи слід виконувати по затвердженому проекту виконання зварювальних робіт (ПВЗР) чи іншої технологічної документації.

Для зниження обсягу верхолазних робіт доцільно монтаж будівельних конструкцій виконувати укрупненими блоками, а установку блоків покриття в проектне положення здійснювати методом насувів із застосуванням спеціальних засобів механізації (установників, вантажних візків і т.п.).

Металеві конструкції, що поставляються на монтажну площадку, повинні бути пофарбовані. Після їх установки в проектне положення фарбування чи антикорозійний захист виконують тільки в місцях стиків або з'єднань конструкцій.

До виконання з'єднань на високоміцних болтах з контрольованим натягом можуть бути допущені працівники, що пройшли спеціальне навчання. Усі роботи з натягу і контролю натягу слід реєструвати в журналі виконання з'єднань на болтах з контрольованим натягом.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Основні причини аварій будівель і споруд

Статистика показує, що 80 % випадків аварій, що трапляються на будівництві з обваленням несучих конструкцій об'єкта, виникають у наслідок людських помилок [39 - 41], що допускаються при проектуванні, зведенні та експлуатації будівлі чи споруди. Ці помилки формують внутрішній (об'єктний) ризик аварій, від величини якого залежить тривалість експлуатації (ресурс) споруди. Крім техногенних факторів (вибухи, пожежі, транспортні аварії, падіння кранів, локальні перевантаження конструкцій, помилки проєктантів, недбалість будівельників та ін.), існують також і природні фактори (сейсміка, виникнення карстових провалів в основах будівель, зсуви, урагани і т. д.), через вплив яких можливе виникнення часткової або повної руйнації будівлі.

Зношення та пошкодження несучих конструкцій чи їх зв'язків і, як наслідок, зміна міцності, жорсткості елементів розрахункових схем призводять до зниження конструктивної безпеки споруди. При найгіршому поєднанні негативних обставин вони призводять до раптової відмови та прогресуючого обвалення.

Також відомо, що врахування та дотримання всіх вимог нормативних документів не забезпечує необхідний рівень надійності будівлі. Норми встановлюють лише мінімальний рівень безпечної експлуатації та довговічності конструкцій, використовуючи комплекс коефіцієнтів, що до теперішнього часу

залишаються емпіричними. Фактично ці коефіцієнти забезпечують на стадії проектування конструкцій їх експлуатаційний ресурс. Настання аварійного стану будівлі чи споруди передбачає наявність зовнішньої причини техногенного (вибуху, пожежі, тощо) або природно-кліматичного характеру (землетрусу, урагану, цунамі, зсуву, селі тощо). Зовнішні причини при невигідному сполученні з внутрішніми причинами (дефект проектування і будівництва, деградації або не якісних матеріалів і т.д.) призводить до обвалення несучих конструкцій будівель і споруд. Діючи в даний час норми не передбачають «захист» у вигляді відповідних коефіцієнтів запасу і надійності, а в ід факторів ризику, пов'язаних з комбінованими аварійним впливами такого «захисту» не передбачено.

4.2.2 Небезпека руйнування несучих конструкцій

Втрата окремими будівельними конструкціями своїх експлуатаційних якостей може приводити до появи і розвитку так званого ефекту «доміно» – послідовного залучення до розвитку процесу руйнування нових груп будівельних конструкцій аж до повного руйнування об'єкта (рис. 4.1). Таке явище прогресуючого обвалення об'єктів при аварійних відмовах будівельних конструкцій розвивається в результаті комбінованої особливої дії на них робочого навантаження і додаткового навантаження від конструкцій, що втратили свої експлуатаційні якості.



Рисунок 4.1 – Аварії несучих конструкцій

Аварії будівельних конструкцій будівель і споруд створюють загрозу виникнення масштабних гуманітарних і екологічних катастроф. Проблема запобігання катастрофічним аваріям будівельних конструкцій в даний час актуальна і носить фундаментальний характер. Для України ця проблема має особливе значення, у зв'язку із значним зносом будівельних конструкцій основних фондів промислових і цивільних об'єктів.

4.2.3 Попередження руйнуванню досліджуваних конструкцій

Аварії будівельних конструкцій рідко відбуваються раптово. Зазвичай можна спостерігати ряд передвісників аварії. Якщо своєчасно відмітити ознаки аварії, що наближається, то можна вчасно прийняти профілактичні заходи: вивести людей з небезпечної зони, виробити розвантаження аварійної конструкції, встановити тимчасові кріплення і тому подібне [42 - 44].

Для попередження руйнування металевого каркасу слід дотримуватися таких рекомендацій:

1. Періодично обстежувати несучі конструкції для виявлення локальних пошкоджень та усунення їх.

2. Не допускати перевантаження технологічного обладнання яке впливання на несучі конструкції будівлі чи споруди
3. Періодично очищати покрівлю від снігового покриву та снігових мішків..
4. Дотримуватися правил протипожежного захисту.
5. Та інших рекомендацій по експлуатування промислових будівель

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто основні технологічні процеси та функції типових елеваторних комплексів, їх роль у сільськогосподарській галузі.

2. Розглянуто основні характеристики елеваторного комплексу, який взято за основу для дипломного проекту, його технологічні спроможності та потужності, описано процеси зберігання та транспортування зерна на підприємстві. Описана роль норійної вежі, розглянуто її функції, конструктивні та технологічні вимоги.

3. Згідно із поставленим завданням для технологічного обладнання, створена розрахункова модель металевго каркасу норійної вежі в програмному комплексі Dlubal RFEM. До аналітичної моделі прикладені постійні навантаження від власної ваги конструкції, технологічного обладнання та тимчасові чинники від експлуатаційних ситуацій та атмосферних впливів (сніг, вітер).

4. Проведено аналіз металоконострукції норійної вежі в складі елеваторного комплексу, за допомогою програми Dlubal RFEM 5. Визначено параметри напружено деформованого стану металевго каркасу споруди.

5. Виконано перевірку запроектованих конострукцій в розрахунковому модулі RF-STEEL EC3 за першою та другою групою граничних станів. Надано результати розрахунку в табличній та графічній формі.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Кучерук Ю.В., Івченко О.В. "Системи зберігання зерна та продукту його переробки". Київ: Аграрна освіта, 2010.
2. Положевець В.М. "Зернові технології: сушіння, зберігання, логістика". Харків: ХНТУСГ, 2018.
3. Dlubal Software. RFEM 5 Documentation - User Manual. 2020.
4. Müller, R., Klein, C. Advanced Structural Analysis with RFEM and Finite Element Method. 2017.
5. Steiner, S. Nonlinear Finite Element Analysis in RFEM: Application for Real-World Projects. 2017.
6. Будівлі і споруди для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції : навч. посіб. / [Іванов І. І., Петров П. П., Сидоров С. С. та ін.] ; за ред. І. І. Іванова. – Київ : Видавництво «Аграрна освіта», 2020. – 356 с.
7. ДБН В.2.6-221:2021. Конструкції силосів сталевих з гофрованою стінкою для зерна, призначених для зберігання зернових, зернобобових та олійних культур, та продуктів їх переробки. – Київ: Мінрегіон України, 2021. – 48 с.
8. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 27 с.
9. ДБН В.2.2-25:2009. Будинки і споруди. Підприємства, будівництва та споруди зберігання та переробки зерна. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 68 с.
10. ДБН Б.2.2-12:2019 Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. – Чинний від 01.10.2019. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. – 198 с.
11. ДБН Б.2.2-12-2019. «Планування і забудова територій» - К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, 2019. – 183с.

12. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» - К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, 2017. – 38с.
13. Бусел О.В., Глебова Ю.А. Автоматизація процесів у зернопереробних комплексах. – Київ: Аграрна освіта, 2017. – 320 с.
14. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 40 с.
15. Силоси з плоским дном KMZ Industries [Електронний ресурс] // KMZ Industries. – Режим доступу: kmzindustries.ua.
16. Dlubal RFEM 6 [Електронний ресурс] // Dlubal Software. – Режим доступу: www.dlubal.com, – Назва з екрану. – Дата звернення: 16.12.2024.
17. ЛИРА-САПР [Електронний ресурс] // Офіційний сайт ЛИРА-САПР. – Режим доступу: lira.com.ua, – Назва з екрану. – Дата звернення: 16.12.2024.
18. Autodesk Robot Structural Analysis [Електронний ресурс] // Autodesk. – Режим доступу: www.autodesk.com, – Назва з екрану. – Дата звернення: 16.12.2024.
19. SCAD Office [Електронний ресурс] // SCAD Soft. – Режим доступу: scadsoft.com, – Назва з екрану. – Дата звернення: 16.12.2024.
20. 3D modeling of grain unloading station steel structure based on BIM technology / Mykola Kolisnyk, Volodymyr Iasnii, Ihor Okipnyi, Yaroslav Martsynyuk // Scientific Journal of TNTU. — Tern : TNTU, 2024. — Vol 114. — No 2. — P. 141–148.
21. 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 1991-1-1:2002, IDT). — Київ: Державний комітет будівництва та архітектури України, 2010.
22. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-3. Загальні дії. Снігові навантаження (EN 1991-1-3:2003, IDT). — Київ: Державний комітет будівництва та архітектури України, 2010.

23. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1. Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991-1-4:2005, IDT). — Київ: Державний комітет будівництва та архітектури України, 2010.

24. Апробація результатів магістерської роботи. Окремі результати роботи доповідались на XIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 11 – 12 грудня 2024 року. Публікації. Аналіз та дослідження напружено-деформованого стану металевих каркасів норійної вежі в складі елеваторного комплексу / М.Б. Ганчар, Х.І. Прийдун, д.т.н.; В.П. Ясній// Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11 – 12 грудня 2024 року — Т. : ТНТУ, 2024 — С. .

25. ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 Єврокод 0. Основи проектування конструкцій. Загальні принципи проектування та перевірки конструкцій (EN 1990:2002, IDT). — Київ: Державний комітет будівництва та архітектури України, 2008.

26. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT). — Київ: Державний комітет будівництва та архітектури України, 2010.

27. Металеві конструкції: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / [Нілов О. О., Пермяков В. О., Шимановський О. В. та ін.]. – К.: Вид-во “Сталь”, 2010. – 869 с.

28. Баженов В. А., Іванченко Г. М., Шишов О. В. Будівельна механіка. Розрахункові праворуч. Задачі. Комп'ютерне тестування. - К.: "Каравела", 2006. - 344 с.

29. Баженов В. А., Гранат С. Я., Шишов О. В. Будівельна механіка. Комп'ютерний курс. - К.: Вища школа, 1999. - 540 с.

30. Баженов В. А. Будівельна механіка. - К.: Вища школа, 2000. - 670 с.

31. Баженов В. А., Дащенко А. Ф., Коломієць Л. В., Оробей В. Ф. Будівельна механіка. Спеціальний курс. Застосування методу граничних елементів. - Одеса: "Астропринт", 2001. - 580 с.

32. Про охорону праці : Закон України від 14 жовт. 1992 р. № 2694-XII (із змінами та доповненнями) // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – Ст. 668.

33. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві» - К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва України, 2012. – 122 с

34. Охорона праці під час монтажу металоконструкцій : метод. рекомендації / [авт. кол.] ; під ред. І. п. Петренка. – Київ : Будівельник, 2021. – 128 с.

35. Охорона праці під час монтажу будівельних конструкцій // Будівельні технології: навч. посіб. / [авт. кол.] ; за ред. О. С. Іваненка. – Київ : Видавництво «Освіта», 2022. – С. 94–108.

36. Охорона праці під час виконання монтажних робіт : методичні рекомендації / Державна служба України з питань праці. – Київ, 2022. – 52 с. – (Нормативно-методичний збірник).

37. Засоби індивідуального захисту при виконанні монтажних робіт // Охорона праці під час будівельних робіт : метод. посіб. / [уклад. І. п. Петренко, О. С. Іваненко]. – Київ : Будівельник, 2021. – С. 65–67.

38. Порядок і послідовність монтажу металоконструкцій // Охорона праці при монтажі будівельних конструкцій : метод. рекомендації / [уклад. І. п. Петренко, О. С. Іваненко]. – Київ : Будівельник, 2021. – С. 70–72.

39. Вплив людських помилок та природних факторів на варію будівельних конструкцій // Безпека будівельних об'єктів : навч. посіб. / [уклад. І. п. Петренко, О. С. Іваненко]. – Київ : Будівельник, 2022. – С. 112–114.

40. Причини аварій будівельних конструкцій : технічний звіт / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. – Київ : ДСНС України, 2021. – 45 с.

41. Аналіз ризиків аварій будівельних конструкцій [Електронний ресурс] / Науково-дослідний інститут будівельної безпеки. – Режим доступу: <https://nibs.gov.ua/reports/risks2022.pdf> (дата звернення: 12.06.2024).

42. Ознаки та профілактика аварій будівельних конструкцій // Безпека будівель та споруд : навч. посіб. / [уклад. І. п. Петренко, С. О. Іваненко]. – Київ : Будівельник, 2022. – С. 115–118.

43. Передвісники аварій будівельних конструкцій та заходи профілактики : методичні рекомендації / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. – Київ : ДСНС України, 2022. – 48 с.

Додаток 2

Результати обчислення розрахункового модуля RF-STEEL EC3

Таблиця 1 – Основні дані

	Стрижні до розрахунку:	1-12	
	Блоки стрижнів до розрахунку:		
	Нац. додаток:	CEN	
	Розрахунок за граничним станом 1-ї групи		
	Розрахункові поєднання до розрахунку:	PC1	ПС 1г (STR/GEO) - постійне/перехідне - форм. 6.10
	Розрахунок за граничним станом 2-ї групи		
	Розрахункові поєднання до розрахунку:	PC3	ПС 2г – часте

Таблиця 2 - Матеріали

Мат.	Позначення	Мод.	Модуль зсуву	Коеф. Пуассона	Межа текуча.	Макс. товщина
№	Опис	E [кН/см ²]	G [кН/см ²]	n[-]	f _{yk} [кН/см ²]	t [мм]
2	Сталь С 255 (фасонний прокат) ДЕРЖСТАНДАРТ 27772-88:1989-01	21000.00	8076.92	0.300	25.50	10.0
					24.50	20.0
					23.50	40.0

Таблиця 3 - Січення

Січ.	Мат.	Січення	Тип	Макс. критерій	
№	№	Опис	перерізу	розрахунку	Коментар
1	2	RO 159x5 ДСТУ 8943:2019	Труба	0.88	
14	2	RO 133x5 ДСТУ 8943:2019	Труба	0.37	
15	2	RO 219x5 ДСТУ 8943:2019	Труба	0.89	

Таблиця 4 – Проміжні бокові опори елементів

Стер ж.	Закладен ня	Довж ина	Проміжні бічні опори [-]									
№	Тип	L [м]	Номер	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
1	Від бічної втрати стійкості та крутіння	12.000	3	0.250	0.500	0.750						
2	Від бічної втрати стійкості та крутіння	12.000	3	0.250	0.500	0.750						
3	Від бічної втрати стійкості та крутіння	8.000	3	0.250	0.500	0.750						
4	Від бічної втрати стійкості та крутіння	12.000	3	0.250	0.500	0.750						
5	Від бічної втрати стійкості та крутіння	12.000	3	0.250	0.500	0.750						
6	Від бічної втрати стійкості та крутіння	8.000	3	0.250	0.500	0.750						
7	Від бічної втрати стійкості та крутіння	12.000	3	0.250	0.500	0.750						
8	Від бічної втрати стійкості	12.000	3	0.250	0.500	0.750						

Продовження таблиці 4

Стер ж.	Закладен ня	Довж ина	Проміжні бічні опори [-]									
№	Тип	L [м]	Номер	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
9	Від бічної втрати стійкості та крутіння	8.000	3	0.250	0.500	0.750						
10	Від бічної втрати стійкості та крутіння	12.000	3	0.250	0.500	0.750						
11	Від бічної втрати стійкості та крутіння	12.000	3	0.250	0.500	0.750						
12	Від бічної втрати стійкості та крутіння	8.000	3	0.250	0.500	0.750						

Таблиця 5 – Розрахункові довжини стержнів

Стер ж.	Втрат. стійк.	Втрата стійкості навколо осі y			Втрата стійкості навколо осі z			Втрата стійкості плоскої форми згину				
		можл.	kcr,y	Lcr,y [м]	можл.	kcr,z	Lcr,z [м]		kz	kw	Lw [м]	LT [м]
1	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
2	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
3	x	x	0.33	2.640	x	1.00	2.000	-	1.0	1.0	2.000	2.000
4	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
5	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
6	x	x	0.33	2.640	x	1.00	2.000	-	1.0	1.0	2.000	2.000
7	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
8	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
9	x	x	0.33	2.640	x	1.00	2.000	-	1.0	1.0	2.000	2.000
10	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
11	x	x	0.33	3.960	x	1.00	3.000	-	1.0	1.0	3.000	3.000
12	x	x	0.33	2.640	x	1.00	2.000	-	1.0	1.0	2.000	2.000

Таблиця 6 – Дані щодо придатності до експлуатації

№	Відносить.	Стриж./Блоки №	Вихідна довжина		Напря м.	Буд. підйом е0 [мм]	Тип балки
			Вручну	l [м]			
1	Стрижень	1	-	12.000	y, z	0.0	Балка
2	Стрижень	2	-	12.000	y, z	0.0	Балка
3	Стрижень	3	-	8.000	y, z	0.0	Балка
4	Стрижень	4	-	12.000	y, z	0.0	Балка
5	Стрижень	5	-	12.000	y, z	0.0	Балка
6	Стрижень	6	-	8.000	y, z	0.0	Балка
7	Стрижень	7	-	12.000	y, z	0.0	Балка
8	Стрижень	8	-	12.000	y, z	0.0	Балка
9	Стрижень	9	-	8.000	y, z	0.0	Балка
10	Стрижень	10	-	12.000	y, z	0.0	Балка
11	Стрижень	11	-	12.000	y, z	0.0	Балка
12	Стрижень	12	-	8.000	y, z	0.0	Балка

Таблиця 7 - Праметри стержнів

Стерж.		
№	Позначення	Параметр
1	Перетин	15-RO 219x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
2	Перетин	1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
3	Перетин	14-RO 133x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
4	Перетин	15-RO 219x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-

Продовження таблиці 7

Стерж.		
№	Позначення	Параметр
5	Перетин	1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
6	Перетин	14-RO 133x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
7	Перетин	15-RO 219x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
8	Перетин	1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
9	Перетин	14-RO 133x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
10	Перетин	15-RO 219x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
11	Перетин	1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-
12	Перетин	14-RO 133x5 ДСТУ 8943:2019
	Область зсуву	-
	Закладка з поворотом	-
	Площа перерізу для розрахунку розтягування	-

Таблиця 8 – Розрахунок за стержнями

Стерж	розріз	ЗГ/СН /	Розрахунок		Формула	Опис
№	х [м]	РС			№	
1	Перетин №15 - RO 219x5 ДСТУ 8943:2019					
	0.000	РС1	0.00	Ł1	CS100)	Внутрішні сили відсутні або дуже малі
	3.100	РС1	0.32	J1	CS101)	Перевірка перерізу – розтяг по 6.2.3
	0.000	РС1	0.48	Ł1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	2.700	РС1	0.01	J1	CS111)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі у по 6.2.5 – клас 1 або 2
	3.100	РС1	0.01	Ł1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	2.700	РС1	0.01	J1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі у 6.2.6
	2.700	РС1	0.01	Ł1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	2.700	РС1	0.01	J1	CS141)	Перевірка перерізу - вигин та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	3.100	РС1	0.00	Ł1	CS161)	Перевірка перерізу - двовісний вигин та поперечна сила по 6.2.6, 6.2.7 та 6.2.9
	2.400	РС1	0.29	J1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	2.700	РС1	0.30	Ł1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	3.100	РС1	0.00	J1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	11.600	РС1	0.15	Ł1	ST301)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі у по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	7.000	РС1	0.49	J1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі у по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	11.600	РС1	0.24	Ł1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	7.000	РС1	0.45	J1	ST312)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	РС1	0.61	Ł1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	РС3	0.00	J1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	5.600	РС3	0.01	Ł1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.600	РС3	0.01	J1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж у

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/СН	Розрахунок		Формула	Опис
№	х [м]	РС			№	
2	Перетин №1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019					
	2.600		2.600		2.600	
	0.000		0.000		0.000	
	5.600	PC1	0.01	Ł1	CS111)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі у по 6.2.5 – клас 1 або 2
	11.500	PC1	0.01	J1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	11.500	PC1	0.00	Ł1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі у 6.2.6
	5.600	PC1	0.01	J1	CS141)	Перевірка перерізу - вигин та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	11.500	PC1	0.13	Ł1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	0.000	PC1	0.26	J1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	10.300	PC1	0.00	Ł1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	2.600	PC1	0.09	J1	ST301)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі у по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	0.000	PC1	0.68	Ł1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі у по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	PC1	0.14	J1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	0.000	PC1	0.57	Ł1	ST312)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	10.300	PC1	0.42	J1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	Ł1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	8.600	PC3	0.01	J1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.600	PC3	0.01	Ł1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж у
3	Перетин №14 - RO 133x5 ДСТУ 8943:2019					
	0.000	PC1	0.24	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	7.000	PC1	0.04	Ł1	CS111)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі у по 6.2.5 – клас 1 або 2
	5.200	PC1	0.04	J1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/CH /	Розрахунок		Формула	Опис
№	x [м]	PC			№	
	5.500	PC1	0.01	Ł1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі у 6.2.6
	5.200	PC1	0.04	J1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	7.000	PC1	0.04	Ł1	CS141)	Перевірка перерізу - вигин та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	7.000	PC1	0.00	J1	CS161)	Перевірка перерізу - двовісний вигин та поперечна сила по 6.2.6, 6.2.7 та 6.2.9
	2.200	PC1	0.14	Ł1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	0.000	PC1	0.08	J1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	2.200	PC1	0.01	Ł1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	2.200	PC1	0.37	J1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	Ł1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	3.200	PC3	0.01	J1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.500	PC3	0.00	Ł1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж у
4	Перетин №15 - RO 219x5 ДСТУ 8943:2019					
	0.000	PC1	0.69	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	2.700	PC1	0.00	Ł1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	2.700	PC1	0.01	J1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі у 6.2.6
	2.700	PC1	0.01	Ł1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	2.700	PC1	0.54	J1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	2.700	PC1	0.30	Ł1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	3.100	PC1	0.00	J1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	11.600	PC1	0.59	Ł1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі у по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	11.600	PC1	0.24	J1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/CH /	Розрахунок		Формула	Опис
№	x [м]	PC			№	
	0.000	PC1	0.89	J1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	Ł1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	5.600	PC3	0.01	J1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.600	PC3	0.01	Ł1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y
5	Перетин №1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019					
	0.000	PC1	0.57	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	11.500	PC1	0.01	Ł1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	0.000	PC1	0.39	J1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	0.000	PC1	0.26	Ł1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	10.300	PC1	0.00	J1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	0.000	PC1	0.68	Ł1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі y по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	PC1	0.57	J1	ST312)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	PC1	0.88	Ł1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	J1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	10.300	PC3	0.01	Ł1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.600	PC3	0.01	J1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y
6	Перетин №14 - RO 133x5 ДСТУ 8943:2019					
	8.000	PC1	0.00	Ł1	CS100)	Внутрішні сили відсутні або дуже малі
	0.000	PC1	0.22	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	8.000	PC1	0.00	Ł1	CS111)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі y по 6.2.5 – клас 1 або 2
	5.200	PC1	0.04	J1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	5.500	PC1	0.01	Ł1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі y 6.2.6
	5.200	PC1	0.04	J1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/СН /	Розрахунок		Формула	Опис
№	x [м]	РС			№	
	8.000	РС1	0.00	Ł1	CS141)	Перевірка перерізу - вигин та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	7.000	РС1	0.00	J1	CS161)	Перевірка перерізу - двовісний вигин та поперечна сила по 6.2.6, 6.2.7 та 6.2.9
	5.500	РС1	0.09	Ł1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	3.200	РС1	0.01	J1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	7.000	РС1	0.01	Ł1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	0.000	РС1	0.17	J1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі y по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	РС1	0.15	Ł1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	2.200	РС1	0.35	J1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	РС3	0.00	Ł1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	3.200	РС3	0.02	J1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	3.200	РС3	0.00	Ł1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y
7	Перетин №15 - RO 219x5 ДСТУ 8943:2019					
	12.000	РС1	0.00	J1	CS100)	Внутрішні сили відсутні або дуже малі
	3.100	РС1	0.14	Ł1	CS101)	Перевірка перерізу – розтяг по 6.2.3
	0.000	РС1	0.58	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	3.100	РС1	0.02	Ł1	CS116)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі z по 6.2.5 – клас 1 або 2
	4.400	РС1	0.01	J1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	3.100	РС1	0.01	Ł1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі y 6.2.6
	4.400	РС1	0.01	J1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	3.100	РС1	0.02	Ł1	CS151)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	1.200	РС1	0.41	J1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	1.200	РС1	0.04	Ł1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/СН /	Розрахунок		Формула	Опис
№	x [м]	РС			№	
	3.100	РС1	0.01	J1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	11.600	РС1	0.09	Ł1	ST301)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі у по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	11.600	РС1	0.45	J1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі у по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	11.600	РС1	0.24	Ł1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	11.600	РС1	0.41	J1	ST312)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	РС1	0.81	Ł1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	РС3	0.00	J1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	3.100	РС3	0.01	Ł1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	7.000	РС3	0.01	J1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж у
8	Перетин №1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019					
	2.600	РС1	0.06	Ł1	CS101)	Перевірка перерізу – розтяг по 6.2.3
	0.000	РС1	0.42	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	2.600	РС1	0.01	Ł1	CS116)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі z по 6.2.5 – клас 1 або 2
	10.300	РС1	0.02	J1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	11.500	РС1	0.01	Ł1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі у 6.2.6
	10.300	РС1	0.02	J1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	2.600	РС1	0.01	Ł1	CS151)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	5.600	РС1	0.00	J1	CS161)	Перевірка перерізу - двовісний вигин та поперечна сила по 6.2.6, 6.2.7 та 6.2.9
	0.000	РС1	0.23	Ł1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	8.600	РС1	0.09	J1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	10.300	РС1	0.02	Ł1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/СН /	Розрахунок		Формула	Опис
№	x [м]	PC			№	
	2.600	PC1	0.09	J1	ST301)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі y по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	0.000	PC1	0.56	Ł1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі y по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	PC1	0.13	J1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	0.000	PC1	0.47	Ł1	ST312)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	0.000	PC1	0.65	J1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	Ł1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	10.300	PC3	0.01	J1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.600	PC3	0.01	Ł1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y
9	Перетин №14 - RO 133x5 ДСТУ 8943:2019					
	0.000	PC1	0.15	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	3.200	PC1	0.02	Ł1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	0.000	PC1	0.00	J1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі y 6.2.6
	0.000	PC1	0.01	Ł1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	2.200	PC1	0.11	J1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	5.500	PC1	0.02	Ł1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	7.000	PC1	0.01	J1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	2.200	PC1	0.26	Ł1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	J1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	2.200	PC3	0.01	Ł1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.500	PC3	0.00	J1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/СН /	Розрахунок		Формула	Опис
№	x [м]	PC			№	
10	Перетин №15 - RO 219x5 ДСТУ 8943:2019					
	11.600	PC1	0.00	Ł1	CS100)	Внутрішні сили відсутні або дуже малі
	3.100	PC1	0.27	J1	CS101)	Перевірка перерізу – розтяг по 6.2.3
	11.600	PC1	0.07	Ł1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	11.600	PC1	0.00	J1	CS111)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі y по 6.2.5 – клас 1 або 2
	7.400	PC1	0.02	Ł1	CS116)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі z по 6.2.5 – клас 1 або 2
	3.100	PC1	0.01	J1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	3.100	PC1	0.01	Ł1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі y 6.2.6
	3.100	PC1	0.01	J1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	11.600	PC1	0.00	Ł1	CS141)	Перевірка перерізу - вигин та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	7.400	PC1	0.02	J1	CS151)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	1.900	PC1	0.00	Ł1	CS161)	Перевірка перерізу - двовісний вигин та поперечна сила по 6.2.6, 6.2.7 та 6.2.9
	3.100	PC1	0.20	J1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	7.400	PC1	0.03	Ł1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	3.100	PC1	0.01	J1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	11.600	PC1	0.08	Ł1	ST301)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі y по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	11.600	PC1	0.08	J1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	8.600	PC1	0.07	Ł1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	J1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	3.100	PC3	0.01	Ł1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.600	PC3	0.01	J1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y
11	Перетин №1 - RO 159x5 ДСТУ 8943:2019					
	0.000	PC1	0.00	Ł1	CS100)	Внутрішні сили відсутні або дуже малі
	2.600	PC1	0.19	J1	CS101)	Перевірка перерізу – розтяг по 6.2.3

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/СН /	Розрахунок		Формула	Опис
№	x [м]	PC			№	
	8.600	PC1	0.12	Ł1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	5.600	PC1	0.01	J1	CS111)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі y по 6.2.5 – клас 1 або 2
	5.600	PC1	0.01	Ł1	CS116)	Перевірка перерізу – вигин навколо осі z по 6.2.5 – клас 1 або 2
	11.500	PC1	0.01	J1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	11.500	PC1	0.01	Ł1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі y 6.2.6
	11.500	PC1	0.01	J1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	5.600	PC1	0.01	Ł1	CS141)	Перевірка перерізу - вигин та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	5.600	PC1	0.01	J1	CS151)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z та поперечна сила по 6.2.5 та 6.2.8
	11.500	PC1	0.00	Ł1	CS161)	Перевірка перерізу - двовісний вигин та поперечна сила по 6.2.6, 6.2.7 та 6.2.9
	2.600	PC1	0.07	J1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	2.600	PC1	0.03	Ł1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	11.500	PC1	0.00	J1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	2.600	PC1	0.09	Ł1	ST301)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі y по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	5.600	PC1	0.18	J1	ST302)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі y по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	2.600	PC1	0.14	Ł1	ST311)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2(4)
	5.600	PC1	0.15	J1	ST312)	Розрахунок на стійкість - втрата стійкості при згинанні навколо осі z по 6.3.1.1 та 6.3.1.2
	10.300	PC1	0.23	Ł1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	PC3	0.00	J1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	10.300	PC3	0.01	Ł1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	5.600	PC3	0.01	J1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y

Продовження таблиці 8

Стерж	розріз	ЗГ/СН /	Розрахунок		Формула	Опис
№	х [м]	РС			№	
12	Перетин №14 - RO 133x5 ДСТУ 8943:2019					
	3.200	РС1	0.01	Ł1	CS101)	Перевірка перерізу – розтяг по 6.2.3
	0.000	РС1	0.13	J1	CS102)	Перевірка перерізу – стиск по 6.2.4
	3.200	РС1	0.03	Ł1	CS121)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі z 6.2.6
	3.200	РС1	0.02	J1	CS123)	Перевірка перерізу - поперечна сила вздовж осі y 6.2.6
	3.200	РС1	0.03	Ł1	CS128)	Перевірка перерізу - результуюча поперечна сила 6.2.6
	2.200	РС1	0.01	J1	CS161)	Перевірка перерізу - двовісний вигин та поперечна сила по 6.2.6, 6.2.7 та 6.2.9
	8.000	РС1	0.02	Ł1	CS181)	Перевірка перерізу - вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	5.500	РС1	0.02	J1	CS201)	Перевірка перерізу - вигин навколо осі z, зсув та нормальна сила по 6.2.9.1
	2.200	РС1	0.03	Ł1	CS221)	Перевірка перерізу - двовісний вигин, зсув та нормальна сила по 6.2.10 та 6.2.9
	2.000	РС1	0.30	J1	ST364)	Розрахунок на стійкість - вигин та стиск по 6.3.3, метод 2
	0.000	РС3	0.00	Ł1	SE400)	Придатність до експлуатації - деформації відсутні або дуже малі
	2.000	РС3	0.03	J1	SE402)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж z
	2.000	РС3	0.02	Ł1	SE407)	Придатність до експлуатації - поєднання впливів 'часте' - вздовж y