

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: Дослідження напружено-деформівного стану оболонки одинарної кривизни при дії миттєвого навантаження

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Лановик М.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Гудь М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Рецензент Бобик М.П.
(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)

« »

2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Лановик Марта Михайлівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження напружено-деформівного стану оболонки
одинарної кривизни при дії миттєвого навантаження»

Керівник роботи Гудь Михайло Іванович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » 04 2023 року № 4/7-364

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Роль захисних цивільних споруд; Види та характеристики цивільних захисних споруд; Укриття; Надземне укриття; Підземне укриття; Вимоги укриття; Досвід будівництва укриттів Ізраїлю; Тонкостінні просторові конструкції; Оболонки одинарної кривизни; Оболонки двоякої кривизни; Короткі оболонки; Арматура, що використовується для зміцнення плит циліндричних оболонок; Вихідні параметри для моделювання конструкції оболонки одинарної кривизни; Моделювання в ПК ANSYS; Порядок моделювання в ПК ANSYS; Створення теки матеріалів за допомогою Engineering Data; Створення просторової конструкції оболонки одинарної кривизни; Процес створення моделі оболонки з одинарною кривизною для подальшого проведення розрахунку; Аналіз деформацій та переміщень; Аналіз напруженого стану;

 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Цивільні захисні споруди.оболонки одинарної кривизни		
2	Дослідження напружено-деформативного стану оболонки одинарної кривизни		
3	Напружено дефораційний стан оболонки одинарної кривизни		
4	Охорона праці		
6	Загальні висновки		

Студент

(підпис)

Лановик М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гудь М.І.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ЦИВІЛЬНІ ЗАХИСНІ СПОРУДИ. ОБОЛОНКИ ОДИНАРНОЇ КРИВИЗНИ.....	7
1.1 Роль захисних цивільних споруд	7
1.2 Види та характеристики цивільних захисних споруд.....	7
1.3 Укриття	9
1.4 Надземне укриття	11
1.5 Підземне укриття.....	12
1.6 Вимоги до укриття	13
1.7 Досвід в будівництві укриттів Ізраїлю	14
1.8 Тонкостінні просторові конструкції	16
1.9 Оболонки одинарної кривизни.....	17
1.10 Оболонки двоякої кривизни	18
1.11 Короткі оболонки	18
1.12 Арматура, що використовується для армування плит циліндричних оболонок	20
1.13 Висновки по розділу 1	22
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМАТИВНОГО СТАНУ ОБОЛОНКИ ОДИНАРНОЇ КРИВИЗНИ	23
2.1 Вихідні параметри для моделювання конструкції оболонки одинарної кривизни	23
2.2 Моделювання в ПК ANSYS	24
2.3 Порядок моделювання в ПК ANSYS.....	25
2.4 Створення теки матеріалів за допомогою Engineering Data	27

2.5 Створення просторової конструкції оболонки одинарної кривизни	33
2.6 Процес створення моделі оболонки з одинарною кривизною для подальшого проведення розрахунку.....	41
2.7 Висновки по розділу 2	47
РОЗДІЛ 3 НАПРУЖЕНО ДЕФОРАЦІЙНИЙ СТАН ОБОЛОНКИ ОДИНАРНОЇ КРИВИЗНИ	48
3.1 Аналіз деформацій та переміщень	48
3.2 Аналіз напруженого стану.....	54
3.3 Висновки по розділу 3	58
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59
4.1.1 Техніка безпеки та пожежна безпека на будівельному майданчику	59
4.1.2 Захисне заземлення	63
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	65
4.2.1 Оцінка стійкості об'єкта до впливу ударної хвилі ядерного вибуху і заходи щодо підвищення стійкості	65
4.2.2 Оцінка масштабу, розмірів втрат та інших наслідків можливої НС на промисловому об'єкті	67
4.3 Висновки по розділу 4	71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	72
БІБЛІОГРАФІЯ	73

ВСТУП

Актуальність теми полягає в тому що залізобетонні укриття мають важливе значення під час війни. Оскільки використовуються для захисту населення від вибухових речовин, боєприпасів і артилерії.

У цьому дослідженні запропоновано наземне укриття, що складається з вертикальних стін та циліндричним дахом із залізобетону. Модель пластичності пошкодження бетону використовується для нелінійної пружної та непружної поведінки, деградації жорсткості та впливу швидкості навантаження на бетон. Сталеві арматурні стержні ідеалізуються за допомогою класичної моделі пластичності, що дотримується пружно-пластичного конститутивного закону.

Мета роботи: оцінка напружено-деформованого стану залізобетонної монолітної оболонки одинарної кривизни з урахуванням дії зосередженого динамічного навантаження.

Об'єкт досліджень – залізобетонна монолітна оболонка одинарної кривизни.

Предмет дослідження – напружено-деформівний стан залізобетонної монолітної оболонки одинарної кривизни при дії зосередженого динамічного навантаження.

Доцільність проведення досліджень зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити економічність та довговічність конструкцій на основі залізобетонної монолітної оболонки одинарної кривизни.

Завдання роботи:

- проаналізувати сучасний стан та перспективи існуючих конструктивних систем на основі залізобетонних монолітних оболонок одинарної кривизни;
- розробка скінченно-елементної моделі залізобетонної монолітної оболонки одинарної кривизни;
- розрахунок параметрів напружено-деформівного стану із застосуванням скінченно-елементного моделювання та їх аналіз.

Методи дослідження – скінченно-елементний з використанням прикладного програмного пакету ANSYS.

Галуззю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих укриттів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що отримала подальший розвиток методика моделювання напружено-деформівного стану залізобетонної монолітної оболонки одинарної кривизни при дії зосередженого динамічного навантаження.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати досліджень можуть бути використані для зведення нових та реконструкції існуючих укриттів

Апробація результатів магістерської роботи виконана роботи виконана на VI Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 27-28 квітня 2023 року.).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: залізобетон, оболонка, укриття.

РОЗДІЛ 1

ЦИВІЛЬНІ ЗАХИСНІ СПОРУДИ. ОБОЛОНКИ ОДИНАРНОЇ КРИВИЗНИ

1.1 Роль захисних цивільних споруд

Захисні цивільні споруди - це спеціальні будівлі, призначені для забезпечення захисту людей від небезпек, що можуть виникнути під час війни, техногенних катастроф, природних лих та інших надзвичайних ситуацій [2]. Ці споруди можуть бути земляними (підземними), напівземляними, наземними, транспортабельними і стаціонарними.

Роль захисних цивільних споруд полягає в тому, щоб забезпечити захист людей, які опинилися в небезпечній ситуації, такої як війна, техногенні катастрофи, природні катастрофи та інші надзвичайні ситуації [3]. Ці споруди можуть зменшити кількість загиблих та травмованих, що допомагає зберегти життя та здоров'я людей.

Окрім того, захисні цивільні споруди можуть відігравати важливу роль у плануванні міської інфраструктури та урбаністичного планування, забезпечуючи засоби забезпечення життєдіяльності населення у разі надзвичайної ситуації. Наприклад, вони можуть забезпечити додаткове водопостачання, вентиляцію, електропостачання та інші послуги, що необхідні для життя.

Крім того, захисні цивільні споруди виконують функцію оборони. Вони можуть бути використані для захисту від агресора під час війни, забезпечуючи людей безпечним місцем для проживання та праці.

У цілому, роль захисних цивільних споруд полягає в тому, щоб забезпечити захист людей та забезпечити їх виживання в умовах надзвичайних ситуацій [3]. Вони можуть виконувати важливу функцію як у мирний, так і у воєнний час.

1.2 Види та характеристики цивільних захисних споруд

Існує багато видів цивільних захисних споруд, які можуть бути використані для захисту населення від небезпеки [3].

Основні види цивільних захисних споруд включають:

Бомбосховища - це споруди, спеціально призначені для захисту від авіаційних бомб та інших вибухових пристроїв. Вони можуть бути побудовані під землею або над землею.

Сховище – це герметична споруда, призначена для захисту людей, в якому створюються умови, що запобігають потрапляння шкідливих речовин, які виникли в наслідок бойових дій, радіоактивних забруднень або надзвичайних ситуацій.

Захисні бункери - це споруди, спеціально призначені для захисту від снарядів, куль та інших збройних атак. Вони можуть бути використані як військові бункери, так і цивільні укриття.

Укриття - це тимчасова або постійна споруда, яка призначена для тимчасового чи постійного перебування людей під час небезпечних ситуацій. Зазвичай укриття будуються з метою захисту від наслідків війни, терористичних актів, природних катастроф, а також від радіоактивного, хімічного та біологічного забруднення.

Протирадіаційне укриття - це будівля або споруда, спеціально призначені для захисту людей від шкідливого впливу високої дози випромінювання в разі радіаційної аварії, ядерного вибуху чи іншого радіаційного небезпечного випадку.

Стаціонарні захисні споруди - це споруди, призначені для захисту від небезпеки та забезпечення безпеки людей та майна. Ці споруди є постійними та необхідними для захисту населення від небезпек, таких як військові конфлікти, натуральні катастрофи, хімічні аварії, техногенні катастрофи та інші небезпеки.

Характеристики цивільних захисних споруд можуть залежати від їхньої призначення та місця розташування.

Загальні характеристики цивільних захисних споруд включають [3]:

- Забезпечення безпеки - цивільні захисні споруди мають захищати людей та їхнє майно від небезпеки.

- Стійкість до зовнішніх впливів - цивільні захисні споруди повинні витримувати вплив небезпечних ситуацій, таких як вибухи, стихійні лиха та інші небезпеки.

Для захисту населення використовують укриття подвійного призначення надземні або підземні споруди (будівлі). В період війни нарощування фонду

захисних цивільних споруд виконують за допомогою будівництва швидко споруджувальних захисних споруд або будівництво найпростіших укриттів.

Швидко споруджувана захисна споруда цивільного захисту - це тимчасова споруда, яка може бути швидко зведена у разі надзвичайної ситуації або кризи для захисту населення від небезпеки. Ці споруди можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як метал, бетон.

Ці споруди можуть бути використані для різних цілей, включаючи захист від небезпек, які можуть виникнути внаслідок природних катастроф, терористичних актів, війн, епідемій та інших надзвичайних ситуацій.

Прикладами можуть бути контейнери-бомбосховища, що встановлюються на площах міст та селищ для захисту населення від агресивних дій ворожих військ, або мобільні базові станції для організації зв'язку та координації дій під час надзвичайних ситуацій.

Найпростіше укриття – це підвальне або цокольне приміщення, який може забезпечити захист людини від небезпеки.

1.3 Укриття

Укриття можуть бути стаціонарними або портативними, а також вбудовані в будівлі чи знаходитись окремо. Для забезпечення безпеки людей в укриттях, вони повинні мати необхідне обладнання, комунікації та живлення, які забезпечують комфортне перебування в них під час небезпечних ситуацій.

Укриття можна класифікувати за багатьма ознаками, такими як місцезнаходження, матеріал, з якого вони виготовлені, місткість та тривалість перебування в них [4].

За місцезнаходженням:

– підземні укриття - такі укриття знаходяться під землею. Вони можуть бути бетонними тунелями, печерами або спеціально викопаними канавами.

- наземні укриття - такі укриття знаходяться на поверхні землі. Вони можуть бути з використанням підручних матеріалів, таких як металеві або дерев'яні конструкції.

За матеріалом:

- бетонні укриття - вони виготовляються з бетону та залізобетону. Такі укриття мають високу стійкість до зовнішніх впливів та забезпечують високий рівень безпеки.

- металеві укриття - вони виготовляються з металевих конструкцій, зазвичай з сталі або алюмінію. Такі укриття забезпечують швидкий монтаж та демонтаж.

- Напівжорсткі укриття - вони виготовляються з гофрованого металу, тканини або забарвленого скла. Вони забезпечують прихованість від зору та звуку, але не мають високої стійкості до зовнішніх впливів.

За вмістимістю та тривалістю перебування:

- індивідуальні укриття - такі укриття призначені для тимчасового перебування однієї або кількох осіб. Вони можуть бути портативними та легко збираються та розбираються;

- групові укриття - один з найпоширеніших типів - це бетонне укриття, яке зазвичай будується у вигляді крипти чи підвалу зі спеціальними заходами безпеки, такими як вентиляція, системи водовідведення, живлення тощо. Бетонне укриття може бути обладнане спеціальними заходами безпеки, такими як герметичні двері, що допомагають забезпечити захист від радіації, біологічних та хімічних загроз.

Іншим типом укриття може бути земляне укриття, яке може бути виготовлене шляхом копання ями в землі та влаштування у ній конструкції з бетону чи сталі. Цей тип укриття зазвичай використовується як тимчасове пристосування для захисту від небезпеки.

Також можуть бути використані тимчасові укриття, такі як підземні бункери, або мобільні контейнери зі спеціальними властивостями, що допомагають забезпечити захист від радіації та інших небезпечних факторів.

1.4 Надземне укриття

Надземне укриття - це будівля або споруда, яка призначена для захисту людей від небезпеки, яка може виникнути з-за природних катастроф, нападу ворожих сил або інших небезпечних ситуацій [4].

Надземне укриття може бути зведене з різних матеріалів, таких як бетон, камінь, метал або дерево. Конструкція надземного укриття зазвичай міцна та стійка, щоб витримувати великі навантаження. Воно також може бути обладнаний спеціальними пристроями безпеки, такими як системи пожежогасіння, системи вентиляції, водовідведення, аварійне освітлення та інші.

Укриття можуть бути стійкими до різних небезпек, наприклад, до вибухів, вогню, радіації, хімічних речовин, біологічних загроз тощо.

Надземне укриття може використовуватися як тимчасове пристосування для захисту від небезпеки, або як постійна споруда, така як бомбосховища, приміщення для екстреної медичної допомоги, підприємства, що працюють з небезпечними речовинами, та інші.

При проектуванні та будівництві надземного укриття важливо враховувати різні фактори, такі як природні умови, які можуть впливати на споруду, рівень небезпеки, бюджет та доступність матеріалів. Також важливо використовувати сучасні технології та знання з метою забезпечення максимальної безпеки для людей.

Надземні укриття є різних типів і конструкцій, залежно від їх місця розташування та призначення. Наприклад:

Бетонні укриття: це один з найпоширеніших типів надземних укриттів. Вони будуються з бетону і можуть бути одно- або багатоповерховими. Бетонні укриття можуть бути стійкими до вибухів та захищати від радіації.

Металеві укриття: ці укриття будуються з металу і можуть бути легкими та портативними, або ж стійкими до вибухів та більш масивними.

1.5 Підземне укриття

Підземне укриття - це захисна споруда, яка знаходиться під землею і призначена для захисту людей та майна від надзвичайних ситуацій, таких як війна, техногенні катастрофи, природні катаклізми тощо [4]. Використовуватися як для захисту населення в разі надзвичайних ситуацій, так і для зберігання матеріальних цінностей, військових запасів, а також для розташування важливих військових та державних об'єктів.

Підземні укриття можуть мати різну конструкцію і розміри. Вони можуть бути створені вже готовими підземними спорудами (наприклад, тунелями, копальнями, каналізаційними колекторами), або будуватися спеціально для цієї мети.

Підземні укриття повинні мати систему життєзабезпечення (вентиляцію, освітлення, водопостачання, каналізацію), систему захисту від хімічних, біологічних та радіаційних загроз, систему зв'язку зі звичайним світом, а також систему інформаційної підтримки та управління в надзвичайних ситуаціях.

Види підземних укриттів наступні:

– бункери: це споруди, що призначені для захисту людей від небезпек, пов'язаних з війною. Бункери можуть бути земляними або підземними, вони можуть бути використані для проживання на деякий час, зберігання матеріальних цінностей, зброї, продуктів харчування та іншого майна.

– шахти: це підземні укриття, які зазвичай розташовані в глибинах під землею. Шахти можуть бути використані як укриття від війни або природних катаклізмів, а також для зберігання матеріальних цінностей та інших речей.

– тунелі: це підземні проходи, які можуть бути використані як укриття від війни, природних катаклізмів, а також для транспортування людей та матеріальних цінностей. Тунелі можуть бути різних розмірів та форм, вони можуть бути забезпечені системами життєзабезпечення, освітленням, вентиляцією та іншими установками.

– сховища: це підземні споруди, які призначені для зберігання матеріальних цінностей, продуктів харчування, зброї та іншого майна. Сховища можуть бути обладнані системами захисту від вогню, вибухів, радіації та інших небезпек.

1.6 Вимоги до укриття

Основні вимоги до укриття є забезпечення безпеки та стійкості до зовнішніх впливів. Для забезпечення можливості безперервного перебування в укритті протягом не менше 48 годин, необхідно, щоб укриття були обладнані необхідними засобами життєзабезпечення та зручностями для людей [5] .

Тому укриття повинні містити :

- місце для сидіння (укриття повинно бути обладнане зручними меблями та спальними місцями, душем та туалетом, а також кухонним приладдям та іншими зручностями, які можуть забезпечити комфортне перебування);
- запаси питної та технічної води;
- запаси та контейнер для зберігання продуктів;
- освітлення (потрібно забезпечити достатнє освітлення для підтримки психологічного комфорту та для забезпечення безпеки) та засоби зв'язку;
- вентиляція (укриття повинно мати добре організовану систему вентиляції, щоб забезпечити свіжий повітря та відведення відходів);
- медикаменти;
- засоби для пожежогасіння (потрібно забезпечити належні заходи пожежної безпеки, включаючи наявність пожежних виходів, детекторів диму та вогнегасники);
- енергозабезпечення (укриття повинно бути забезпечене енергією для освітлення та інших потреб, таких як нагрівання та охолодження приміщення).

Також, важливо забезпечити безпеку людей, які перебувають в укритті. Укриття мають мати необхідні системи захисту від вогню та інших небезпек, а

також можуть мати системи аварійного живлення, які дозволять продовжувати роботу основних систем життєзабезпечення у разі відключення електроенергії.

1.7 Досвід в будівництві укриттів Ізраїлю

Укриття в Ізраїлі є невід'ємною частиною ізраїльської культури і побуту. Загальний досвід будівництва укриттів в країні був здобутий унаслідок багаторічних воєнних конфліктів та повсякденних обстрілів з Гази і Лівану. Укриття стали необхідні для захисту населення від ракетних атак.

У багатьох новобудовах Ізраїлю є вбудовані укриття або спеціально призначені місця для їх будівництва. Наприклад, в підземеллях будинків, в яких розміщені квартири, можуть бути збудовані укриття. Є також спеціальні укриття для дітей в школах і дитячих садках.

Найпоширенішими видами укриттів в Ізраїлі є:

– бомбосховища: ці укриття зазвичай знаходяться під землею та призначені для захисту від ракет та інших снарядів. Вони можуть бути розташовані в будинках, школах, громадських закладах тощо. Бомбосховища мають зміцнені стіни та дахи зі зміцненого бетону, зазвичай товщиною від 30 до 60 см.

– громадські укриття: ці укриття призначені для захисту населення під час бойових дій. Вони можуть бути розташовані на поверхні або під землею та забезпечують надійний захист від ракет, бомб та інших снарядів. Громадські укриття мають зміцнені стіни та дахи, а також спеціальні вентиляційні системи та інші установки для забезпечення комфорту та безпеки людей, які перебувають у них.

– індивідуальні укриття: ці укриття призначені для захисту окремих будинків та квартир. Вони можуть бути розташовані на балконах, в підвалах, на дачних ділянках тощо. Індивідуальні укриття мають зміцнені стіни та дахи, зазвичай зі сталі або зміцненого бетону, та можуть бути обладнані спеціальними вікнами та дверима.

У деяких будинках, де немає вбудованих укриттів, мешканці можуть побудувати тимчасові укриття в домашніх умовах. Наприклад, це може бути захисна кімната, яку будують у підвалі або на балконі.

Укриття в Ізраїлі можуть мати різну форму і розміри. Деякі з них є збудованими в бетонній стіні або підлозі, інші є надземними залами. Є також портативні укриття, які можна швидко встановити на вулиці або в парках.

Укриття будують залежно від їхньої призначення та місцезнаходження. Найбільш поширеними укриттями є бомбосховища для захисту від ракет та інших снарядів. Зазвичай такі укриття будуються під землею, іноді використовуючи існуючі будівлі або підземні стоянки. Вони мають стіни та дахи зі зміцненого бетону та залізобетону товщиною до кількох метрів. Такі укриття забезпечують ефективний захист від ракет та інших снарядів, які можуть бути запущені з повітря чи землі.

Крім того, у низці місць в Ізраїлі також є громадські укриття, призначені для захисту населення під час бойових дій. Ці укриття можуть бути розташовані на поверхні або під землею, і вони забезпечують надійний захист від ракет, бомб та інших снарядів. Вони мають зміцнені стіни та дахи, а також спеціальні вентиляційні системи та інші установки для забезпечення комфорту та безпеки людей, які перебувають у них.

Україна може перейняти деякі аспекти ізраїльського досвіду у питаннях захисту населення та інфраструктури від потенційних загроз, наприклад, у військово-технічній сфері. Однак, варто зазначити, що ізраїльський досвід має свої особливості, обумовлені геополітичним та історичним контекстом, які можуть бути непридатними для використання в умовах України.

Наприклад, укриття в Ізраїлі будуються з огляду на специфіку військових загроз, з якими стикається країна, таких як ракетні атаки та терористичні напади. Тому деякі ізраїльські рішення можуть бути непридатними для використання в умовах України, де загрози можуть мати інший характер.

Україна може вивчати ізраїльський досвід у багатьох сферах, включаючи будівництво укриттів та систем безпеки. Ізраїль має великий досвід в боротьбі з

тероризмом та військовими загрозами, що дозволяє йому розробляти та вдосконалювати ефективні методи захисту населення та інфраструктури.

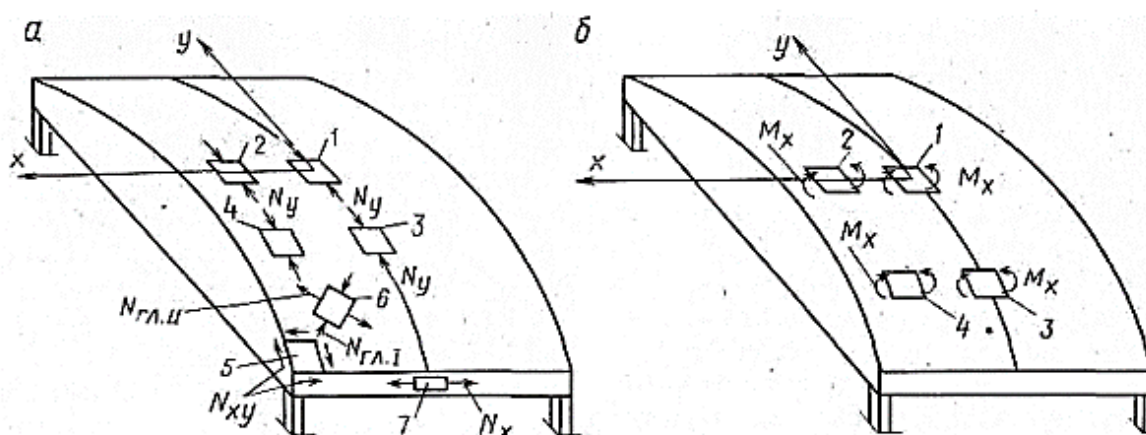
1.8 Тонкостінні просторові конструкції

Тонкостінні просторові конструкції - це конструкції, які завдяки своїй просторовій формі мають високу жорсткість та стійкість при мінімальній товщині [15].

Оболонки є геометричними тілами, обмеженими криволінійними поверхнями, відстані між якими є дуже маленькими порівняно з іншими розмірами.

Складки складаються з плоских тонкостінних плит, які жорстко з'єднані під деяким кутом.

На рис. 1.1 показано елементи конструкції в формі коротких циліндричних оболонок, що піддаються рівномірно-розподіленому навантаженню. Вони мають специфічний напружений стан, який характеризує їх роботу в цій конструкції.



а - Компоненти стану без згинального моменту; б - Компоненти стану зі згинальним моментом.

Рисунок 1.1 – Вплив внутрішніх сил і згинальних моментів на елементи коротких циліндричних оболонок різних розмірів, які піддаються рівномірно розподіленому навантаженню по всій поверхні оболонки

Тонкостінні просторові конструкції є складними геометричними об'єктами, які можуть мати форму оболонки з одинарною або двоюкою кривизною. Ці

конструкції відрізняються від інших тонкостінних елементів тим, що їх жорсткість і стійкість забезпечується просторовою формою, що дозволяє робити їх тоншими. Оболонки одинарної кривизни обмежені криволінійними поверхнями, відстань між якими мала в порівнянні з іншими їхніми розмірами, тоді як оболонки з двоякою кривизною складаються з плоских тонкостінних плит, з'єднаних між собою під деяким кутом.

У тонкостінних просторових конструкціях використовується ефективна робота конструкції в обох напрямках, що дозволяє значно економити матеріал та ефективно використовувати його.

Оболонки можуть мати різну структуру, такі як гладкі, хвилясті, ребристі і сітчасті. Вони можуть бути виготовлені як монолітні, так і збірні [15]. Для виготовлення збірних оболонок, крім залізобетону, можуть використовуватися матеріали, такі як азбестоцемент, метал і пластик. Ребристі оболонки мають тонку криволінійну стінку, яка посилюється ребрами.

При проектуванні тонкостінних просторових покриттів враховують їхнє призначення, архітектурне оформлення та спосіб зведення. Конструкція збірних покриттів повинна бути простою у виготовленні збірних елементів, повторюватись багато разів і бути легко збираною засобами монтажу. Монолітні покриття мають бути здатні до застосування пересувних або переставних багаторазових опалубок.

Конструкція повинна задовольняти вимогам міцності, стійкості, тріщиностійкості та переміщень під навантаженням для умов експлуатації. При виготовленні, транспортуванні та монтажі заводських елементів необхідно дотримуватись встановлених норм і враховувати умови експлуатації.

1.9 Оболонки одинарної кривизни

Оболонки одинарної кривизни - це плоскі або просторові конструкції, які складаються з тонких елементів (наприклад, пластин або оболонок), що мають форму кривої поверхні [6]. Дані конструкції застосовуються у будівництві, аерокосмічній промисловості, морському та авіа транспорті та інших галузях. Вони

мають високу міцність та легкість, що робить їх ефективними для використання в умовах, де необхідно зменшити масу конструкції.

Оболонки одинарної кривизни можна поділити на кілька типів залежно від їх форми, зокрема на циліндричні, конічні та коноїдальні оболонки.

Напружено-деформаційний стан оболонок одинарної кривизни визначається комплексом взаємопов'язаних механічних напружень та деформацій, які виникають в конструкції при зовнішньому впливі [6]. Цей стан характеризується зміною геометрії оболонки, виникненням в ній напружень та деформацій, руйнуванням матеріалу.

В оболонках одинарної кривизни можуть виникати такі типи напружень, як кінцеві зусилля, крутящі моменти, радіальні зусилля та моменти, а також зміщення. Деформації можуть бути криволінійними, зміщувальними, згинними, крутящими та скручувальними. Для розрахунку та проектування конструкції необхідно враховувати всі ці фактори та забезпечити достатню міцність та стійкість оболонки.

1.10 Оболонки двоякої кривизни

Оболонки двоякої кривизни - це просторові конструкції, які мають кривизну в обох напрямках [6]. Ці оболонки можуть бути різної форми та розміру. Залежно від форми та розміру, їх можна поділити на різні типи.

Оболонки двоякої кривизни можна класифікувати на декілька типів:

- Оболонки обертання з вертикальною віссю купола.
- Опуклі оболонки перенесення на прямокутному плані.
- Увігнуті висячі оболонки на круглому або еліптичному плані.
- Опукло-увігнуті (сідлоподібні) оболонки, які можуть мати форму бондарного склепіння або хвилястого склепіння, а їхній переріз може бути криволінійним або складчастим.

1.11 Короткі оболонки

Циліндричні оболонки називають короткими, якщо відношення їх розмірів на плані $l_1/l_2 < 1$ рис. 1.2.

Оболонки, які мають відношення своїх розмірів на плані $l_1/l_2 < 1$, позначаються як короткі циліндричні оболонки, згідно з рис. 1.2.

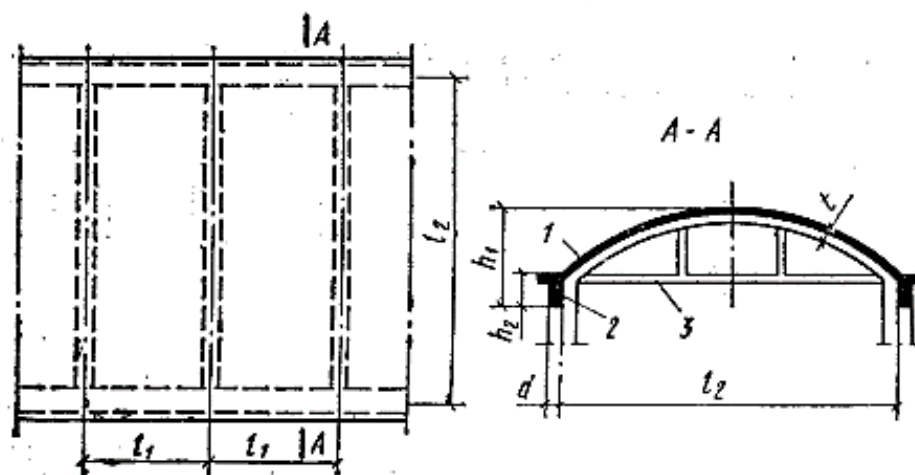
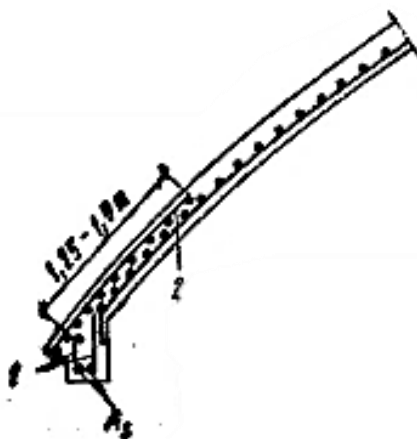


Рисунок 1.2 – Конструкція коротких оболонок

При практичному конструюванні коротких монолітних оболонок з довжиною l_1 від 6 до 12 метрів і фактичним співвідношенням розмірів l_1/l_2 не менше $1/7$, рекомендується використовувати плиту з товщиною 70-80 мм без проведення додаткових розрахунків [6]. Бортовий елемент повинен мати висоту h_2 , яка становить від $1/10$ до $1/15$ довжини l_1 , та ширину d від $0,2$ до $0,4 h_2$. Для армування плити використовують конструктивну сітку зі стрижнів діаметром 5-6 мм з кроком між ними 100-200 мм.



1 – зварний каркас; 2 – додатковий зварний каркас.

Рисунок 1.3 – Армування монолітних коротких оболонок

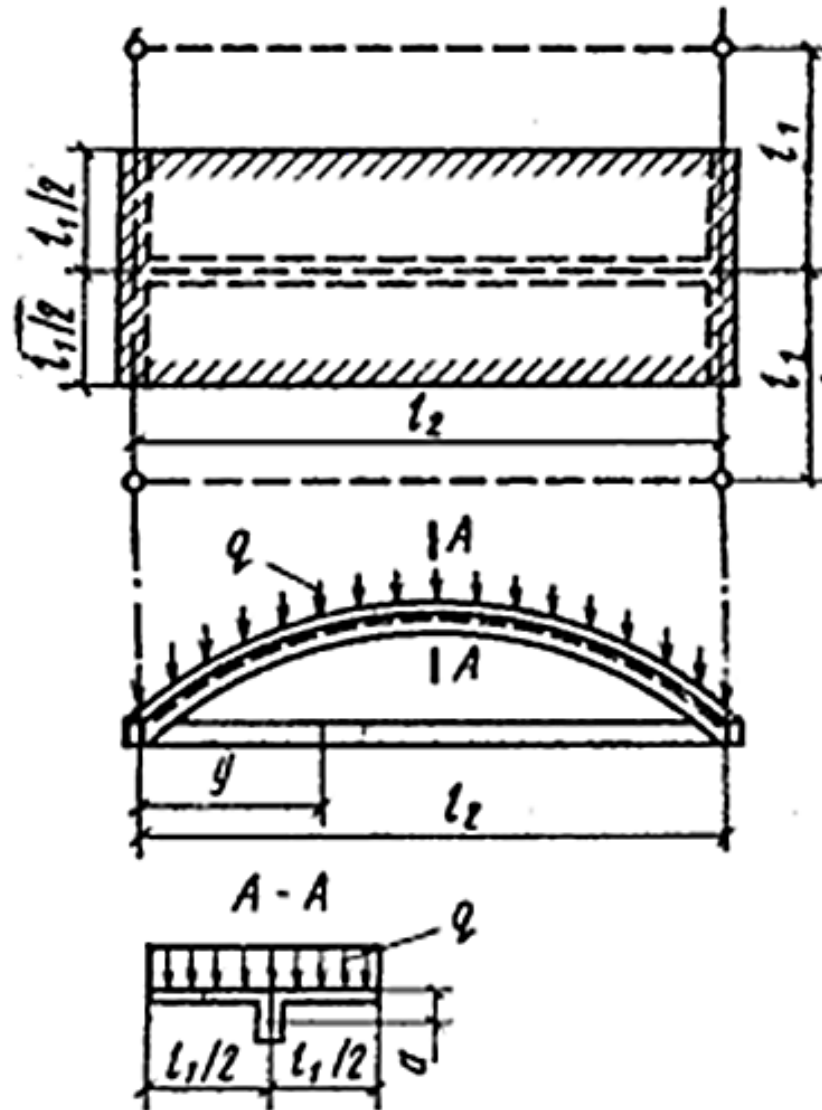


Рисунок 1.4 – Розрахункова схема діафрагми коротких оболонок

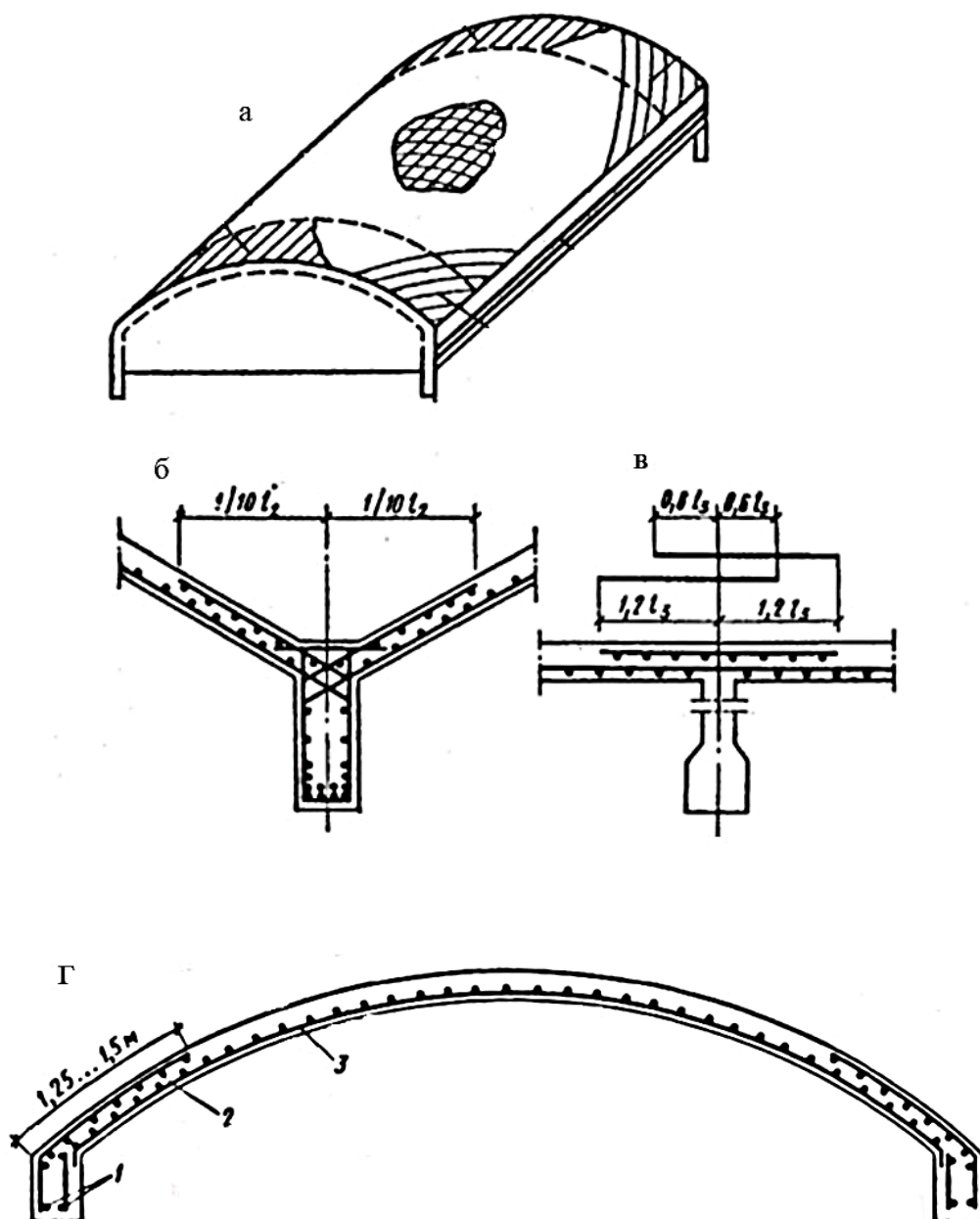
Оболонки розраховують спрощеним методом, де в напрямку l_1 вони розглядаються як звичайні балки.

1.12 Армування, що використовується для армування плит циліндричних оболонок

Для армування оболонок використовують сітку, яка складається зі стержнів діаметром 4-6 мм з кроком 100-150 мм в обох напрямках, як показано на рис. 1.5 (позиція 3). Додаткові сітки (позиція 2) застосовуються для армування місць, де

плита з'єднується з діафрагмою та бортовими елементами. Для плит, що знаходяться над діафрагмами, додаткові сітки заводять на довжину $0,1L$ в кожную сторону від діафрагми [15].

Каркаси бортових елементів зварюють з об'єднаних арматурних стержнів (поз. 1). Поперечні стержні встановлюються в каркасі згідно з конструктивною схемою.



а – оболонка; б – армована оболонка поблизу проміжного елемента; в – над проміжною діафрагмою; г – схема армованого розрізу оболонки.

Рисунок 1.5 – Схема армування монолітної циліндричної оболонки

1.13 Висновки по розділу 1

Описано і проаналізовано інформацію з літературних джерел про захисні цивільні споруди та їхню роль. Виконано аналіз видів захисних споруд та їх характеристик. Проаналізовано поняття укриттів та визначено їх класифікацію.

Визначено, що Оболонки одинарної кривизни є ефективними та естетичними елементами конструкцій, які можуть бути використані в різних галузях будівництва, таких як промислові споруди, житлові будинки, спортивні споруди та інші. Завдяки своїм конструктивним особливостям, вони можуть забезпечувати високу міцність та стійкість, зменшення ваги конструкції, ефективне використання простору та забезпечення естетичної привабливості будівлі.

Встановлено, що для розрахунку оболонок одинарної кривизни використовують різні методи, включаючи аналітичні методи, числові методи та методи скінченних елементів. Однак, на практиці часто застосовують спрощені методи розрахунку, що дозволяють зменшити трудомісткість та витрати на проектування та будівництво.

Отже, оболонки одинарної кривизни є важливими та ефективними елементами конструкцій, які дозволяють забезпечити міцність та стійкість будівлі при естетично привабливому вигляді.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМАТИВНОГО СТАНУ ОБОЛОНКИ ОДИНАРНОЇ КРИВИЗНИ

2.1 Вихідні параметри для моделювання конструкції оболонки одинарної кривизни

Метою даної кваліфікаційної роботи є аналіз необхідних даних для обчислення напружено-деформаційного стану (НДС) конструкції оболонки одинарної кривизни. В скінченно-елементному розрахунку, з метою оптимізацію часу обчислень, розроблено модель укриття з наступними розмірами: ширина $L_1=2,6$ м; проліт $L_2=2$ м; довжина $B=1$ м; висотою $H=2,3$ м та $H_1=2$ м; радіус оболонки $R_1=1$ м $R_2=1,3$ м; Висота стіни $H_2=1$ м; товщина стін $t=0,3$ м. Клас бетону C20/25, армування виконано з класу арматури A400C та A240C.

Сили, що прикладаються, місце прикладання щоб конструкція витримала безпосереднє попадання снаряду ОФЗ калібру 30 мм від БМП-2 з вагою $m=390$ г та початковою швидкістю $v_c = 960$ м/с. Головна частина патрону має висоту $H_r = 45,6$ мм [9].

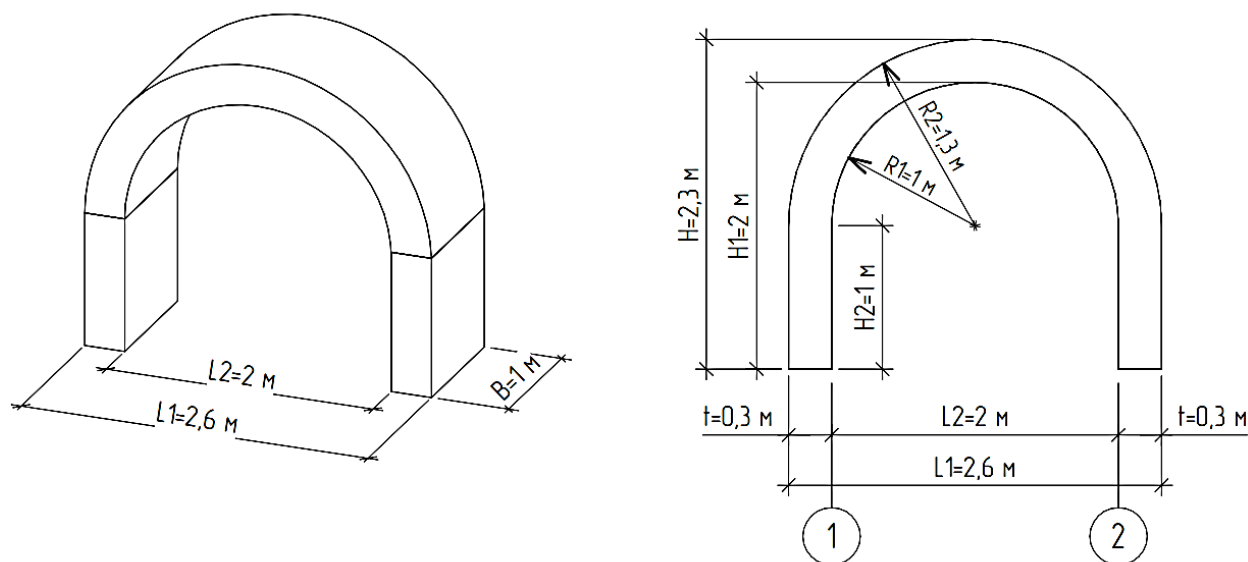


Рисунок 2.1 – Конструкція оболонки одинарної кривизни з стінами

2.2 Моделювання в ПК ANSYS

Для вивчення НДС та поведінки залізобетонної оболонки з одинарною кривизною було використано ПК ANSYS 2022 R2 (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Запуск ПК ANSYS/R2022

ANSYS - це потужна програмна платформа для моделювання та аналізу різних інженерних проблем. Програма ANSYS містить багато різних інструментів для моделювання та аналізу різноманітних явищ і систем.

Основні можливості програми ANSYS включають:

- моделювання: ANSYS дозволяє інженерам створювати складні 3D-моделі різних об'єктів та систем з використанням різних матеріалів, поверхонь, твердих тіл та інших складових;
- розрахунки: ANSYS дозволяє проводити розрахунки та віртуальні експерименти для дослідження поведінки об'єктів та систем в різних умовах;
- аналіз даних: ANSYS дозволяє аналізувати результати розрахунків та відображати їх в різних форматах. ANSYS також дозволяє проводити мультимодельний аналіз, що дає змогу визначати взаємозв'язки між різними системами та їх вплив на один одного;

- візуалізація даних: ANSYS має вбудовані інструменти для візуалізації даних, що дозволяє користувачам зручно відображати результати своїх розрахунків у вигляді графіків, діаграм, діаграми розсіювання та інших.

Перед проведенням моделювання в ПК ANSYS рекомендується виконати наступні кроки:

- визначити мету моделювання та об'єкт, який потрібно проаналізувати;
- створити 3D-модель об'єкта з використанням інструментів моделювання в ANSYS;
- вибрати тип аналізу, який найбільше підходить для вирішення поставленої задачі, наприклад, статичний аналіз, динамічний аналіз, термічний аналіз та ін;
- ввести необхідні параметри для аналізу, такі як матеріали, навантаження, граничні умови та інші;
- запустити аналіз та дочекатися отримання результатів;
- проаналізувати результати та виконати необхідні корекції в моделі, якщо потрібно;
- візуалізувати та інтерпретувати результати для подальшого використання в проєкті.

2.3 Порядок моделювання в ПК ANSYS

Після запуску Workbench відкриється робочий простір, в якому з'явиться вкладка проєкту Project. На цій вкладці будуть доступні два вікна: вікно інструментів Toolbox, вікно схем проєкту Project Schematic (рис.2.3).

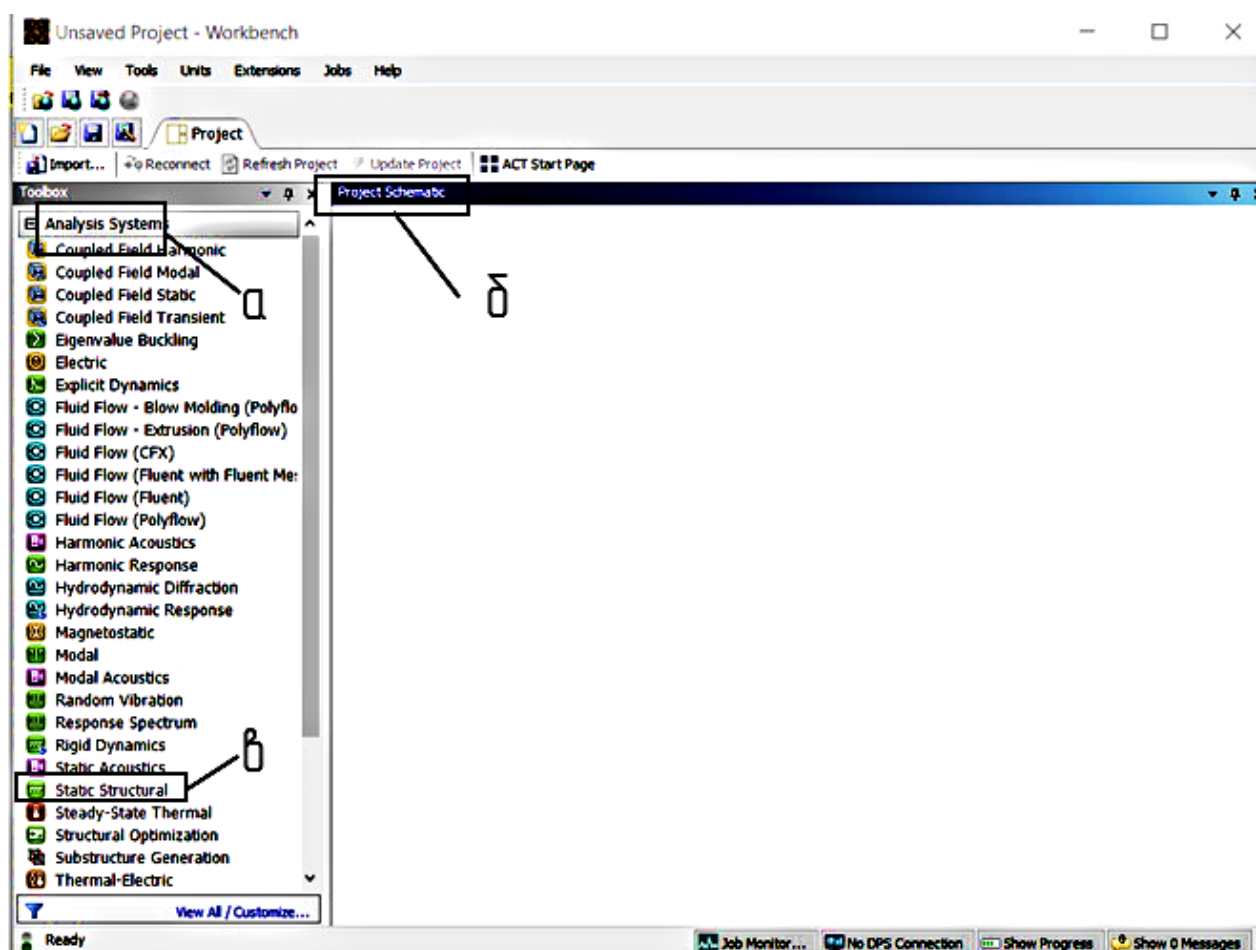
Для створення розрахункової системи необхідно зі списку аналітичних систем відкрити модуль аналітичної системи Static Structural s (рис.2.4).

Static Structural - це модуль програмного забезпечення ANSYS, призначений для розрахунку статичних навантажень на конструкції. Цей модуль дозволяє моделювати різні види навантажень, такі як рівномірно розподілене навантаження, точкові навантаження, навантаження на поверхні і т.д. Крім того, Static Structural

дозволяє визначати напруження, деформації, фактори безпеки та інші параметри конструкції відповідно до заданих навантажень.

Ударні навантаження можуть бути моделювані як короточасні великі навантаження, що діють на структуру. При цьому важливо враховувати не тільки величину навантаження, а й його час дії, а також динамічну поведінку матеріалів структури під час удару.

З його допомогою можна моделювати і аналізувати різні види статичних навантажень, такі як стискувальні, згинальні, крутні, зсувні, а також досліджувати поведінку матеріалів під дією цих навантажень.



а- вікно інструментів Toolbox; б- вікно схем проекту Project Schematic; в- модуль аналітичної системи Static Structural.

Рисунок 2.3 – Владка проекту Project

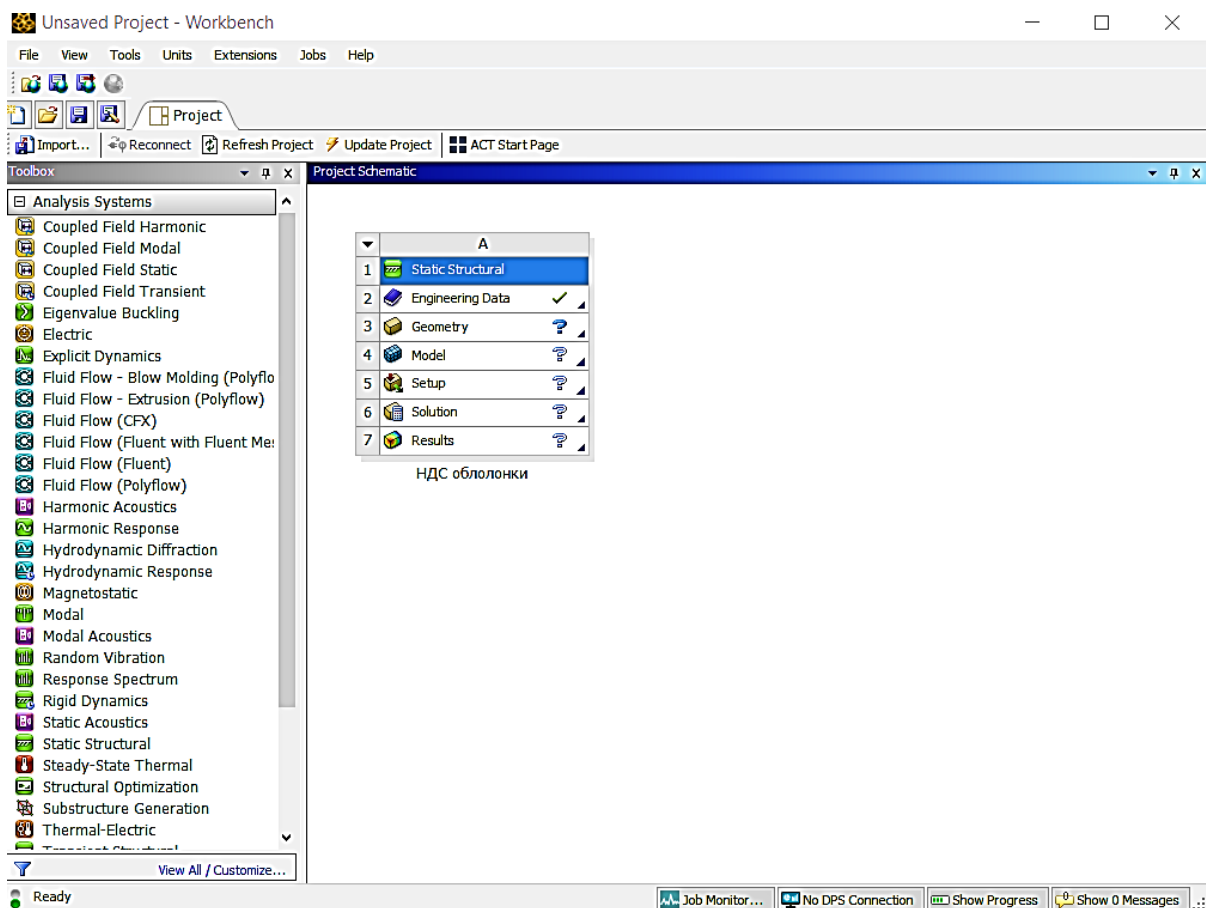


Рисунок 2.4 – Створення статичної задачі в Workbench.

2.4 Створення теки матеріалів за допомогою Engineering Data

В розділі Engineering Data була додана тека матеріалів (рис.2.5) з їх властивостями для моделювання залізобетонної балки, включаючи бетон C20/25 з нелінійною поведінкою, робочу арматуру 400С з нелінійною поведінкою та монтажну арматуру 240С з нелінійною поведінкою.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Арматура класу А400С			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Арматура класу А240С			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
5	Бетон C20/25			General_Materials.xml	
*	Click here to add a new material				

Рисунок 2.5 – Тека матеріалів створена в розділі Engineering Data

Для бетону класу C20/25 визначено початковий модуль пружності $E_{cd} = 30$ ГПа [9], що характеризує його здатність до повернення до початкової форми після дії зовнішнього навантаження. Значення міцності бетону на стиск становить $f_{cd} = 14,5$ МПа [9], що вказує на максимальне навантаження, яке бетон може витримати до початку деформації та пошкодження (рис 2.6).

Properties of Outline Row 5: Бетон C20/25				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2300	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,4E-05	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
8	Young's Modulus	31000	MPa	
9	Poisson's Ratio	0,2		
10	Bulk Modulus	1,7222E+10	Pa	
11	Shear Modulus	1,2917E+10	Pa	
12	Uniaxial Compression Test Data	Tabular		
13	Has Lateral Strain	No		
14	Scale	1		
15	Offset	0	MPa	

Рисунок 2.6 – Дані для бетону класу C20/25

Для моделювання нелінійної поведінки бетону класу C20/25 в програмі ANSYS було виконано наступні кроки: відкрито вікно матеріалів (рис.2.5) та вибрано відповідний матеріал; далі, для задання даних експериментальних випробувань на стиск, була вибрана опція Uniaxial Compression Test Data у розділі Hyperplastic Experimental Data вікна інструментів Toolbox (рис.2.7).

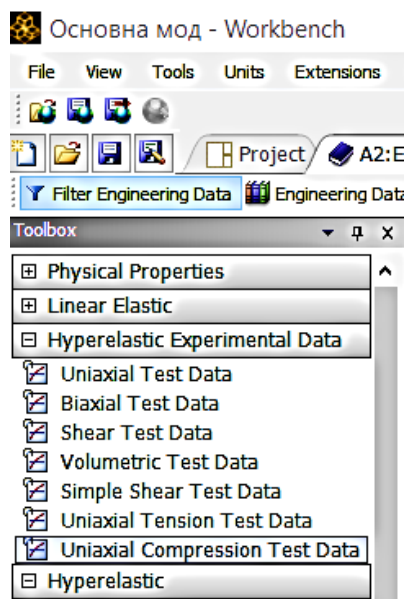


Рисунок 2.7 – Опція Uniaxial Compression Test Data

Формули (2.1-2.3) були використані для побудови нелінійної діаграми деформування бетону на стиск, де f представляє напруження при деформації ε , а ε_D позначає деформацію при напруженні руйнування бетону на стиск f .

$$f = \frac{E_{cd}\varepsilon}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_D}\right)} \quad (2.1);$$

$$\varepsilon_D = \frac{2f_{cd}}{E_{cd}} \quad (2.2);$$

$$E_{cd} = \frac{f}{\varepsilon} \quad (2.3);$$

Значення, які були отримані, внесені в таблицю Uniaxial Compression Test Data (рис 2.8.) та представлені у вигляді графіку (рис 2.9).

Uniaxial Compression Test Data - це дані, які отримують в результаті проведення одноосного стискувального випробування на зразках матеріалів.

Uniaxial Compression Test Data важливі для інженерів та науковців, які вивчають механічну поведінку матеріалів, проектують конструкції, проводять числові моделювання або розробляють матеріалознавчі дослідження. Ці дані допомагають краще розуміти властивості матеріалу під стисканням і сприяють розробленню безпечних та ефективних конструкцій і матеріалів.

Під час такого випробування зразок розміщується між двома плоскими паралельними поверхнями, після чого на його верхню частину починає діяти вертикальна сила, направлена вниз.

Ці дані можуть бути використані для моделювання поведінки матеріалу при різних умовах і в різних дослідженнях.

Table of Properties Row 12: Uniaxial Compression Test Data			
	A	B	C
1	Temperature (C)	Strain (mm mm ⁻¹)	Stress (MPa)
2	22	0	0
*		0,00018913	4,35
		0,00056739	10,852
		0,00075652	12,794
		0,0010087	14,146
		0,0012609	14,5
*			

Рисунок 2.8 – Дані для побудови нелінійної діаграми деформування бетону на стиск

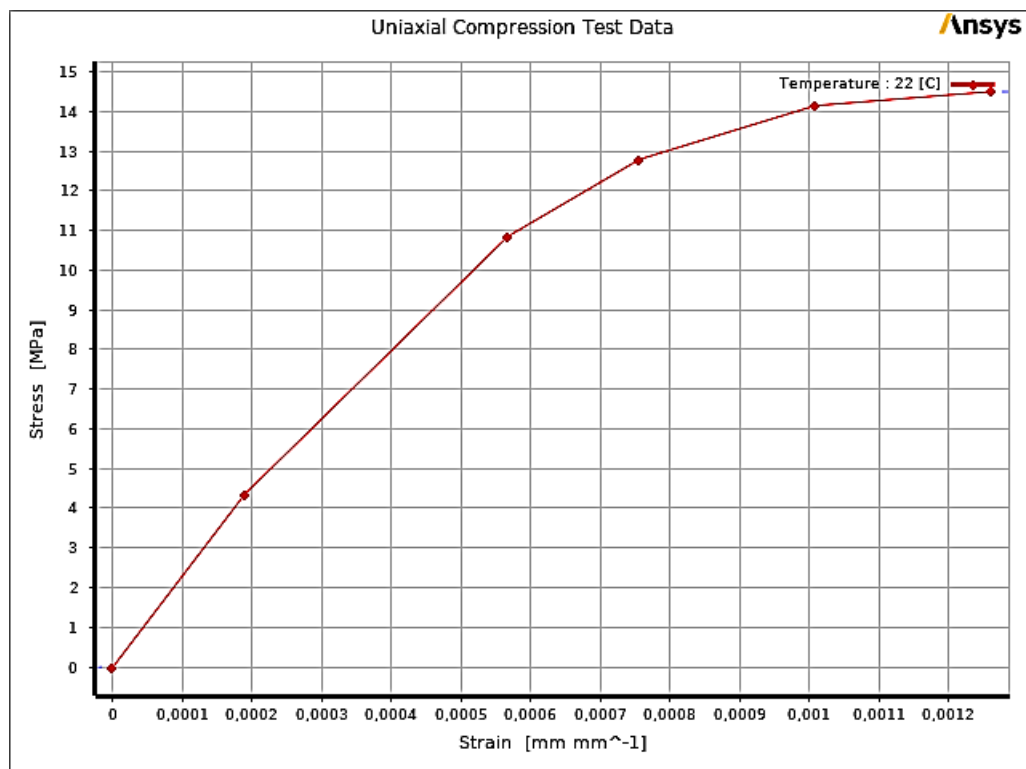


Рисунок 2.9 – Діаграма деформування бетону на стиск

На діаграмі відмітка 1 відповідає початку діаграми деформування, відмітка 2 - початковій ділянці пружності бетону (30%), відмітка 6 - критичній деформації

бетону. Відмітки 3, 4 та 5 - проміжні точки діаграми, їх значення визначаються за формулою (1) при деформаціях 45%, 60% та 80% від критичної деформації ϵ_D .

Вхідні дані для арматури класу A400C та A240C наведені на рисунку 2.10 й 2.11.

Properties of Outline Row 3: Арматура класу A400C				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	<input checked="" type="checkbox"/> Material Field Variables	Table		
3	<input checked="" type="checkbox"/> Density	7850	kg m ⁻³	
4	<input type="checkbox"/> Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹	
6	<input type="checkbox"/> Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
8	Young's Modulus	2,1E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa	
12	<input checked="" type="checkbox"/> Bilinear Isotropic Hardening			
13	Active Table	Plastic		
14	Yield Strength	365	MPa	
15	Tangent Modulus	4000	MPa	

Рисунок 2.10 – Дані арматури A400C

Properties of Outline Row 4: Арматура класу A240C				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	<input checked="" type="checkbox"/> Material Field Variables	Table		
3	<input checked="" type="checkbox"/> Density	7850	kg m ⁻³	
4	<input type="checkbox"/> Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	<input checked="" type="checkbox"/> Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹	
6	<input type="checkbox"/> Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
8	Young's Modulus	2,1E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa	
12	<input checked="" type="checkbox"/> Bilinear Isotropic Hardening			
13	Active Table	Plastic		
14	Yield Strength	225	MPa	
15	Tangent Modulus	2500	MPa	

Рисунок 2.11 – Дані арматури A240C

Для моделювання нелінійної поведінки арматури класу A400C в програмі ANSYS описано білінійною пружно-пластичною діаграмою деформування з характеристикою Bilinear Isotropic Hardening у розділі Plasticity вікна інструментів Toolbox (рис.2.12).

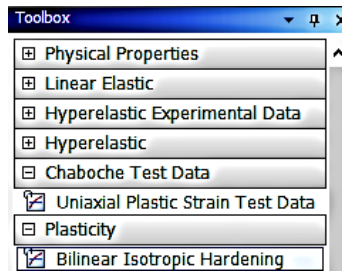


Рисунок 2.12 – Опція Bilinear Isotropic Hardening

12	<input checked="" type="checkbox"/> Bilinear Isotropic Hardening				<input type="checkbox"/>
13	Active Table	Plastic			<input type="checkbox"/>
14	Yield Strength	365	MPa		<input type="checkbox"/>
15	Tangent Modulus	4000	MPa		<input type="checkbox"/>

Рисунок 2.13 – Дані для нелінійної поведінки арматури класу A400C

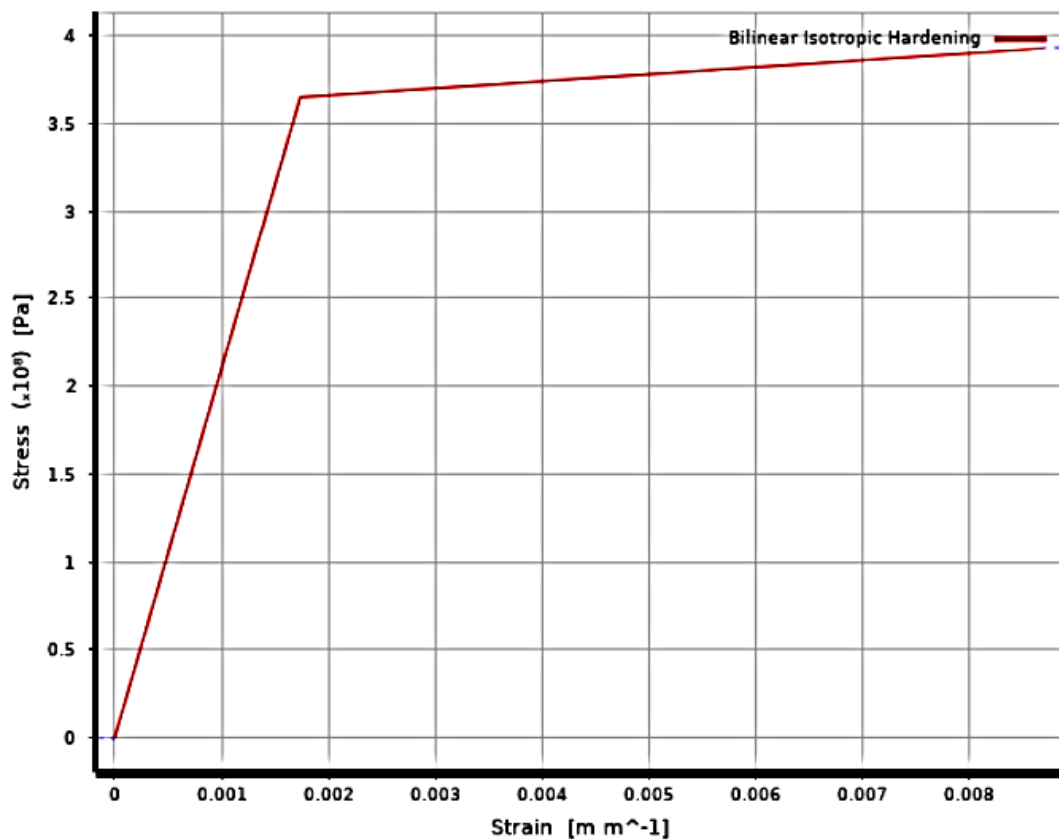


Рисунок 2.14 – Білінійною пружно-пластична діаграма деформування арматури класу A400C

Для моделювання нелінійної поведінки арматури класу A240C виконуємо аналогічно (рис. 2.15).

12	<input checked="" type="checkbox"/> Bilinear Isotropic Hardening			
13	Active Table	Plastic		
14	Yield Strength	225	MPa	
15	Tangent Modulus	2500	MPa	

Рисунок 2.15 – Дані для нелінійної поведінки арматури класу A240C

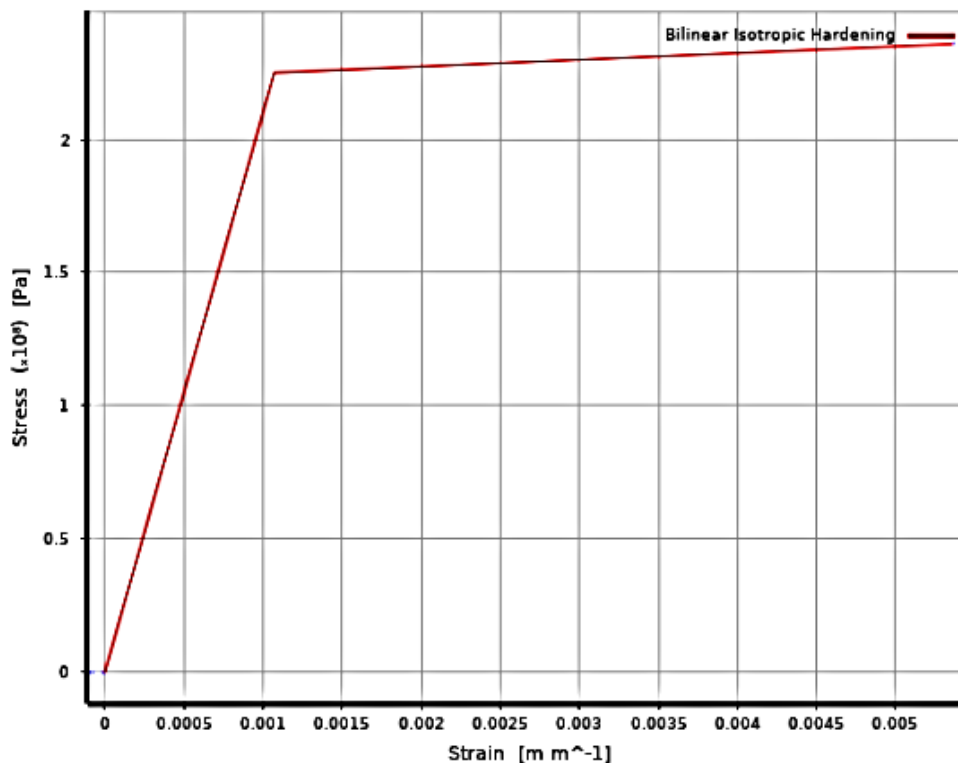


Рисунок 2.16– Білінійною пружно-пластична діаграма деформування арматури класу A240C

2.5 Створення просторової конструкції оболонки одинарної кривизни

Для створення просторової моделі виконане в програмі Design Modeler.

Design Modeler є одним з редакторів геометрії в програмі ANSYS, що дозволяє користувачам створювати та редагувати геометричні моделі для подальшого аналізу в ANSYS. Він містить різноманітні інструменти для створення та редагування геометричних об'єктів, таких як точки, лінії, поверхні та тіла, а також дозволяє імпортувати геометрію з інших програм. Після створення геометричної моделі в Design Modeler, її можна експортувати в ANSYS для подальшого аналізу.

В контексті ударного навантаження, Design Modeler може бути використаний для створення геометричної моделі об'єкта, на який буде подіяти ударна хвиля. Зазвичай, така модель складається з окремих елементів, які можуть бути розраховані за допомогою методів скінченних елементів в програмах, наприклад, ANSYS Static Structural.

Design Modeler - це модуль програмного забезпечення ANSYS, який використовується для створення геометричних моделей для подальшого аналізу в ANSYS.

Деякі з основних властивостей Design Modeler включають:

- створення твердотілих тіл: Design Modeler дозволяє створювати прості та складні 3D-моделі твердотілих тіл з різними формами та розмірами, використовуючи інструменти, такі як створення складних форм, об'єднання та віднімання тіл;
- модифікація геометрії: Design Modeler має ряд інструментів для редагування та модифікації геометрії моделі, включаючи зсув, обертання, зміну масштабу, перетворення та злиття;
- імпорт та експорт файлів: Design Modeler підтримує різні формати файлів для імпорту та експорту геометрії моделей, такі як STEP, IGES, ACIS, STL, CATIA та багато інших;
- автоматичне створення сітки: Design Modeler має функцію автоматичного створення сітки, яка дозволяє створювати сітку з геометрії моделі, що відповідає заданим критеріям сітки;
- перегляд геометрії: Design Modeler має можливість перегляду та аналізу геометрії моделі, включаючи засоби для вимірювання розмірів, відображення зон об'єму та поверхонь, а також відображення розрізів та перерізів;
- параметризація геометрії: Design Modeler дозволяє параметризувати геометрію моделі, тобто задати значення параметрів, які визначають її розмір та форму.

Для цього перейшовши до розділу геометрії Geometry (рис.2.17) в проектній схемі Project Schematic, було запущено програму Design Modeler (рис.2.18).

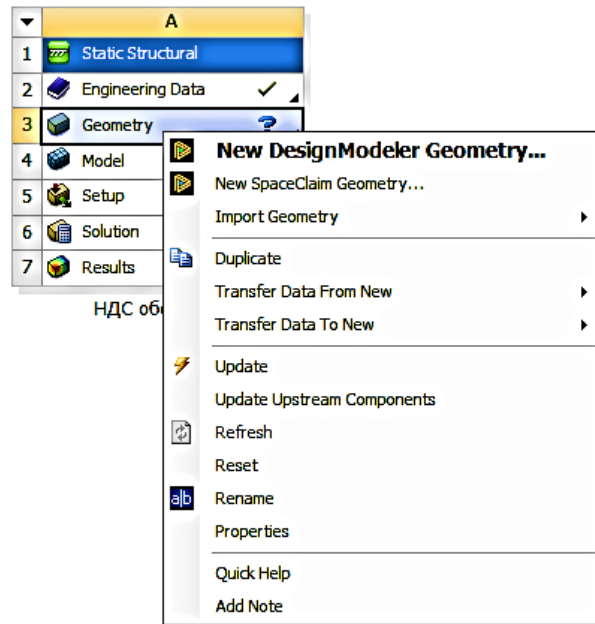


Рисунок 2.17 – Розділу геометрії Geometry

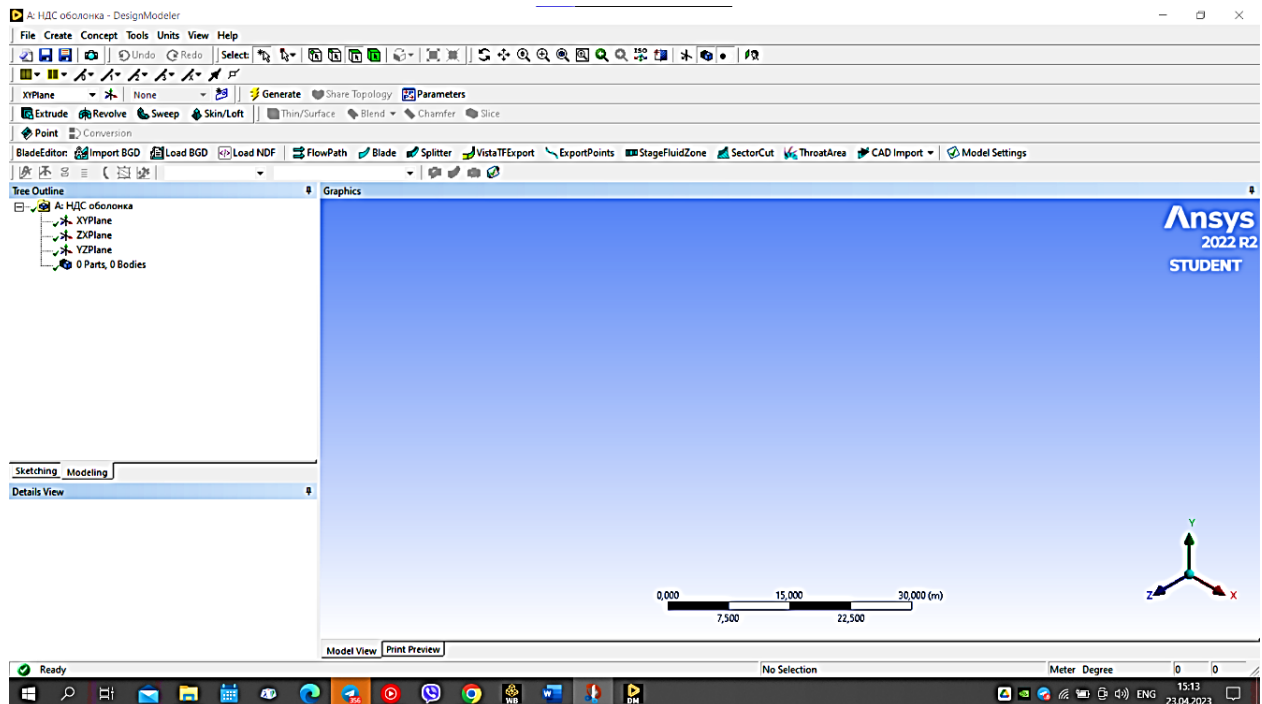


Рисунок 2.18 – Програмне забезпечення Design Modeler

При створенні тривимірної моделі оболонки, початок координатних осей був розташований в центрі фронтальної грани, причому вісь OZ спрямована вздовж оболонки, а вісь OY - по висоті перерізу оболонки .

За допомогою вкладки Sketching (рис. 2.19) та інструментів будуюмо геометрію оболонки в плоскості XYPlane. Усі інструменти та операції у вкладці Sketching забезпечують користувачам високий рівень контролю над геометрією об'єктів, що дозволяє створювати точні та деталізовані моделі.

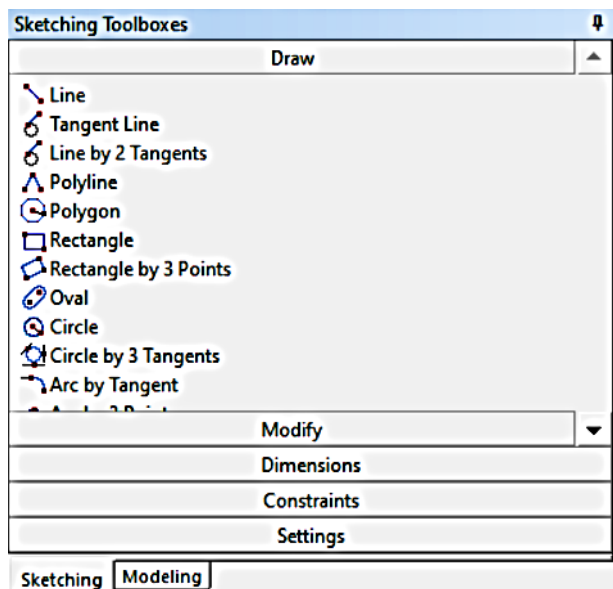


Рисунок 2.19 – Вкладка Sketching для створення геометрії об'єкта

Геометрія оболонки одинарної кривизни з стінами створена в геометричному редакторі Design Modeler (рис. 2.20).

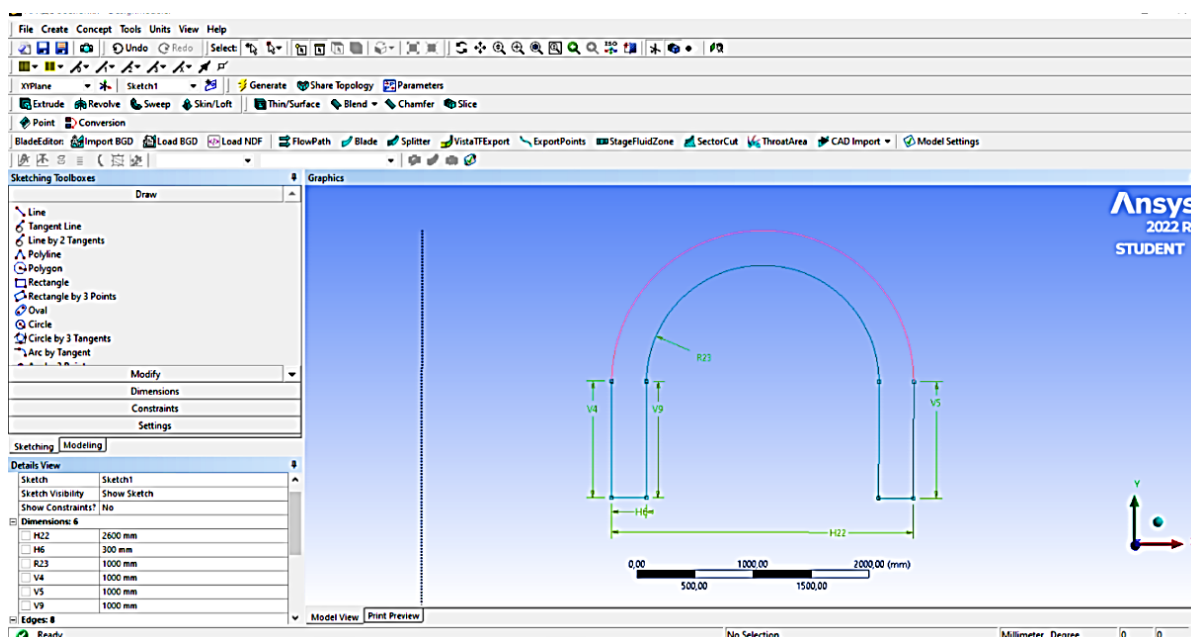


Рисунок 2.20 – Геометрія оболонки одинарної кривизни з стінами

За допомогою інструменту "Extrude" у програмі Design Modeler використовується для створення твердих тіл з двовірних фігур шляхом витягування їх у просторі вздовж певної осі. Користувач може задати довжину витягування та інші параметри. Цей інструмент є дуже потужним і дозволяє створювати складні геометрії твердих тіл з декількох скетчів, використовуючи опції злиття.

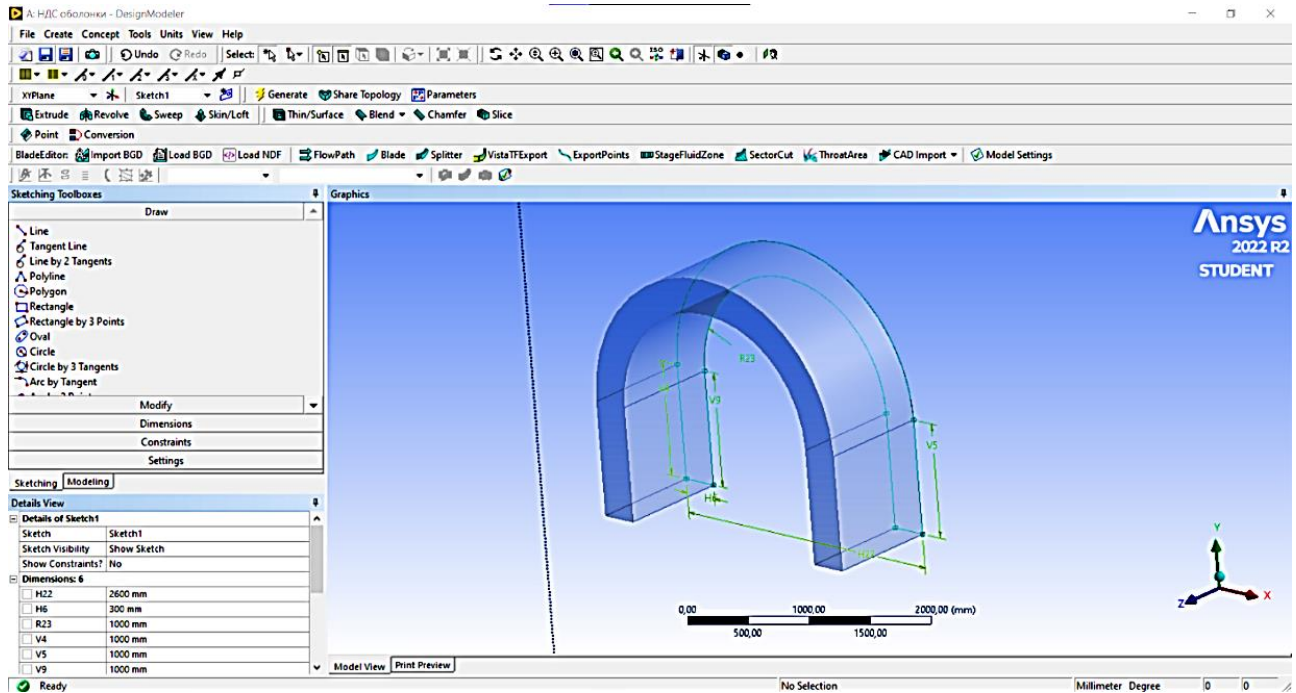


Рисунок 2.21 – Оболонка одинарної кривизни витягнута у просторі за допомогою інструмента Extrude

У Design Modeler для створення арматури можна скористатися інструментом "Create Curve" (створення кривої). Спочатку необхідно вибрати площину, на якій буде створюватися арматура. Потім необхідно відкрити вкладку "Sketching" і вибрати інструмент "Create Curve". За допомогою цього інструменту можна створити криву, яка буде служити для подальшого створення арматури.

Щоб створити криву, можна скористатися різноманітними інструментами, такими як "Line", "Arc", "Spline" і т.д. Після того, як крива буде створена, можна застосувати до неї інструмент "Extrude" (видавлювання) для того, щоб створити арматуру заданої форми та розміру.

У Design Modeler, для створення арматури можна використовувати різноманітні інструменти, наприклад:

- sketch: Спочатку можна створити скетчі, які відображають профілі арматури в плані та в ескізі. Для цього використовуються інструменти Sketching, що дозволяють малювати геометричні фігури та змінювати їх параметри;
- extrude: Після того, як скетчі створено, їх можна об'єднати та витягти у 3D-простір з використанням інструменту Extrude. Це дозволяє створити арматуру з потрібною довжиною та параметрами;
- revolve: Якщо арматура має круглий профіль, її можна створити за допомогою інструменту Revolve. Даний інструмент дозволяє обертати скетч навколо осі та створювати круглі фігури;
- sweep: Іншим інструментом, який можна використати для створення арматури, є Sweep. Він дозволяє створювати арматуру, що має складнішу форму, за допомогою переміщення скетча вздовж траєкторії.

Загалом, Design Modeler надає широкі можливості для створення арматури та її редагування. Вибір конкретного інструменту залежить від форми арматури та призначення моделі.

Для створення арматури для оболонки, спочатку необхідно визначити потрібну кількість та розташування сталевих арматурних виробів (стержнів, стрижнів тощо) в конструкції. Враховуючи вимоги до міцності та стійкості, вибирають діаметри та типи арматури.

За допомогою вище перелічених способів створюємо арматуру. Армування стін приймаємо конструктивно.

Стіна шириною 0,3 м, висота та довжина 1 м.

Для захисту сталевих арматурних виробів від корозії застосовується захисний шар бетону товщиною 35 мм. Захисний шар бетону служить для запобігання проникненню вологи та інших шкідливих речовин до арматури, що можуть спричинити корозію. Він також забезпечує додаткову міцність та стабільність конструкції.

Для армування використовувалась арматурна сітка Ø 12 A400C з кроком 0,2 м по горизонталі та вертикалі, яка була з'єднана одиночними вертикальними стержнями Ø 8 A240C з кроком 0,4 м.

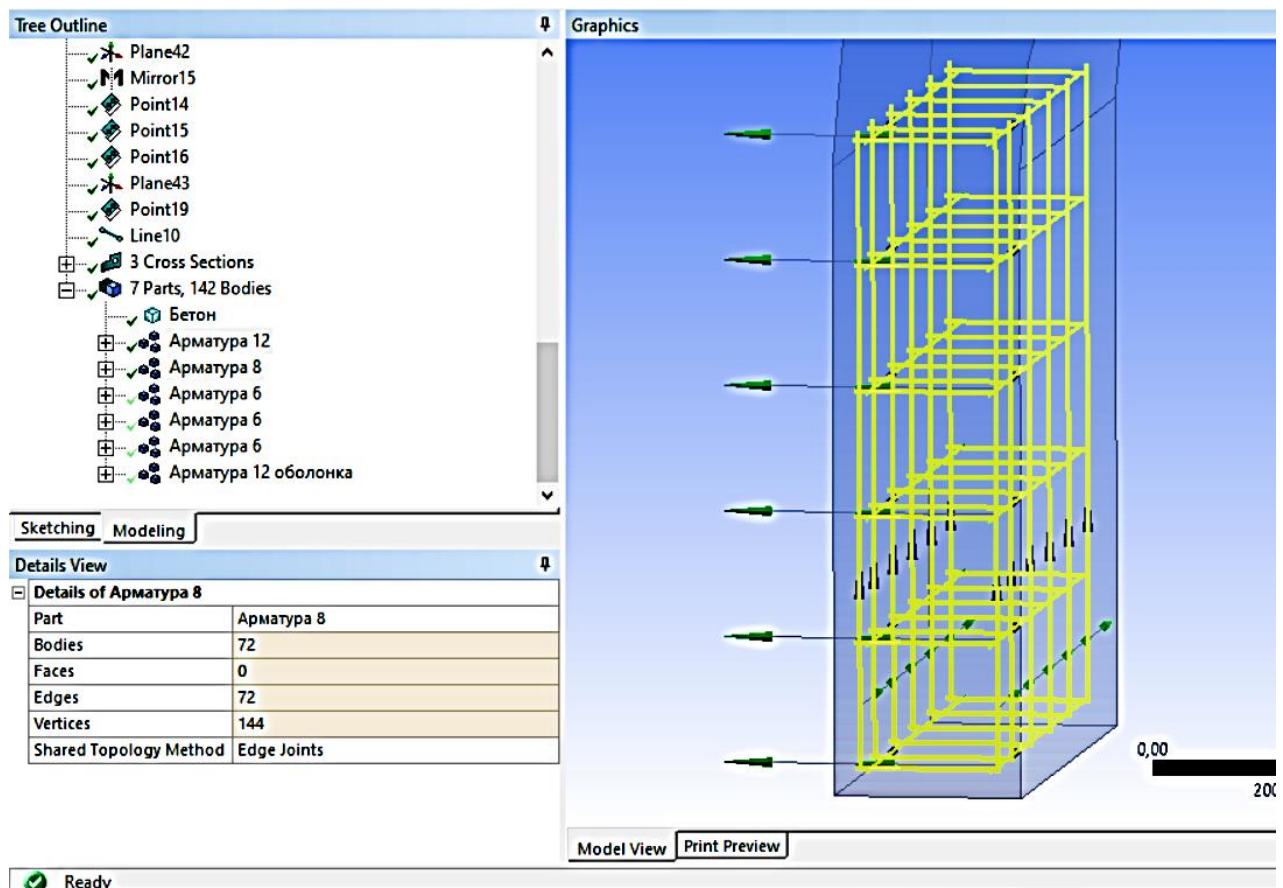


Рисунок 2.21 – Армування стін в програмному середовищі Design Modeler

За допомогою вище перелічених способів створюємо арматуру для оболонки. Для захисту сталеві арматури від корозії застосовується захисний шар бетону товщиною 35 мм. Захисний шар бетону служить для запобігання проникненню води та інших шкідливих речовин до арматури, що можуть спричинити корозію. Він також забезпечує додаткову міцність та стабільність конструкції.

Для армування нижньої зони оболонки використовується повздовжня арматура $\varnothing 12$ A400C з кроком 0,2 м. Повздовжня арматура розташовується паралельно осі оболонки і служить для забезпечення міцності в напрямку довжини конструкції.

Для поперечної арматури використовується стержень з діаметром $\varnothing 6$ A240C. Поперечна арматура розташовується перпендикулярно до повздовжньої арматури і служить для забезпечення міцності в напрямку поперечних навантажень.

У верхній зоні оболонки застосовується повздовжня арматура $\varnothing 12$ A400C з кроком 0,2 м, а поперек - арматура $\varnothing 6$ A240C з кроком 0,2 м.

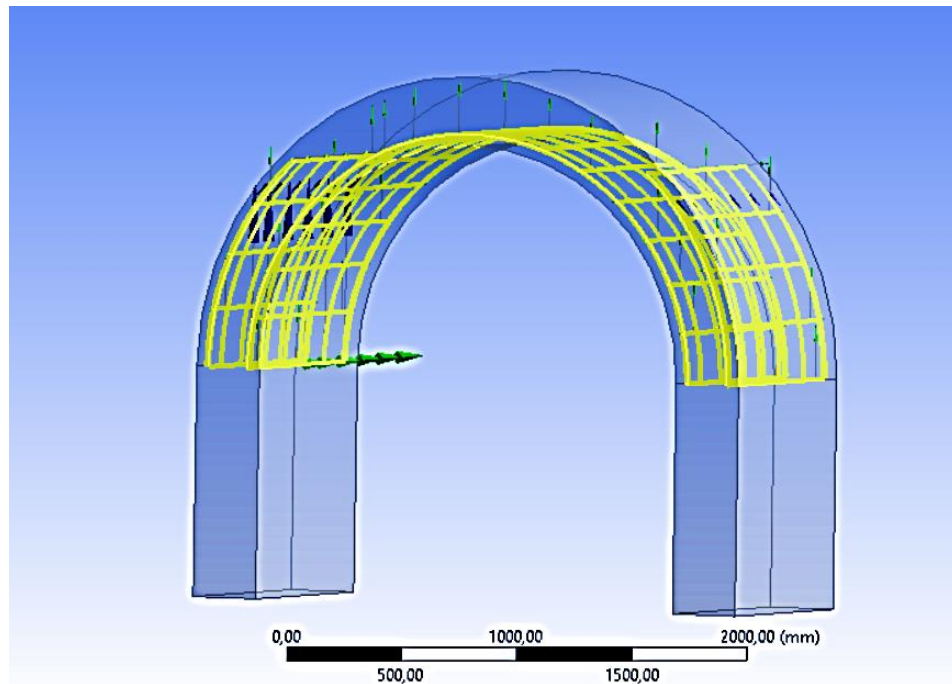


Рисунок 2.22 – Армування оболонки в програмному середовищі Design Modeler

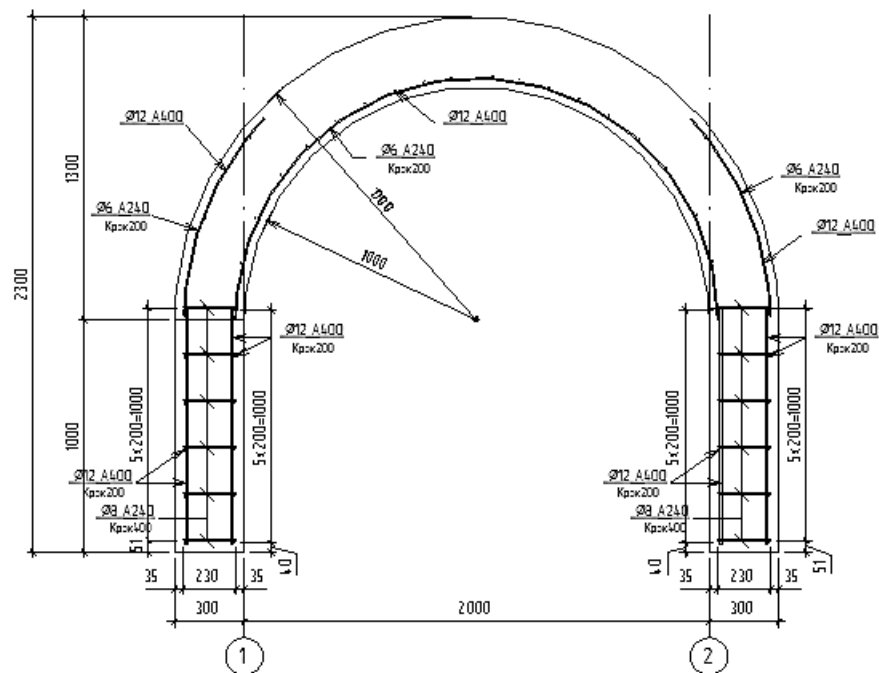


Рисунок 2.23 – Арматурний розріз оболонки одинарної кривизни зі стінами

У конструкції оболонки арматура використовується для підвищення її міцності та жорсткості. Зазвичай арматура розміщується на зовнішній стороні

оболонки, вбудовуючи її в бетонну структуру. Для створення арматури в Design Modeler необхідно використати інструмент "Розробка сітки" (Meshing Tool).

Після створення оболонки, необхідно обрати опцію "Mesh" на панелі інструментів і вибрати розмір елементів. Потім можна вибрати опцію "Insert" і додати елементи арматури в оболонку. Обережно розміщуйте арматуру, щоб забезпечити максимальну міцність та стійкість конструкції.

2.6 Процес створення моделі оболонки з одинарною кривизною для подальшого проведення розрахунку

Для побудови моделі оболонки з одинарною кривизною використовувалась програма ANSYS Mechanical Enterprise (рис. 2.24).

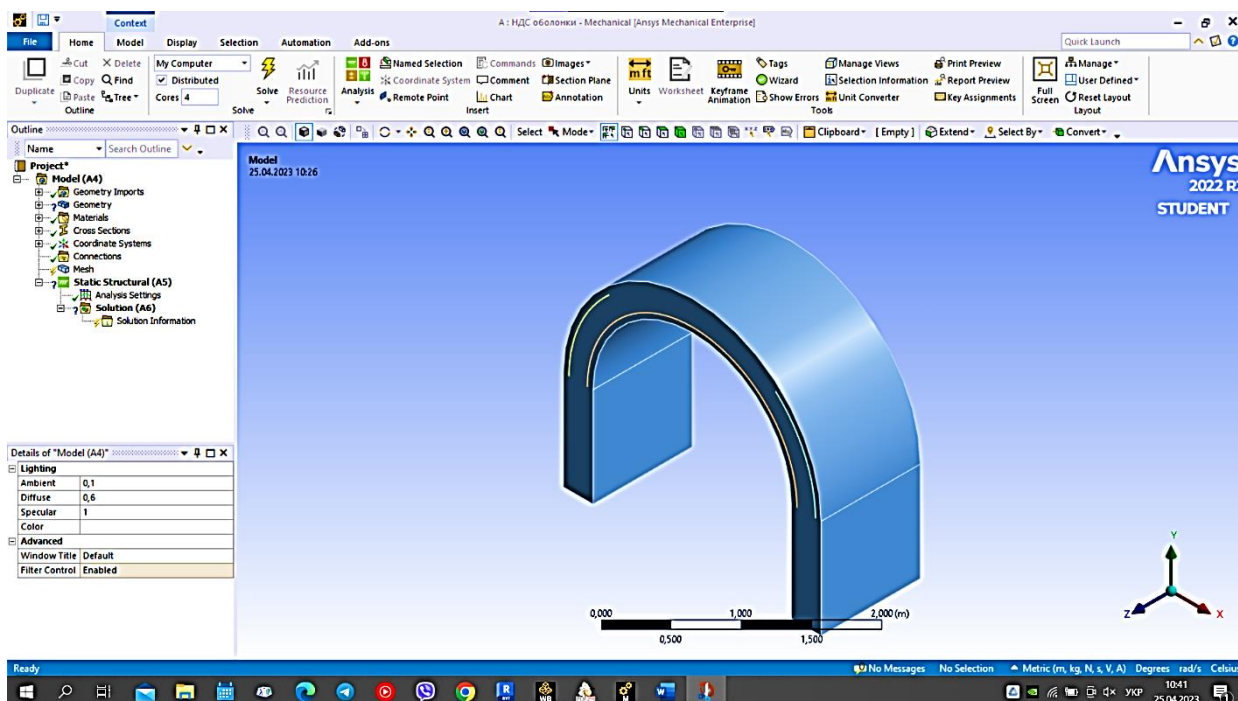


Рисунок 2.24 – Вікно ПК ANSYS Mechanical Enterprise

ANSYS Mechanical Enterprise є програмним комплексом для чисельного моделювання і аналізу механічних систем та конструкцій. Він включає в себе різноманітні модулі для проведення різних видів аналізу, таких як статичний, динамічний, термічний, електромагнітний та інші. Крім того, у програмному

комплексі є інструменти для побудови геометрії, налаштування параметрів моделей та візуалізації результатів аналізу.

Він дозволяє моделювати різноманітні фізичні процеси, такі як механічні напруження, деформації, вібрації, термічні ефекти, електромагнітні поля тощо. Крім того, ANSYS Mechanical Enterprise має можливість інтеграції з іншими програмними продуктами ANSYS, такими як Fluent, CFX, DesignModeler, SpaceClaim та інші.

Для надання кожному об'ємному елементу відповідних характеристик у ANSYS Mechanical Enterprise використовується вікно розгалужень Outline (рис. 2.25), в якому в гілці Geometry обирається потрібне геометричне тіло. Потім у вікні Details of "Бетон" задається відповідний матеріал в рядку Assignment (рис. 2.25).

ANSYS Mechanical Enterprise Assignment (присвоєння в ANSYS Mechanical Enterprise) - це процес налаштування та виконання складних аналітичних розрахунків в середовищі ANSYS Mechanical Enterprise.

Це може включати налаштування моделі, задання властивостей матеріалів, створення сітки, налаштування умов меж та визначення необхідних навантажень та моментів.

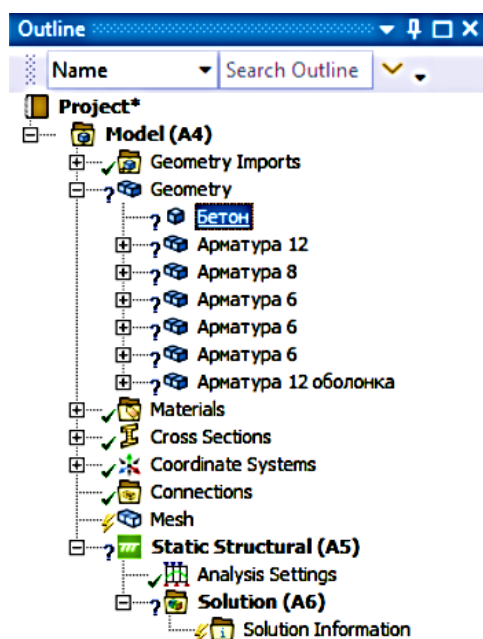


Рисунок 2.25 – Вікно розгалужень Outline

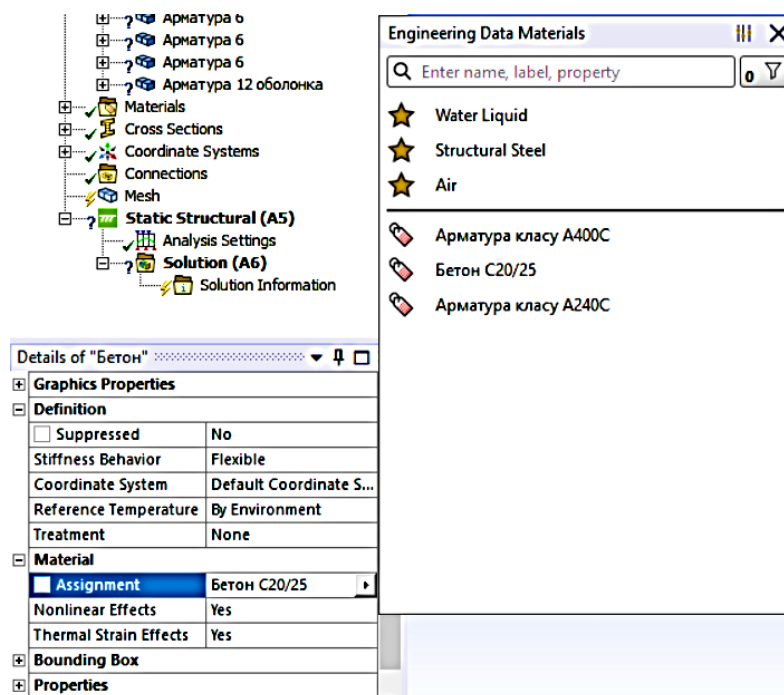


Рисунок 2.26 – Задання відповідного матеріалу для бетону в рядку Assignment

Потім у вікні Details of "Арматура 12" задається відповідний матеріал в рядку Assignment (рис. 2.27).

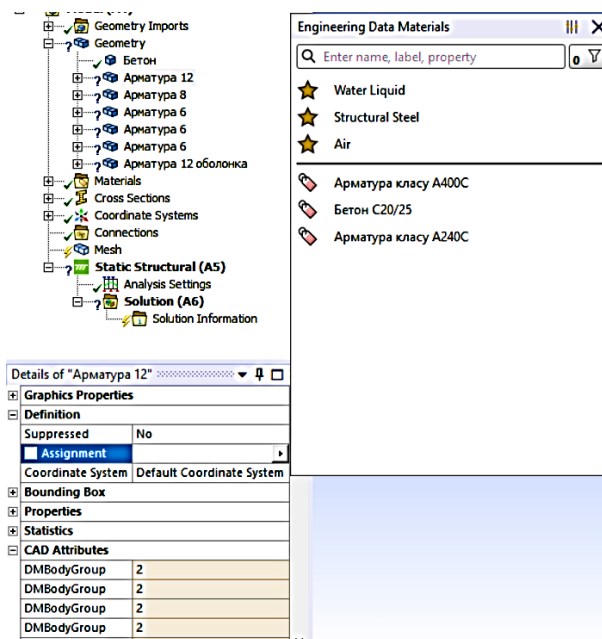


Рисунок 2.27 – Задання відповідного матеріалу для арматури в рядку Assignment

Аналогічно задаємо відповідний матеріал для кожного об'єкта.

Mesh в ANSYS - це процес поділу геометричного об'єкту на більш прості складові частини, які називаються елементами скінченних розрахунків (Finite Element Analysis - FEA). Цей процес є важливим для чисельного моделювання і дозволяє описати поведінку структури за допомогою математичних рівнянь та алгоритмів. ANSYS Mesh забезпечує користувачам можливість визначення розміру елементів та їх типу для різних областей моделі, щоб забезпечити оптимальну точність та швидкість розрахунку. У ANSYS Mesh можна виконувати як автоматичний, так і ручний процес побудови скінченно-елементної моделі.

При моделюванні динаміки, особливо при ударних навантаженнях, важливо мати достатньо дрібну сітку для точного відтворення деталей деформації. Також, в динамічних задачах важливо враховувати дії амплітудного навантаження на скінченні елементи, щоб запобігти перевантаженню моделі і зниженню точності результатів.

Для побудови чисельної моделі відповідної оболонки було визначено поділ об'ємних тіл на скінченні елементи в гілці Mesh (рис. 2.28).

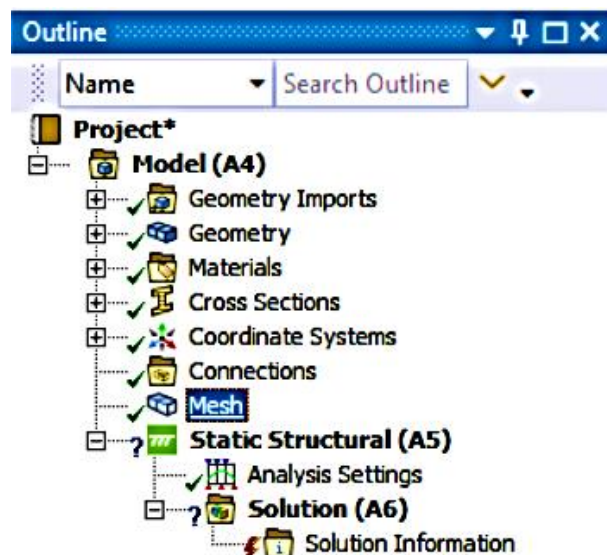


Рисунок 2.28 – Вікно розгалужень Mesh

У даному випадку, бетонний елемент був поділений програмою (рис. 2.29), а арматурні стержні були поділені вздовж з кроком 25 мм (рис. 2.30).

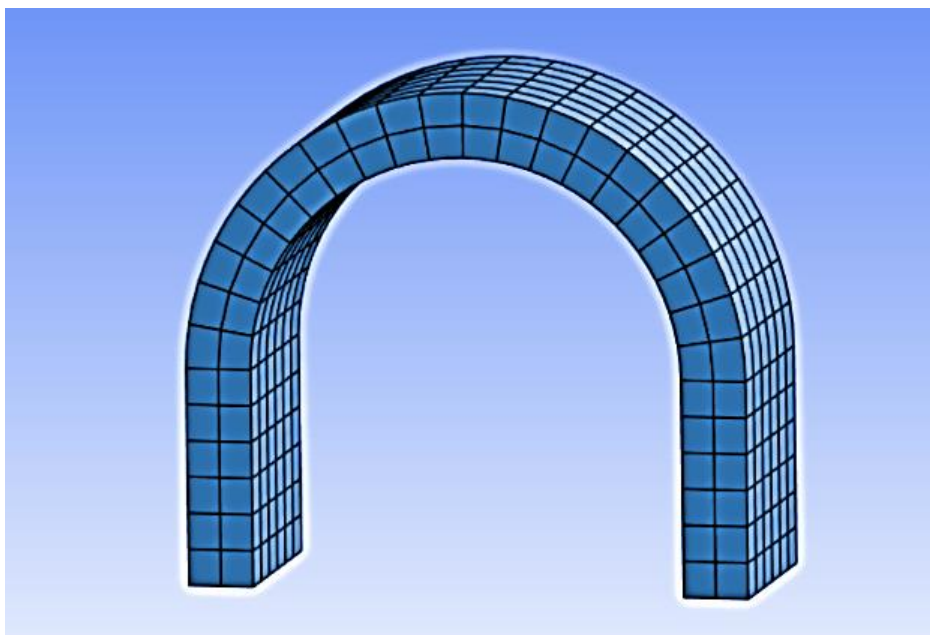


Рисунок 2.29 – Поділ тіла бетону міцності С20/25 на скінченні елементи

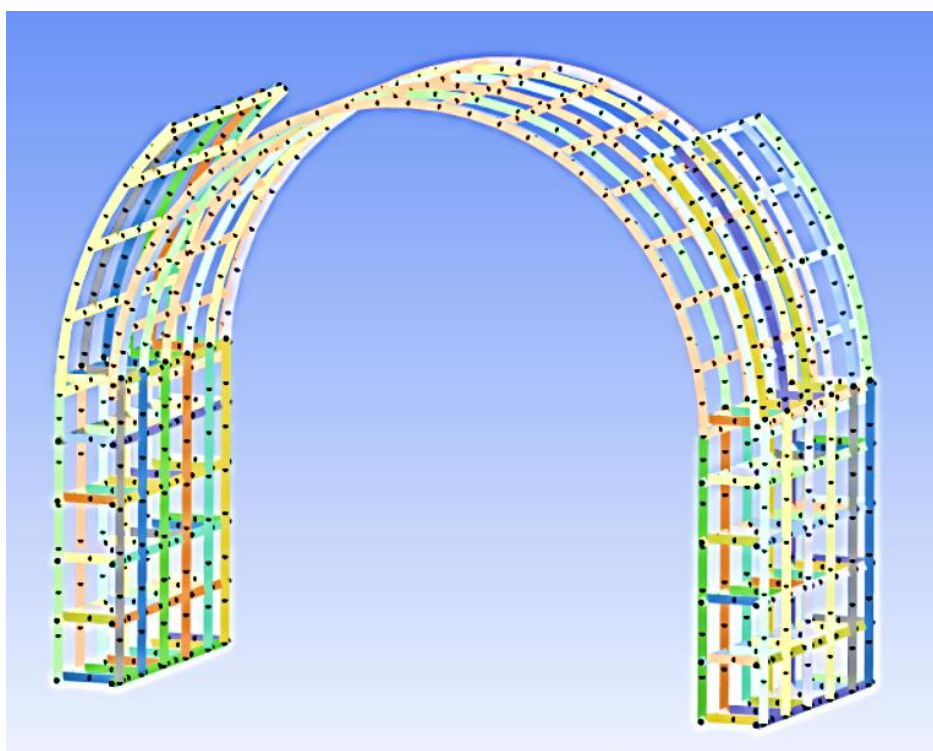


Рисунок 2.30 – Поділ тіла арматури класу А400С та А240С на скінченні елементи

Формула (2.4) для визначення ударної сили, що виникає при попаданні снаряду, може бути визначена за допомогою закону збереження енергії. Маса

снаряду $m=390$ г , його швидкість перед ударом $v_c = 960$ м/с та відносна величина зменшення швидкості після удару (e), то ударна сила (F):

$$F = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_c^2 \cdot e \quad (2.4);$$

де $\frac{1}{2}$ - це коефіцієнт зв'язку між кінетичною енергією і масою;

m - маса снаряду;

v_c - швидкість снаряду перед ударом;

e - відносна величина зменшення швидкості після удару, 0,5.

Ударна сила, яка була визначена, представлена у формулі (2.5).

$$F = \frac{1}{2} \cdot 0,39 \cdot 960^2 \cdot 0,5 = 89856 \text{ Н} \quad (2.5);$$

Ця формула дозволяє оцінити силу, що виникає при попаданні снаряду, що може бути використана для подальших розрахунків. Проте, варто зазначити, що реальна ударна сила може бути значно вищою або нижчою, оскільки вона залежить від багатьох факторів. Була створена модель (див. Рис. 2.31), з заданими навантаженнями та переміщеннями.

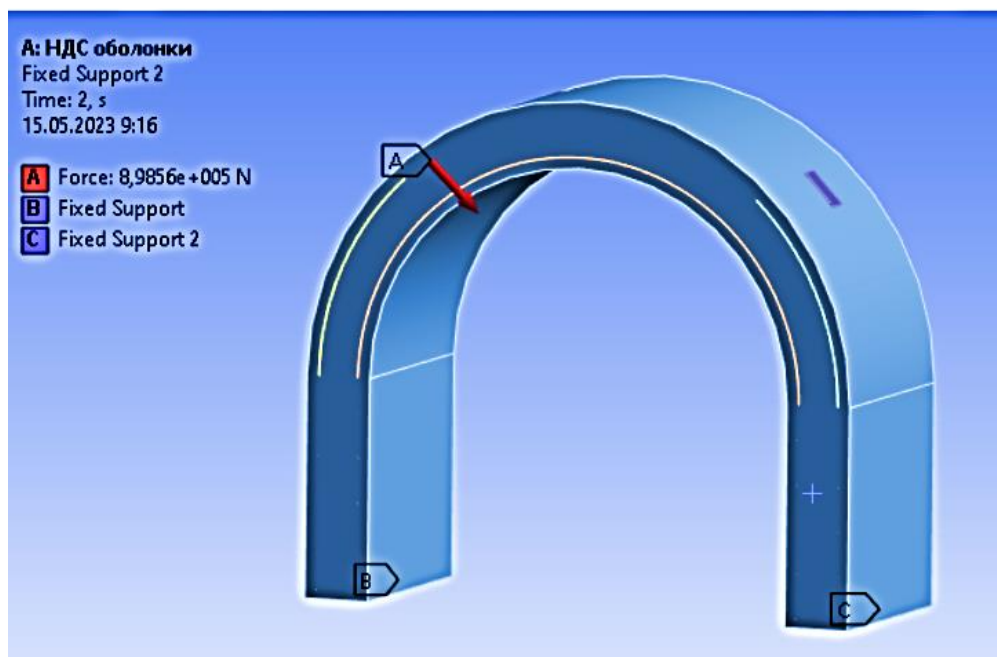


Рисунок 2.31 – Розрахункова схема

2.7 Висновки по розділу 2

У другому розділі розглянуто метод створення оболонки одинарної кривизни за допомогою програмного забезпечення ПК ANSYS 2022 R2. З наступними розмірами: ширина $L_1=2,6$ м; проліт $L_2=2$ м; довжина $B=1$ м; висотою $H=2,3$ м та $H_1=2$ м; радіус оболонки $R_1=1$ м $R_2=1,3$ м; Висота стіни $H_2=1$ м; товщина стін $t=0,3$ м. Клас бетону C20/25, армування виконано з класу арматури A400C та A240C.

Описано метод задання нелінійної поведінки бетону на стиск та створено характеристики арматури.

Описаний крок задання параметрів матеріалів навантаження та створення скінчених елементів Для моделювання була створена математична модель з використанням скінчених елементів.

На підставі проведеного аналізу досліджень можна зробити висновок про те, що створення скінчених елементів оболонки в Design Modeler є досить простим та ефективним процесом. Даний інструмент дозволяє створювати оболонки різної форми та складності, враховуючи різні види навантажень та умов експлуатації. При цьому, важливо правильно визначити параметри матеріалів та умови задачі, щоб отримати достовірні результати моделювання. Дані скінчені елементи можна використовувати для дослідження поведінки оболонок під різними видами навантажень та в умовах різних середовищ.

Необхідність створення скінчених елементів оболонки у Static Structural полягає у тому, щоб мати можливість моделювати поведінку оболонки під дією різних навантажень, таких як удар. Для ефективного моделювання поведінки оболонки у Static Structural необхідно також детально вивчити параметри та властивості матеріалів, які будуть використовуватись у моделі, та забезпечити правильну настройку параметрів симуляції.

РОЗДІЛ 3

НАПРУЖЕНО ДЕФОРАЦІЙНИЙ СТАН ОБОЛОНКИ ОДИНАРНОЇ КРИВИЗНИ

Було проведено аналіз напружено-деформованого стану оболонки одинарної кривизни, щоб конструкція витримала безпосереднє попадання снаряду ОФЗ калібру 30 мм від БМП-2 з вагою $m=390$ г та початковою швидкістю $v_c = 960$ м/с. Головна частина патрону має висоту $H_r = 45,6$ мм.

3.1 Аналіз деформацій та переміщень

Проведено дослідження переміщень і деформацій з метою аналізу поведінки оболонки.

Total Deformation в контексті структурного аналізу або аналізу скінченних елементів (FEA) означає загальне зміщення або деформацію конструкції або об'єкта під дією прикладених навантажень (рис 3.1).

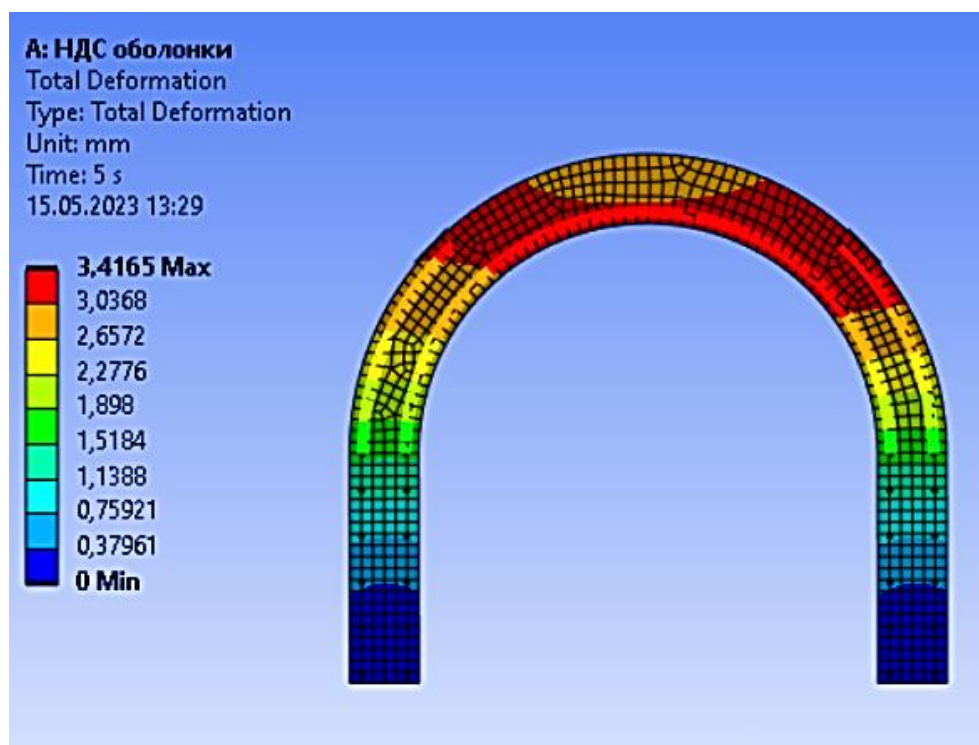


Рисунок 3.1 – Деформація конструкції оболонки з бетону класу С20/25

Після аналізу деформацій бетону в конструкції оболонки, виявлено, що прогини в місці прикладання незначні. Детальні результати прогинів елементів після 5-секундного періоду наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати деформації конструкції оболонки з бетону класу C20/25 за період часу 5 с

Час, с	Мінімум, мм	Максимум, мм	Середнє, мм
1	0	0,68618	0,39571
2		1,3692	0,79135
3,5		2,3927	1,3851
5		3,4165	1,9793

Графічне зображення зміни деформації конструкції оболонки наведено на рисунку 3.2.

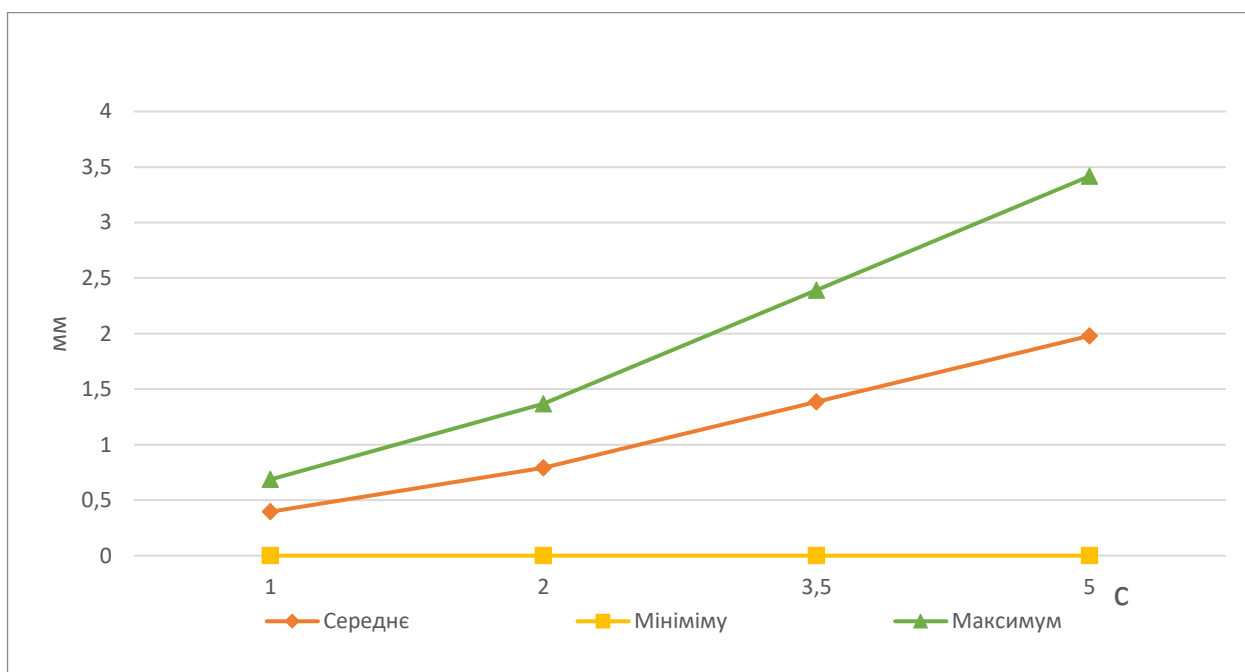


Рисунок 3.2 – Діаграма зміни деформації конструкції оболонки з бетону класу C20/25

Directional Deformation (x Axis) означає деформацію або зміщення вздовж осі x конструкції або об'єкта під дією прикладених навантажень. Він спеціально вимірює деформацію в напрямку, паралельному осі x.

На рисунку 3.3 показано зміщення вздовж осі x в оболонці з бетону класу C20/25 максимальному навантаженні на оболонку 900 кН.

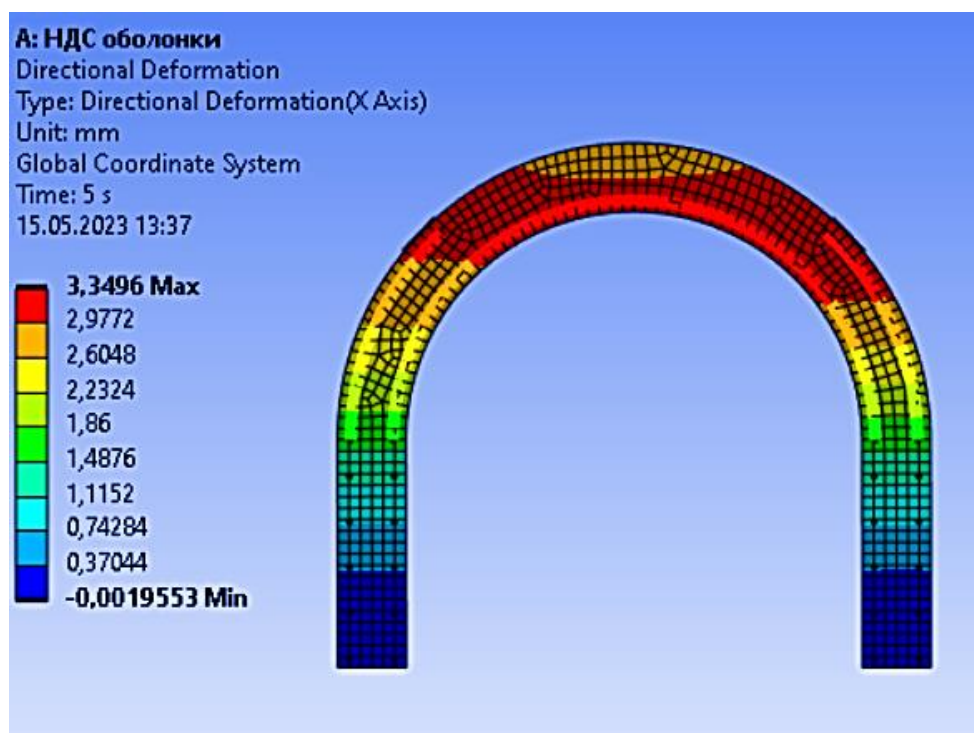


Рисунок 3.3 – Зміщення вздовж осі x в оболонці з бетону класу C20/25

Таблиця 3.2 – Зміщення вздовж осі x оболонки з бетону класу C20/25 за період часу 5 с

Час, с	Мінімум, мм	Максимум, мм	Середнє, мм
1	-3,9105e-004	0,67263	0,39117
2	-7,8181e-004	1,3423	0,78229
3,5	-1,3683e-003	2,346	1,3692
5	-1,9553e-003	3,3496	1,9566

Графічне зображення зміни деформації конструкції оболонки наведено на рисунку 3.4.

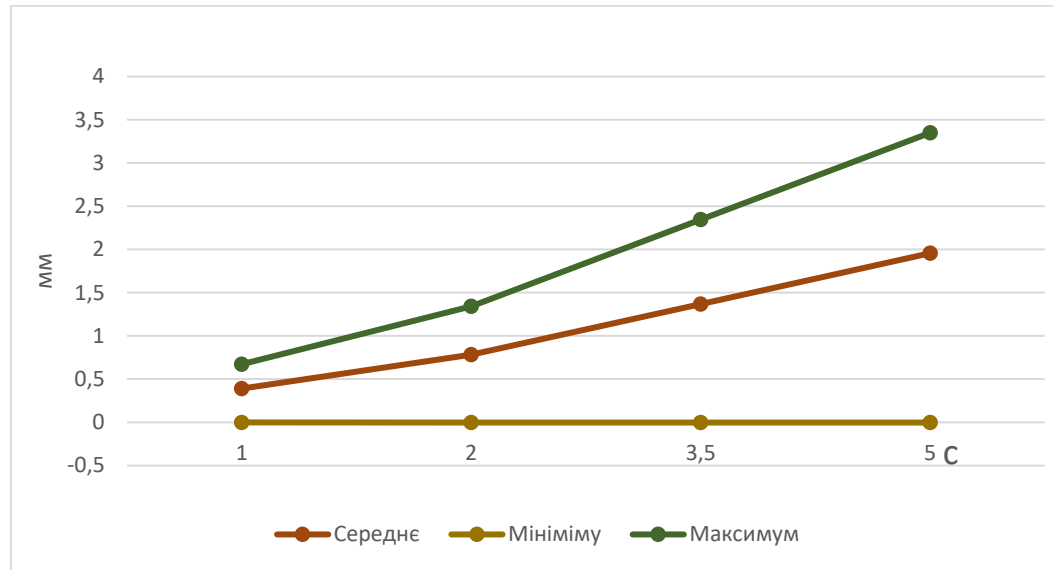


Рисунок 3.4 – Діаграма зміщення вздовж осі x в оболонці з бетону класу C20/25

Equivalent Elastic Strain є мірою величини деформації або деформації матеріалу в умовах пружності. Він розраховується на основі основних деформацій або напружень у матеріалі.

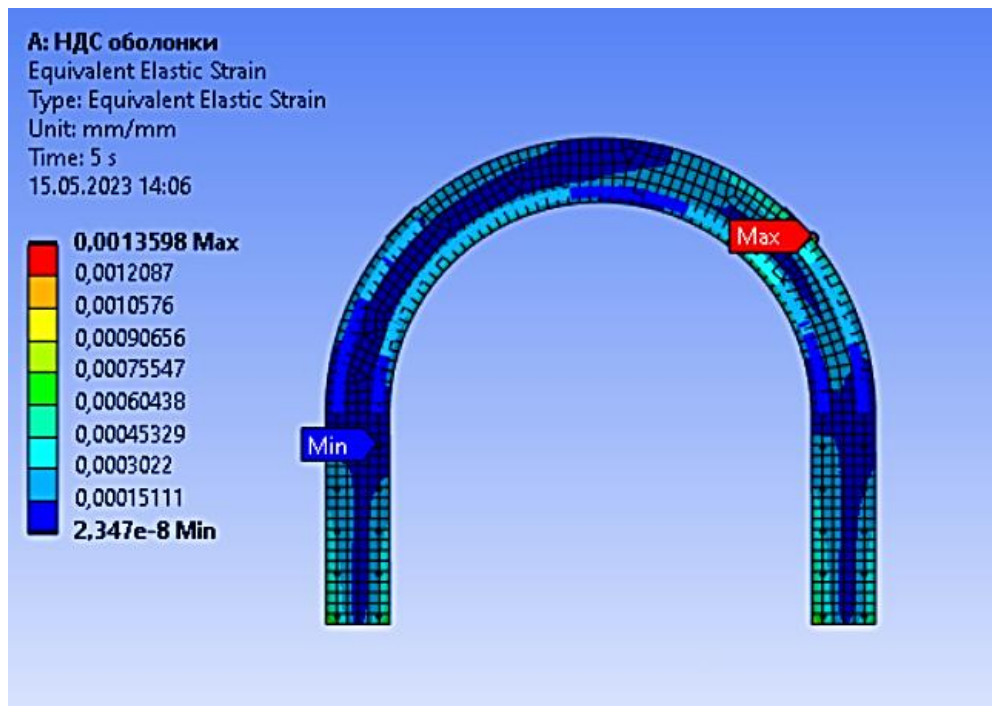


Рисунок 3.5 – Деформації матеріалу в умовах пружності в оболонки з бетону класу C20/25

Таблиця 3.3 – Деформації матеріалу в умовах пружності в оболонці з бетону класу C20/25 за період часу 5 с

Час, с	Мінімум, мм/мм	Максимум, мм/мм	Середнє, мм/мм
1	4,6952e-009	1,922e-004	3,8112e-005
2	9,3884e-009	4,4485e-004	7,6236e-005
3,5	1,6428e-008	8,8607e-004	1,3349e-004
5	2,347e-008	1,3598e-003	1,9082e-004

На основі даних, наведених у таблиці 3.3, ми побудуємо діаграму деформацій матеріалу після 5-секундного періоду (рис 3.6).

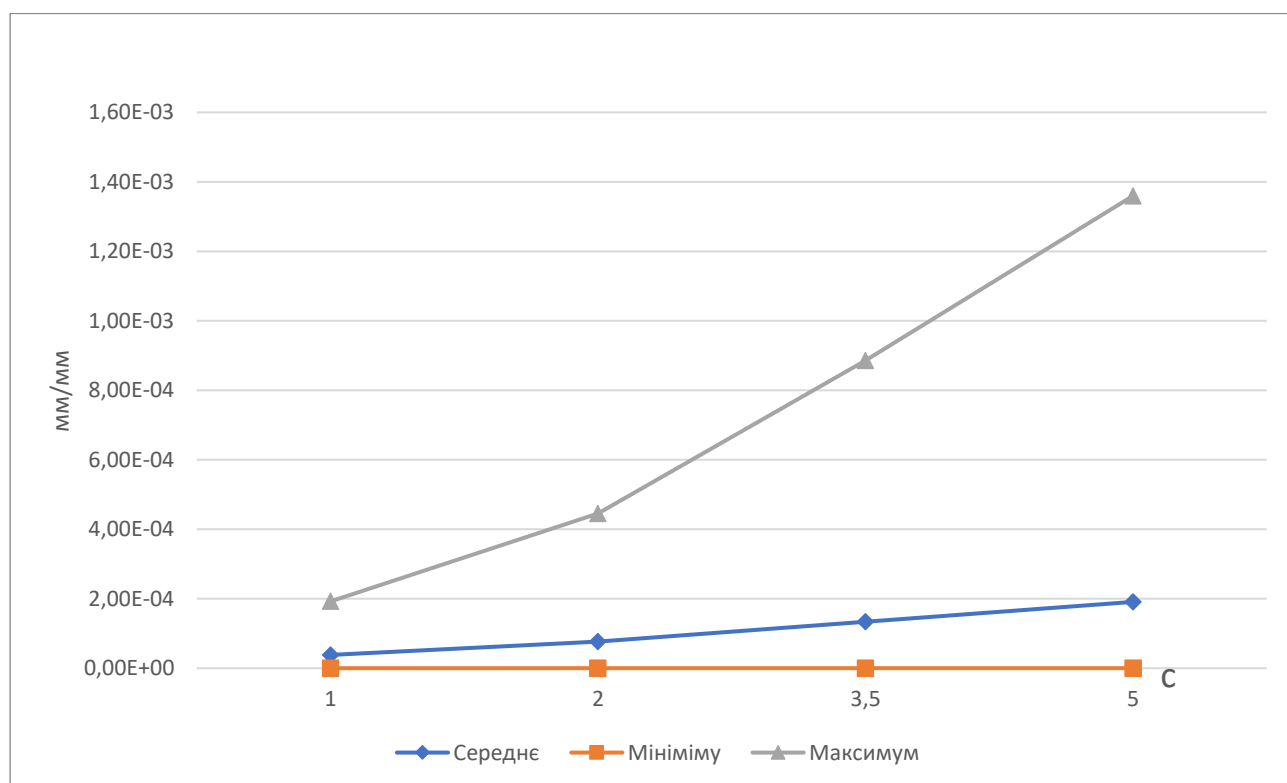


Рисунок 3.6 – Діаграма деформації матеріалу в умовах пружності оболонки з бетону класу C20/25

Нормальна пружна деформація відноситься до компонента пружної деформації, яка виникає в нормальному напрямку до визначеної площини або поверхні. Він являє собою оборотну деформацію або подовження матеріалу в напрямку, перпендикулярному до прикладеної напруги (рис 3.7).

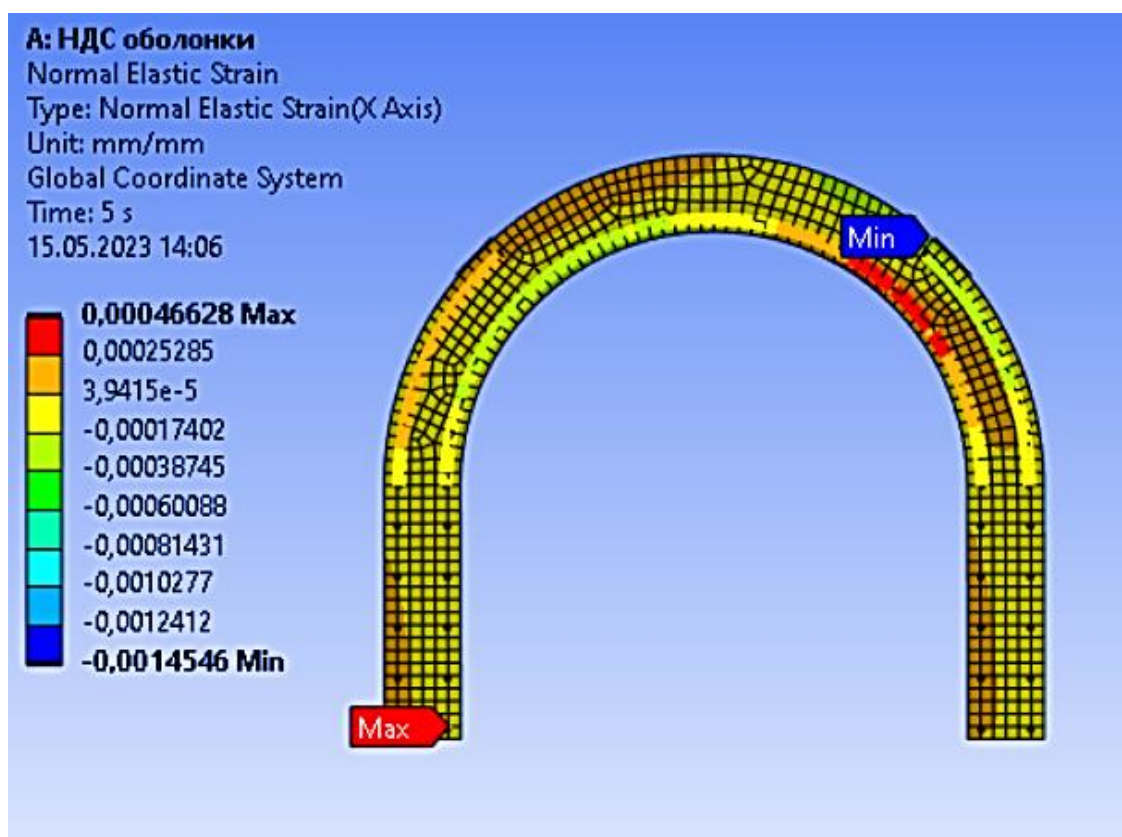


Рисунок 3.7 – Нормальна пружна деформація в оболонці з бетону класу C20/25

Таблиця 3.4 – Нормальна пружна деформація в оболонці з бетону класу C20/25 за період часу 5 с

Час, с	Мінімум, мм/мм	Максимум, мм/мм	Середнє, мм/мм
1	-2,2413e-004	9,321e-005	-1,3021e-006
2	-4,9642e-004	1,8642e-004	-2,6033e-006
3,5	-9,6242e-004	3,263e-004	-4,5499e-006
5	-1,4546e-003	4,6628e-004	-6,4892e-006

Графічне зображення нормальні пружні деформації оболонки наведено на рисунку 3.8.

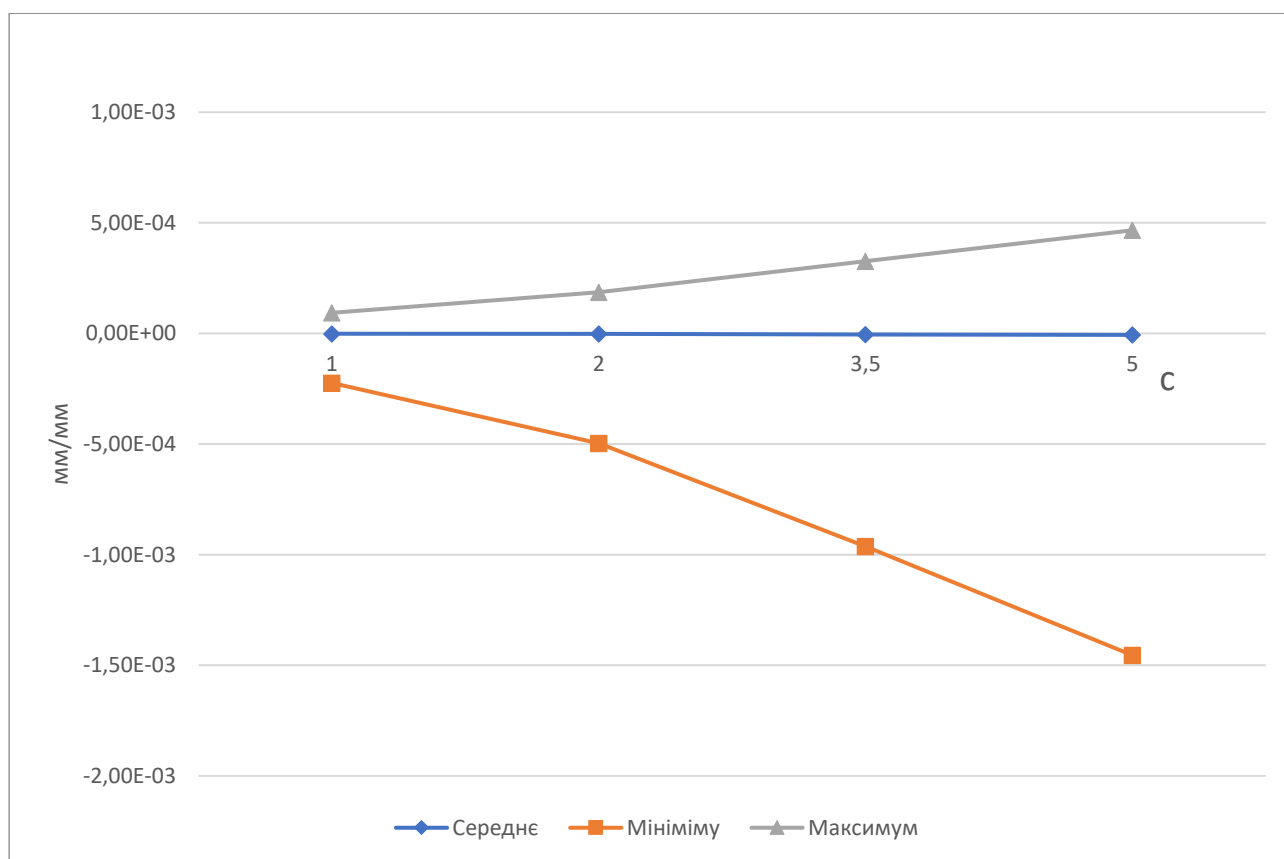


Рисунок 3.8 – Діаграма деформації матеріалу в умовах пружності оболонки з бетону класу C20/25

3.2 Аналіз напруженого стану

Equivalent Stress - це параметр, що використовується для характеристики напруженого стану матеріалу в певній точці. Воно враховує вплив різних компонентів напружень на загальну інтенсивність напруження в цій точці. Еквівалентне напруження використовується для оцінки міцності матеріалу і порівняння його з межею міцності матеріалу.

Необхідно враховувати, що оболонки можуть мати особливості у своєму поведінці, такі як великі деформації або зміни товщини вздовж поверхні. Тому важливо враховувати всі ці фактори при моделюванні і обчисленні напруження в оболонці одинарної кривизни у ANSYS.

Еквівалентне напруження оболонки одинарної кривизни максимально сягають 118,9 МПа (рис. 3.9).

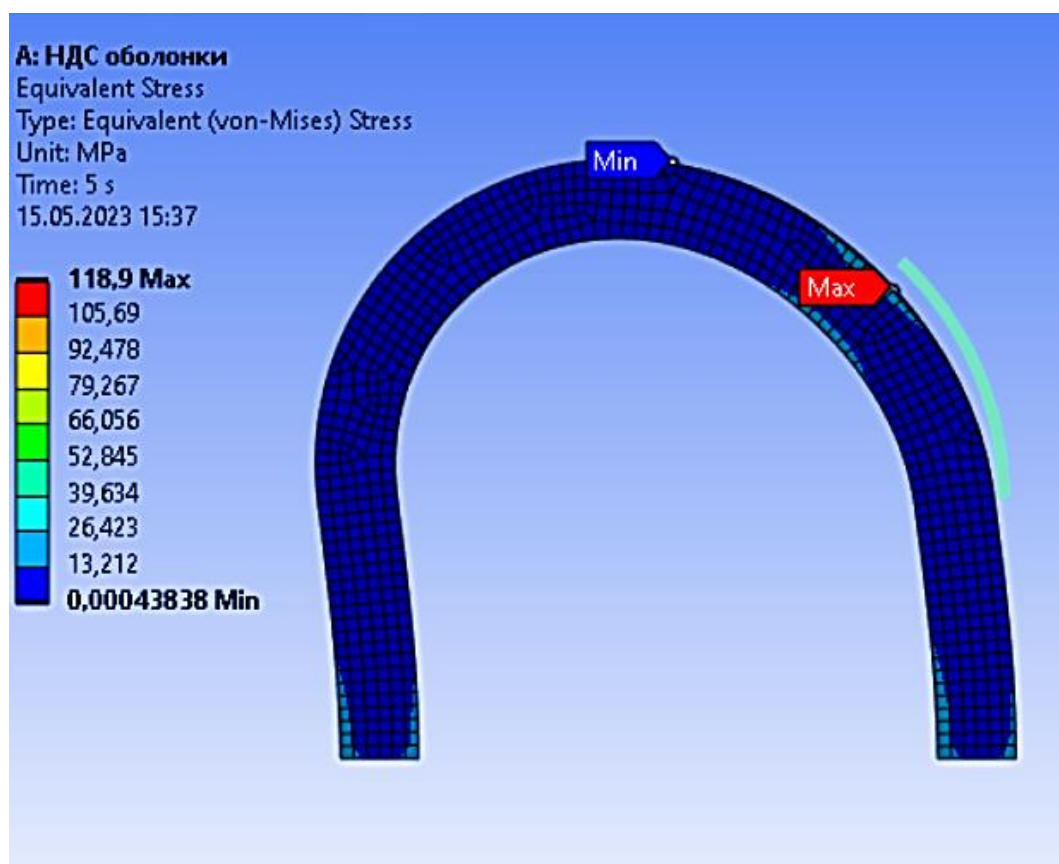


Рисунок 3.9 – Еквівалентне напруження в оболонці з бетону класу С20/25

В таблиці 3.5 наведені числові значення еквівалентних напружень, а на діаграмі (рис. 3.110) представлений графіки залежності еквівалентних напружень залізобетонної оболонки.

Таблиця 3.5 – Еквівалентне напруження в оболонці з бетону класу С20/25 за період часу 5 с

Час, с	Мінімум, МПа	Максимум, МПа	Середнє, МПа
1	1,2516e-004	23,761	1,4788
2	5,3432e-005	47,528	2,9601
3,5	3,5406e-004	83,2	5,1887
5	4,3838e-004	118,9	7,4227

На основі даних, наведених у таблиці 3.5, ми побудуємо діаграму деформацій матеріалу після 5-секундного періоду (рис 3.10).

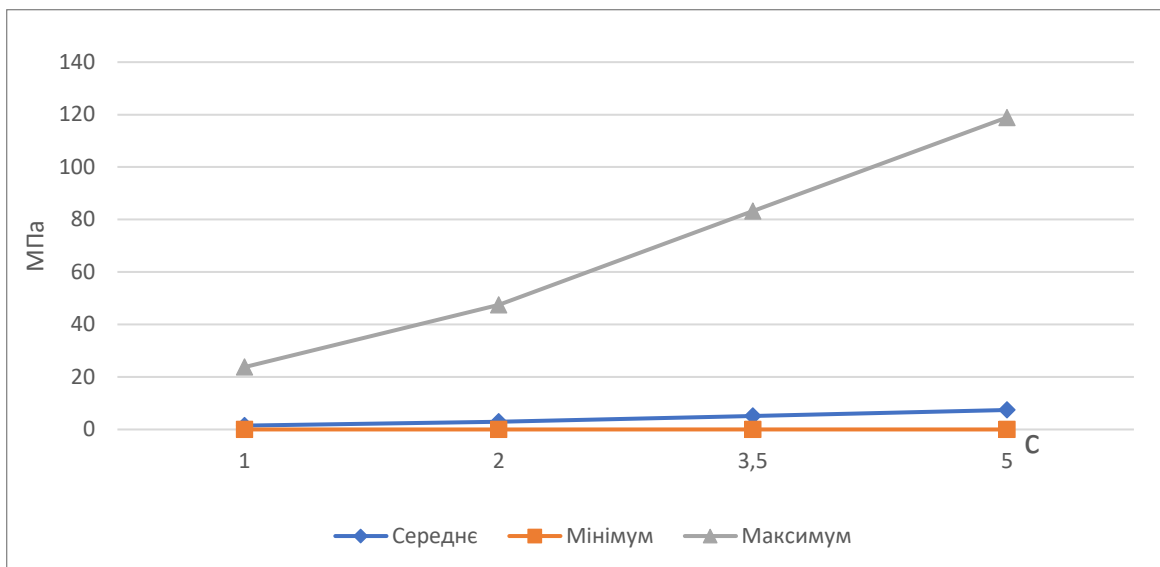


Рисунок 3.10 – Діаграма еквівалентне напруження в оболонки з бетону класу C20/25

Normal Stress відноситься до компонента напруги, який діє перпендикулярно до площі поперечного перерізу матеріалу або конструкції. Він являє собою розподіл сил або навантажень, прикладених у напрямку, перпендикулярному до поверхні (рис. 3.11).

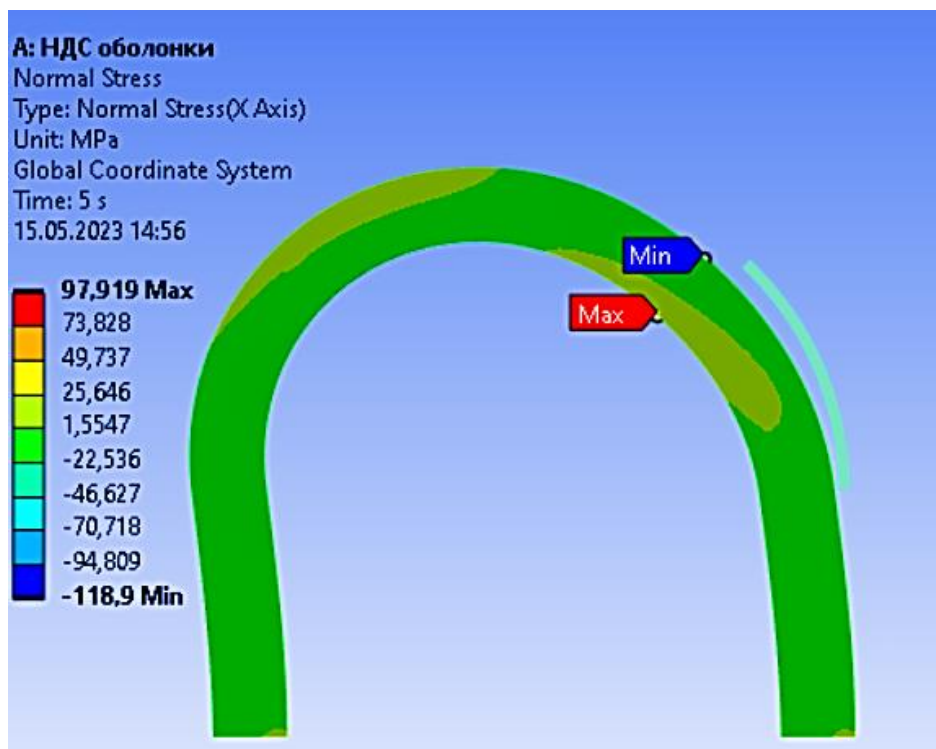


Рисунок 3.11 – Нормальне напруження в оболонці з бетону класу C20/25

Після напружень бетону в конструкції оболонки, виявлено, що нормальне напруження в місці прикладання є незначні. Детальні результати напружень елементів після 5-секундного періоду наведені в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 – Нормальне напруження в оболонці з бетону класу С20/25 за період часу 5 с

Час, с	Мінімум, МПа	Максимум, МПа	Середнє, МПа
1,	-23,761	19,574	-9,1362e-002
2,	-47,528	39,148	-0,18673
3,5	-83,2	68,522	-0,33236
5,	-118,9	97,919	-0,47927

Графічне зображення зміни нормальних напружень оболонки наведено на рисунку 3.12.

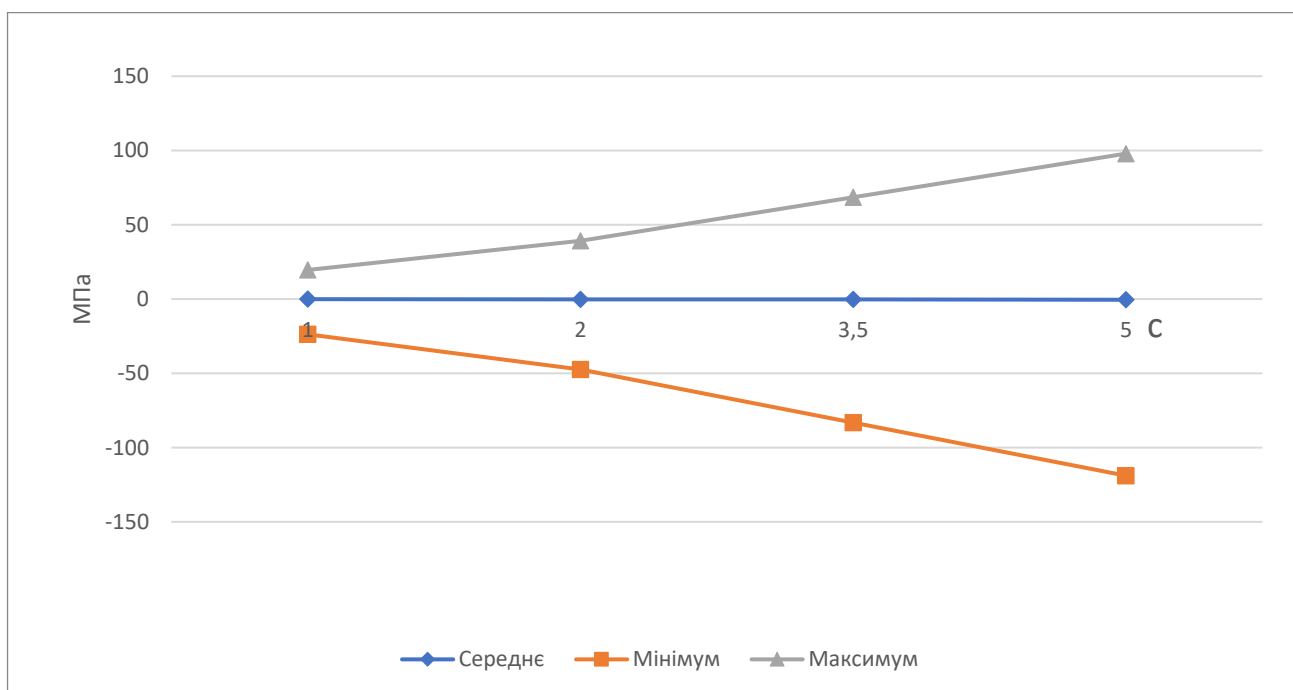


Рисунок 3.12 – Діаграма нормального напруження в оболонці з бетону класу С20/25

3.3 Висновки по розділу 3

Під час розрахунку оболонки одинарної кривизни в ANSYS, було визначено умови навантаження на оболонку, щоб конструкція витримала безпосереднє попадання снаряду ОФЗ калібру 30 мм від БМП-2.

Виконано розрахунок за допомогою модуля Static Structural в ANSYS, було виконано статичний аналіз оболонки, що дозволило визначити напруження, деформації і переміщення оболонки під впливом навантаження.

Отримані результати були проаналізовані для визначення стійкості і ефективності оболонки. Зроблено висновки про прогини, напруження і деформації оболонки.

Максимальний прогин оболонки становить 3,4165 мм, а деформації вздовж осі x складають 3,3496 мм. Деформації матеріалу в умовах пружності в оболонці з бетону класу С20/25 становлять 0,0004 мм/мм. Максимальне еквівалентне напруження досягає 118,9 МПа, а нормальне напруження становить 97,919 МПа.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1 Техніка безпеки та пожежна безпека на будівельному майданчику

Організація будівельного майданчика, ділянок робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Майданчик будівництва знаходиться в центрі міста, тому, щоб запобігти доступу сторонніх осіб, повинен бути огорожений.

Конструкція огороження повинна задовольняти вимоги: конструкція огороження повинна бути збірною-розбірною з уніфікованими елементами, з'єднаннями і деталями кріплення, висота захисних панелей з козирком становить 2,0 м, в панелях огороження відстань в просвіті (розрідженість) між деталями заповнення полотна панелей повинна бути в межах 80-100 мм, захисний козирок встановлюється по верху огороження з підйомом до горизонту під кутом 20° в сторону тротуару, панелі козирка повинні забезпечити перекриття тротуару і виходити за його край (зі сторони руху транспорту) на 50-100 мм.

Зони потенційно діючих небезпечних виробничих факторів повинні мати сигнальні огороження, які задовольняють вимоги: висота стійок сигнального огороження повинна бути 0,8 м, відстань між стійками не повинна перевищувати 6,0 м.

На будівельний майданчик влаштовані 1 в'їзд та 1 виїзд, тимчасові дороги шириною 6,0 м дозволяють рухатись автомобільному транспорту з під'їздом до всіх складів та вузлів.

При в'їздах на будівельний майданчик повинна бути встановлена схема руху транспортних засобів, а на обочинах доріг і проїздів – добре видимі дорожні знаки, що регламентують порядок руху транспортного засобу в відповідності з правилами дорожнього руху.

Швидкість руху автотранспорту поблизу місць виробництва робіт не повинна перевищувати 10 км/год на прямих ділянках і 5 км/год на поворотах.

На будівельному майданчику огороженні всі небезпечні зони (монтажна зона, зона дії крана).

Відкритий котлован, траншеї огородити захисним огороженням.

До монтажних робіт допускаються чергові люди, які пройшли медичний огляд та мають допуск до роботи на висоті.

Стропування вантажів проводять згідно технологічної карти, розстроповку вантажів та залізобетонних елементів проводять після їх закріплення.

Засоби риштування повинні мати рівні робочі настили з зазором між дошками не більше 5 мм, а при розміщенні настилу на висоті 1,3 м і більше – огороження і бортові елементи. З'єднання щитів настилів внапуск допускається тільки по їх довжині, при чому кінці елементів, що стикаються, повинні бути розміщені на опорі і перекривати її не менше ніж на 0,2 м в кожную сторону.

Риштування повинні бути прикріплені до стіни будинку, що будується.

При відсутності особливих вказівок в інструкції заводу-виготовлювача кріплення риштувань до стін будівлі повинно виконуватись не менше ніж через один ярус для крайніх точок, через два прольоти для верхнього яруса і одного кріплення на кожні 50 м² проекції поверхні риштувань на фасад будівлі.

Приміщення, в яких проводяться роботи з пиловидними матеріалами, а також робочі місця біля машин дроблення, просіювання цих матеріалів повинні бути забезпечені вентиляційними системами (привітрюванням).

На робочих місцях, де застосовуються або готуються клеї, мастики, фарби і інші матеріали, що виділяють вибухонебезпечні або шкідливі речовини, не допускаються дії з використанням відкритого вогню або іскри.

На території будівництва в місцях розташування тимчасових будівель, складів, майстерень встановлюються пожежні щити, стенди та бочки з водою.

Для запобігання розповсюдження пожежі необхідно забезпечити будівництво достатньою кількістю засобів пожежогасіння, дотримуватись правил зберігання, розміщення і обмеження кількості палих речовин і матеріалів, а також дотримуватися інших вимог.

Основні причини виникнення пожеж при будівельних роботах:

- недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, влаштуванні комунікацій;
- дефекти обладнання, порушення режиму технологічних процесів та неправильне проведення робіт;
- несправність систем живлення і випуску відпрацьованих газів у двигунах внутрішнього згоряння, відсутність іскрогасників на вихлопних трубах двигунів;
- порушення правил користування відкритим вогнем, особливо поблизу місць застосування або зберігання горючих або легкозаймистих речовин;
- відсутність або несправність заземлення цистерн з рідкими нафтопродуктами;
- несправність або відсутність на деяких об'єктах системи блискавкозахисту.

На будівельному майданчику повинні бути організовані пости з протипожежними засобами, а також визначені особливо небезпечні зони у пожежному відношенні.

В межах цих зон не допускається зберігання масляних фарб, оліфи, смоли, паливно-мастильних матеріалів, вказані матеріали повинні зберігатись в окремих складських приміщеннях або під навісом.

Зберігання в одному приміщенні кисневих балонів та балонів з іншими горючими газами забороняється. Всі роботи пов'язані з використанням відкритого вогню, допускається вести лише з дозволу відповідального за пожежну безпеку на будівельному майданчику.

Пожежна безпека - це стан об'єкту, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку її виникнення виключається дія на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується завдяки створенню системи заходів пожежної профілактики і активного пожежного захисту.

Пожежна профілактика - комплекс організаційних заходів і технічних засобів, що спрямовані на запобігання можливого виникнення пожежі чи зменшення її наслідків,

Система активного пожежного захисту - це комплекс організаційних заходів і технічних засобів по боротьбі з пожежами і запобіганню дії на людей небезпечних чинників пожежі, а також обмеження матеріальних збитків від неї.

Для запобігання пожеж у будівельних організаціях розробляють організаційні, технічні, режимного характеру, пожежно-евакуаційні, тактико-профілактичні, будівельно-конструктивні та інші заходи режимів експлуатації машин і обладнання, за яких повністю виключається можливість виникнення іскор і полум'я при роботі, контакт нагрітих деталей обладнання з горючими матеріалами.

До організаційних заходів належать правильний вибір технології; недопущення захаращення приміщень і будівельних майданчиків; навчання працівників правилам пожежної безпеки; спеціальне розміщення матеріалів на складах та техніки в гаражах і ремонтних майстернях.

До технічних належать заходи, що стосуються правильного добору і монтажу електрообладнання, систем блискавкозахисту об'єктів і влаштування заземлення, іскрогасників тощо.

Заходи режимного характеру - це заборона куріння, запалювання вогню, правильне зберігання промаслених ганчірок, постійний контроль за зберіганням матеріалів, що можуть самозагорятись і т. ін.

Тактико-профілактичні заходи передбачають швидку дію пожежних команд, забезпечення об'єктів первинними засобами вогнегасіння, а також дотримання постійно в справному стані водопровідної системи тощо.

Заходів будівельно-конструктивного характеру вживають в процесі проектування і будівництва споруд, створення протипожежних конструкцій будівель, а також при конструюванні машин і обладнання.

4.1.2 Захисне заземлення

Виконуємо розрахунок захисного заземлення для заземлення бетонозмішувача з напругою $U=380$ В в трьохфазній сітці з ізолюваною нейтраллю при таких даних:

- Ґрунт - суглинок з питомим електричним опором $\rho = 400 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.
- В якості заземлювачів прийнято сталені труби діаметром $d = 0,08 \text{ м}$ та довжиною $l = 2,5 \text{ м}$, розташовані вертикально і з'єднані на зварці сталенною полоєю 40x4 мм.

Знаходимо опір одиночного вертикального заземлювача R_b , Ом, формулою (4.1):

$$R_b = \frac{\rho_{\text{розр.}}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4t + l}{4t - l} \right) \quad (4.1);$$

Приймаємо $\psi = 1,7$. Тоді $\rho_{\text{розр.}} = 400 \cdot 1,7 = 680 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Опір одиночного вертикального заземлювача, представлена у формулі (4.2):

$$R_b = \frac{680}{2\pi \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,08} + \frac{1}{2} \ln \cdot \frac{4 \cdot 2,05 + 2,5}{4 \cdot 2,05 - 2,5} \right) = 192 \text{ Ом}. \quad (4.2);$$

Визначаємо опір сталенної полої, яка з'єднує стержневі заземлювачі формула (4.3):

$$R_{II} = \left(\frac{\rho_{\text{розр.}}}{2\pi \cdot l} \right) \ln \left(\frac{l^2}{d \cdot t} \right) \text{ Ом}. \quad (4.3);$$

Знаходимо розрахунковий опір ґрунту $\rho_{\text{розр.}}$ формула (4.4), при використанні з'єднувальної полої у вигляді горизонтального електрода довжиною 50 м.

$$\rho_{\text{розр.}} = \rho \cdot \psi' = 400 \cdot 5,9 = 2360 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.4);$$

При довжині полоси 50 м $\psi' = 5,9$;

Опір сталюї полоси, представлена у формулі (4.5):

$$\eta_b \text{ та } \eta_r \quad R_{II} = \left(\frac{2360}{2\pi \cdot 50} \right) \ln \left(\frac{50}{0,04 \cdot 0,8} \right) = 84 \text{ Ом.} \quad (4.5);$$

Визначаємо приблизну к-сть n одиночних стержневих заземлювачів за формулою (4.6):

$$n = \frac{R_b}{r_3 \cdot \eta_b} = \frac{192}{4 \cdot 1} = 48 \text{ шт.} \quad (4.6);$$

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між суміжними заземлювачами рівним $2l$.

Значення $\eta_b = 0,66$ та $\eta_r = 0,39$.

Знаходимо необхідну к-сть вертикальних заземлювачів формула (4.7):

$$n = \frac{R_b}{r_3 \cdot \eta_b} = \frac{192}{4 \cdot 0,66} \approx 73 \text{ шт.} \quad (4.7);$$

Визначаємо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси формула (4.8):

$$R = \frac{R_b \cdot R_r}{R_b \cdot \eta_r + R_r \cdot \eta_b \cdot n} = \frac{192 \cdot 84}{192 \cdot 0,39 + 84 \cdot 0,66 \cdot 73} \approx 3,91 \text{ Ом.} \quad (4.8);$$

Розрахунок виконаний вірно так як $R \leq [r_3] \quad 3,91 < 4$.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Оцінка стійкості об'єкта до впливу ударної хвилі ядерного вибуху і заходи щодо підвищення стійкості

Нові об'єкти народного господарства повинні будуватися з урахуванням вимог, виконання яких сприяє підвищенню стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкта. Основні з цих такі:

– Будинки і спорудження на об'єкті необхідно розміщувати розосереджено. Відстань між будинками повинні забезпечувати протипожежні розриви. При наявності таких розривів виключається можливість переносу вогню з одного будинку на інші, навіть якщо гасіння пожежі не відбувається.

– Найбільш важливі виробничі спорудження варто будувати заглибленими чи зниженої висотності, прямокутної форми в плані. Це зменшує парусність будинків і збільшує опірність їх ударній хвилі ядерного вибуху. Хорошою стійкістю до впливу ударної хвилі володіють залізобетонні будинки з металевими каркасами в бетонній опалубці. Для підвищення стійкості до світлового випромінювання в споруджуваних будинках і спорудженнях повинні застосовуватися вогнестійкі конструкції, а також вогнезахисна обробка спалених елементів будинку. У кам'яних будинках перекриття повинні бути виготовлені з армованого бетону або виконані з бетонних плит. Великі за розмірами будинки повинні розділятися на секції неспаленими стінами. У ряді випадків при проектуванні й будівництві промислових будинків і споруджень повинна бути передбачена можливість герметизації приміщень від проникнення радіоактивного пилу. Це особливо важливо для підприємств харчової промисловості й продовольчих складів.

– Душові приміщення необхідно проектувати з урахуванням використання їх для санітарної обробки людей.

– Дороги на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям, забезпечувати зручне і найкоротше сполучення між виробничими будинками,

спорудженнями і складами; в'їздів на територію об'єкта повинне бути не менш двох із різних напрямків.

– Системи побутової і виробничої каналізації повинні мати не менш двох випусків у міські каналізаційні мережі й пристрої для аварійних скидань у підготовлені місця (котловани, яри, траншеї тощо).

Оцінка стійкості основних елементів інженерно-технічного комплексу, від яких залежить робота господарського об'єкта, полягає у визначенні виду можливого руйнування кожного з основних елементів інженерно-технічного комплексу та у виявленні нестійких елементів. При оцінці ефективності захисту робітників і службовців у разі сильного вибуху визначають можливу кількість уражених і вид травм людей на території господарського об'єкта. Оцінка стійкості систем управління і постачання (електроенергією, газом, водою, сировиною, комплектуючими виробами тощо) полягає у визначенні ступеня їх порушення в разі вибуху. Крім того, оцінюють ступінь підготовленості господарського об'єкта до відновних робіт. Висновок про стійкість господарського об'єкта в цілому складають після аналізу отриманих результатів. Якщо всі основні елементи інженерно-технічного комплексу і систем господарського об'єкта виявляться стійкими і за прогнозом не буде великої кількості уражених робітників і службовців, то робота господарського об'єкта вважається стійкою в разі вибуху. Якщо хоча б один основний елемент інженерно-технічного комплексу або система господарського об'єкта виявляться за прогнозом нестійкими, робота об'єкта в цілому визнається нестійкою. Аналогічний висновок робиться, якщо в разі вибуху можливі загибель або великі втрати робочих і службовців.

Вирішення проблеми захисту інформації полягає у використанні організаційно-технологічних (адміністративних), технічних і програмних заходів, а так само в профілактичній роботі серед користувачів для зменшення можливостей для несанкціонованого доступу до інформації. Реалізація системи захисту інформації та інформаційних ресурсів розпадається на три незалежні завдання: забезпечення системи цілісності інформації та інформаційних систем; організація авторизованого доступу до інформації; неприпустимість появи у відкритому

доступі інформації, що становить державну таємницю або має конфіденційний характер.

При розслідуваннях небезпека полягає і в тому, що обвинувачені можуть спробувати застосувати законодавство, аби завадити публікації, тому працівники ЗМІ повинні добре знати закони та уникати їх порушення, не отримувати інформацію незаконним шляхом, діяти в рамках етичних стандартів.

Для забезпечення оптимальної освітленості в робочому приміщенні, яка нормується згідно 200Лк, передбачено устрій системи штучного освітлення з використанням люмінесцентних ламп типу ЛБ або ЛД потужністю від 40 до 80 Вт. Крім системи штучного освітлення використовується природне бокове освітлення.

Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища передбачено виконання вимог по.

Усі працівники при прийнятті на роботу і за місцем роботи повинні проходити інструктажі з питань пожежної безпеки.

Протипожежні інструктажі поділяються на вступний, первинний, повторний на робочому місці, позаплановий та цільовий.

4.2.2 Оцінка масштабу, розмірів втрат та інших наслідків можливої НС на промисловому об'єкті

Оцінка обстановки – порядок визначення ступеню ураженості об'єкта чи території, можливих об'ємів завданих збитків та вплив вторинних факторів на проведення рятувальних та інших невідкладних робіт (РіНР) в осередку ураження від надзвичайних ситуацій (НС).

Вони залежать від конкретних умов виникнення або загрози виникнення надзвичайних ситуацій мирного чи воєнного часу.

По часу оцінка обстановки може бути - завчасна, планова, термінова.

В мирний час відповідно до Закону України «Про страховий фонд документації» на всій території України проведений моніторинг наявності потенційно небезпечних об'єктів чи явищ, що можуть призвести до виникнення

надзвичайних ситуацій. Оцінку обстановки можна попередньо проводити по карті місцевості району, де існує загроза або виникла надзвичайна ситуація.

На підставі цих досліджень розроблені плани дій під час загрози або виникнення НС. В яких ґрунтовно описані можливі наслідки тої чи іншої надзвичайної ситуації та шляхи її подолання - зменшення жертв, пошкоджень, руйнувань та інше.

Оцінка обстановки визначає:

- характер і об'єм руйнувань і пошкоджень, нанесені збитки і втрати;
- види аварійно-рятувальних робіт та можливий їх об'єм;
- радіаційну, хімічну, інженерну, пожежну та інші обстановки та їх вплив на виконання завдань;
- найбільш доцільні напрямки висування в введення сил ЦО в вогнище чи на територію ураження;
- місце розташування, стан і забезпеченість сил ЦО та їх можливості по виконанню завдань;
- вплив вторинних факторів ураження, погоди, пори року і доби, характер місцевості.

За результатами аналізу оцінки обстановки приймається рішення про ведення РіНР в осередках ураження чи на територія, яка потерпіла від НС.

Рішення на виконання завдань по локалізації та ліквідації наслідків НС включає:

- на що направлення основні зусилля сил та засобів;
- порядок ведення рятувальних та інших невідкладних робіт в осередку ураження чи події;
- організація зв'язку та управління підчас ведення РіНР;
- порядок взаємодії сил і засобів залучених на проведення робіт;
- час проведення РіНР.

Форми і методи оцінки обстановки при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій залежать в першу чергу від виду надзвичайної ситуації.

На місце загрози або виникнення НС терміново виїжджає мобільно-оперативна група у складі: спеціалістів з різних галузей.

Метою роботи цієї групи на місці НС є:

- обстеження місця виникнення НС, характеру, об'ємів та пошкоджень НС;
- надання при необхідності першої медичної допомоги потерпілим;
- визначення попередніх обсягів втрат (площі території, яка постраждала);
- готує пропозиції щодо першочергових заходів та обсягів робіт по локалізації та ліквідації (мінімізації) наслідків НС.
- координує дії служб на місці НС.

Під обстановкою розуміють сукупність наслідків НС, що впливають на нормальну життєдіяльність, виробництво продукції та дії сил при локалізації та ліквідації наслідків НС.

Аналіз пожежної небезпеки і захисту технологічних процесів виробництв здійснюється поетапно. Він містить у собі вивчення технологій виробництв, оцінку пожежонебезпечних властивостей речовин, виявлення можливих причин виникнення і запобіганню пожеж.

Під пожежною обстановкою розуміють сукупність наслідків впливу вражаючих факторів НС, у результаті яких виникають пожежі, які впливають на життєдіяльність людей.

Для оцінки пожежної обстановки необхідно провести такі заходи:

- визначити вид, масштаб і характер пожежі;
- провести аналіз впливу пожежі на стійкість окремих елементів і об'єкту в цілому, а також на життєдіяльність населення;
- вибрати найбільш доцільні дії пожежних підрозділів та формувань ЦО з локалізації і гасіння пожежі, евакуації при необхідності людей і матеріальних цінностей із зони пожежі.

Основна причина виникнення пожеж – необережне поводження з вогнем, порушення правил пожежної безпеки. Крім того, вони можуть виникнути в

наслідок природних явищ (грозові розряди, землетруси, виверження вулканів, самозаймання торфу, підпал, вибух).

Межа вогнестійкості, вимірювана в годинах, визначається здатністю несучих конструкцій протистояти вогню без обвалювань, прогинів, тріщин, і отворів, через які проникають продукти горіння.

Вона становить для будинків:

- I ступеня вогнестійкості – понад 2 годин;
- II ступеня до 2 годин;
- III ступеня - 1,5 години;
- IV ступеня - 1 година.

За категоріями вибухонебезпечності будинки поділяють на п'ять категорій:

Категорії А і Б – вибухопожежонебезпечні, В, Г, Д – пожежонебезпечні.

Пожежа характеризується видом, масштабом або щільністю, розвитком і швидкістю поширення, тепловою радіацією, тривалістю горіння, температурою горіння, зоною задимлення.

Види пожеж: окремі, масові, суцільні, вогневий шторм, лісові, степові, торф'яні, тління, горіння в завалах.

Розвиток і швидкість поширення пожеж визначається ступенем вогнестійкості будинку, відстанню між ними, щільністю забудови, метеоумовами і порою року.

Розвиток пожеж незалежно від їх розмірів і місця виникнення відбувається за однією загальною закономірністю і поділяється на три фази:

- I фаза – поширення полум'я від початкового горіння до охоплення великої частини горючих матеріалів. Ця фаза характеризується спочатку порівняно невеликою температурою і швидкістю поширення вогню, тому пожежа може бути ліквідована у перші 15-20 хвилин за короткий час обмеженими засобами. Тривалість фази до 2 годин в залежності від вогнестійкості будинків.;

- II фаза – стале горіння до моменту обвалення конструкцій, тривалість від 1 до 4 годин;

- III фаза – вигорання матеріалів завалених конструкцій при невеликих швидкостях горіння і теплової радіації, тривалість від 2 до 5 годин.

Залежно від масштабів пожеж застосовують то чи іншу тактику ведення боротьби з ним, та залучають відповідні сили і засоби. Це може бути окрема тема для вивчення.

4.3 Висновки по розділу 4

Розділ 4 розглядає питання забезпечення безпеки праці та заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях на будівельному майданчику. В ньому висвітлено технічні аспекти безпеки, включаючи пожежну безпеку. Також проводиться оцінка стійкості об'єкта до ударної хвилі від ядерного вибуху і розглядаються заходи для підвищення стійкості. Здійснюється оцінка масштабу, розмірів втрат та інших наслідків можливої надзвичайної ситуації на промисловому об'єкті.

Посилення структурних елементів, зокрема застосування більш міцних матеріалів або збільшення розмірів елементів конструкції. Використання амортизуючих матеріалів або систем, що зменшують передачу ударних хвиль.

Застосування спеціальних систем амортизації та розсіювання енергії, наприклад, абсорбуючих шарів або пружинних систем. Забезпечення правильного геометричного оформлення конструкції, включаючи заокруглення кутів та зменшення гостроти виступаючих частин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було проведено аналіз літературних даних щодо укриття оболонок одинарної кривизни, включаючи їх види та характеристики. В результаті аналізу було отримано цінну інформацію про оболонки одинарної кривизни, яка може бути використана при проектуванні та розрахунках конструкцій. Так, було виявлено: види оболонок; укриття оболонок; характеристики оболонок; застосування оболонок.

Була розроблена скінченно-елементна модель конструкції оболонки одинарної кривизни, передбачено використання бетону класу C20/25 та арматури класу A400C та A240C.

За допомогою комплексу ANSYS проведено розрахунок параметрів напружено-деформованого стану, що дозволило отримати детальну інформацію про її стан, переміщення та напруження.

Після аналізу деформацій бетону в конструкції оболонки виявлено, що прогини в місці прикладання навантаження складаються в діапазоні від 0 мм до 3,4165 мм. Враховуючи, що конструкція має товщину 300 мм і виконана з бетону класу C20/25, ці значення прогинів можна вважати незначними. Це означає, що конструкція здатна витримати деформації, які виникають внаслідок прямого удару снаряду ОФЗ калібру 30 мм від БМП-2.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія”// Ковальчук Я.О., Крамар Г.М., Мещерякова О.М., Тернопіль, 2020. – 56 с.
2. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] –Чинний від 2012-11-21. : станом на 01.01.2019 р. – К. : ВР України, 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
3. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони [Текст] : ДБН В 2.2.5-97. – На заміну СНиП II-11-77* ; чинний від 1998-01-01. – К. : Держкоммістобудування України, 1998. – 22 с. – (Державні будівельні норми України)
4. Стеблюк М.І. Цивільна оборона: Підручник. - к.: Знання, 2006.487 с
5. ПОРЯДОК використання захисних споруд цивільного захисту (цивільної оборони) для господарських, культурних та побутових потреб, ЗАТВЕРДЖЕНО постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 2009 р. № 253 Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/204306186>
6. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції: будівлі, споруди та їх частини : підручник / А.М. Павліков. – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – 284 с
7. Посібник до вивчення курсу «Опір матеріалів» / С.А. Летуча, В.І. Ліповський, О.І. Хащина. – Д.: РВВ ДНУ, 2011. – 52 с.
8. Бойова машина піхоти БМП-2. Загальна будова : навчальний посібник / В.В. Близнюк, В.Б. Добровольський, Д.В. Зайцев – К.: ВІКНУ. 2020. – 208 с.
9. Рекомендації з проектування залізобетонних конструкцій фортифікаційних споруд. Рекомендація/ Бабич Є.М. , Дворкін Л.Й. , Житковський В.В., та ін. – Рівне: НУВГП, 2018 – 178 с.
10. Гудь М. І. Вплив хаотично розміщених сталевих волокон на властивості залізобетону / Михайло Іванович Гудь, М. Лановик // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та

конструкцій“, 10-11 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 151–152. — (Нові та сучасні матеріали та технології).

11. Методичний практикум на тему: “Інженерний аналіз в Ansys Workbench” з дисципліни: “Комп’ютерне моделювання процесів обробки матеріалів“ для практичних занять і самостійної роботи здобувачів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка” та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей / Укладачі : Васильків В. В., Данильченко Л. М., Радик Д. Л., Дивдик О. В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 58 с.

12. ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016 Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону

13. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. 2011.

14. ДСТУ Б В.2.6-206:2015 Розрахунок і конструювання згинальних і стиснутих елементів сталезалізобетонних конструкцій будівель та споруд.

15. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування залізобетонних і мурованих конструкцій» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної і заочної форми навчання. / Укладачі: О.П. Конончук, В.П. Ясній – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. – 133 с.

16. Методичний практикум на тему: “Інженерний аналіз в Ansys Workbench” з дисципліни: “Комп’ютерне моделювання процесів обробки матеріалів“ для практичних занять і самостійної роботи здобувачів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка” та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей. /Укладачі : Васильків В.В., Данильченко Л.М., Радик Д.Л., Дивдик О.В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021.– 58 с.

17. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

18. Simulation of shell buckling by implicit dynamics and numerically dissipative schemes *Thin-Walled Structures*, Volume 132, 2018, pp. 682-699
19. Tomás, A., & Tovar, J. P. (2012). The influence of initial geometric imperfections on the buckling load of single and double curvature concrete shells. *Computers & Structures*, 96-97, 34-45.
20. V. N. Bakulin, "Finite-Element Model for Analysis of Stress-Strained State of Sandwich Shells," *Mat. Model.* 18 (1), 3–9 (2006)
21. Zveryayev, Y.M., "A consistent theory of thin elastic shells", *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, vol. 80, no. 5, pp. 409-420, 2016.
22. Bakry, Mohamed. "Nonlinear Analysis of Reinforced-Concrete Shells." *Journal of Structural Engineering*, 1993.
23. Hernández-Montes, E., Carbonell-Márquez, J. F., & Gil-Martín, L. M. (2014). Limits to the strength design of reinforced concrete shells and slabs. *Engineering Structures*, 61, 184–194.
24. Ramm, Ekkehard, and Gerhard Mehlhorn. "On Shape Finding Methods and Ultimate Load Analyses of Reinforced Concrete Shells." *Engineering Structures* 13, no. 2 (1991): 178–198.