

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра "Будівельні, дорожні машини і будівництво"

Допустити до захисту
зав. кафедрою БДМБ
канд. техн. наук, професор
_____ Настоящий В.А.
" ____ " _____ 2021 р.

Ілюстраційні матеріали
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему:

**«Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій підсилення
заводу залізобетонних виробів в м. Дніпро»**

Керівник магістерської роботи
канд. техн. наук, доцент
_____ Дарієнко В.В.
" ____ " _____ 2021 р.

Виконав студент гр. Бі-20м
спеціальності
192 Будівництво та цивільна інженерія

_____ Осипенко Д.С.
" ____ " _____ 2021 р.

Кропивницький - 2021 рік

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення БТ

Кафедра, циклова комісія Будівельні, дорожні машини і будівництво

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

(шифр і назва)

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БДМБ,

к.т.н. проф. Настоящий В.А.

“ ” 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Осипенко Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій підсилення заводу залізобетонних виробів в м. Дніпро

керівник проекту (роботи) к.т.н. доцент Дарієнко В.В.,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 02 ” 08 2021 року № 16-13

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 23 листопада 2014 р.

3. Мета роботи:

Розробка робочого проекту капітального ремонту формувального цеху заводу залізобетонних виробів, а також запропонувати конструкції підсилення пошкоджених несучих залізобетонних елементів та провести їх чисельні дослідження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальні положення 2. Чисельне дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних конструкцій. 3. Охорона праці. 4. Перевірочні розрахунки несучих залізобетонних конструкцій.

5. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Консультант з науково-дослідного розділу</i>	<i>доцент Дарієнко В.В.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>доцент Лізунков О.В.</i>		
<i>Розрахунково-конструктивний розділ</i>	<i>доцент Дарієнко В.В.</i>		

6. Дата видачі завдання 18. 01. 2014 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Розробка науково-дослідного розділу</i>	18.09.-18.10.21	
2	<i>Розробка заходів з охорони праці</i>	18.10.-30.10.21	
3	<i>Оформлення альбому документів</i>	30.10.-25.11.21	

Студент

(підпис)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Осипенко Д.С.

(прізвище та ініціали)

Дарієнко В.В.

(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Позначення	Позначення	Найменування	Кільсть	Примітки	
				<u>Документація загальна</u>			
				<u>Знову розроблена</u>			
A4			ДНСП 234 ПЗ	Пояснювальна записка			
				<u>Документація</u>			
				<u>з науково-дослідного</u>			
				<u>розділу</u>			
A4			ДНСП 234 ДР 01	Постановка завдань			
				дослідження.	1		
A4			ДНСП 234 ДР 02	Генплан	1		
A4			ДНСП 234 ДР 03	Підсилення з/б плит між	1		
				<u>Осями А-Б і 5-7 та В-Г</u>			
				<u>і 6-9</u>	1		
A4			ДНСП 234 ДР 04	Графічні зображення			
				дефектів, причини їх			
				утворення, пропозиції щодо			
				усунення дефектів	1		
A4			ДНСП 234 ДР 05	Алгоритм чисельного			
				дослідження конструкцій			
				методом скінченних			
				елементів	1		
A4			ДНСП 234 ДР 06	Алгоритм чисельного			
				дослідження конструкцій			
				методом скінченних			
				елементів	1		
				ДНСП 234 ВД			
Зм	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій підсилення заводу залізобетонних виробів в м. Дніпро		
Розробив	Осипенко						
Перевірів	Дарієнко						
Н. контр.	Яцун						
Затвердив.	Настоящий				Відомість дипломного проекту		
					Літ.	Лист	Листів
					М	1	2
					ЦНТУ гр. Бі-20м		

[illegible]

Анотація

Прийняті розрахункові моделі будівельних конструкцій в програмному комплексі адекватні та відповідають реальним конструкціям. Під час порівняння збіжності отриманих результатів при розрахунку моделей розбитими різними об'ємними скінченними елементами (тетраедрами і гексаедрами) із різними розмірами вирішено розбивати моделі будівельних конструкцій правильної геометричної форми на гексаедри із стороною 100 мм, що приблизно рівне 1,2% від загальної висоти чи довжини досліджуваної моделі. Необхідні ресурси персонального комп'ютера для створення і розрахунку такої моделі достатні і придатні для дослідження напружено-деформованого стану модельованих конструкцій.

Порівняння найбільш ефективного закону деформування бетону σ_b - ϵ_b з точки зору перерозподілу зусиль між бетоном та арматурними стрижнями, виявив найкращий результат при застосуванні діаграми деформування бетону σ_b - ϵ_b із аналітичним обмеженням фібрових деформацій, який і було прийнято в чисельних розрахунках.

Моделювання напружено-деформованого стану моделей пошкоджених будівельних конструкцій дозволило: по-перше – означити місця із максимальними напруженнями та деформаціями у пошкоджених будівельних конструкціях, на які необхідно в першу чергу звертати особливу увагу у виявлених конструкціях під час проведення обстежень будівель та споруд; по-друге – виявити найбільш небезпечну форму типових пошкоджень несучих залізобетонних конструкцій.

В результаті проведення чисельного дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених колон встановлено, що сталеву обойму з кутників доцільно влаштовувати при величині пошкодження більше 10% від площі поперечного перерізу колони. Напруження у колоні з таким пошкодження сягають граничнодопустимих значень, а після підсилення – зменшуються до рівня напружень у непошкодженій колоні.

Abstract

Accepted design models of building structures in the software package are adequate and correspond to real structures. When comparing the convergence of the results obtained when calculating models divided by different three-dimensional finite elements (tetrahedra and hexahedra) with different sizes, it was decided to divide the models of building structures of regular geometric shape into hexahedrons with a side of 100 mm, which is approximately 1.2% of total height or the length of the studied model. The necessary resources of a personal computer to create and calculate such a model are sufficient and suitable for studying the stress-strain state of the modeled structures.

Comparison of the most effective law of concrete deformation $\sigma_b - \epsilon_b$ in terms of redistribution of forces between concrete and reinforcing bars, showed the best result when using the diagram of concrete deformation $\sigma_b - \epsilon_b$ with analytical limitation of fiber deformations, which was accepted in numerical calculations.

Modeling the stress-strain state of models of damaged building structures allowed: first - to identify places with maximum stresses and strains in damaged building structures, which must first pay special attention to the detected structures during inspections of buildings and structures; secondly - to identify the most dangerous form of typical damage to load-bearing reinforced concrete structures.

As a result of a numerical study of the stress-strain state of the damaged columns, it was found that the steel holder from the angles should be arranged with a damage of more than 10% of the cross-sectional area of the column. The stresses in the column with such damage reach the maximum allowable values, and after amplification - decrease to the level of stresses in the undamaged column.

ВСТУП

Актуальність теми. Будівлі та конструкції з залізобетонних елементів внаслідок багатьох позитивних властивостей (вогнестійкість, довговічність, низькі експлуатаційні видатки, витримка супроти атмосферних впливів, та ін.) займають значну масу у промисловості нашої країни.

Методи підсилення та відновлення з.б. елементів у сучасних методиках і нормативних документах систематизовані для різних варіантів конструктивних рішень. Наведені в нормативах методики розрахунків залишкової несучої здатності конструкцій та різних конструктивних рішень, містяться організаційні, конструктивні, й технологічні вимоги та рекомендації з їх реалізації.

Зазначені документи не дають можливості вибору оптимальних методів підсилення залізобетонних елементів та їх технологічного забезпечення (механізмами, оснасткою, матеріалами тощо) у певних умовах експлуатаційних впливів, характерних для кожного виду виконання робіт.

З наведеного вище робимо висновок що, задача удосконалення вибору раціональних конструкторсько-технологічних рішень при підсиленні залізобетонних елементів, в тому числі колон, є актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження. Розробка робочого проекту капітального ремонту формувального цеху заводу залізобетонних виробів у м Дніпро, а також запропонувати конструкції підсилення пошкоджених несучих залізобетонних елементів та провести їх чисельні дослідження.

Об’єктом досліджень є конструкції підсилення пошкоджених несучих залізобетонних елементів.

Предмет дослідження напружено деформований стан конструкцій підсилення.

Застосовані в роботі методи досліджень. Теоретичні дослідження напружено –деформованого стану конструкцій підсилення. Методи математичного моделювання під час дослідження напружено деформованого стану конструкцій методом скінченних елементів.

Наукова новизна одержаних результатів:

- Обґрунтовано доцільність типу та розмірів скінченних елементів застосованих для чисельного дослідження підсилених залізобетонних колон.
- Виконано порівняння впливу розмірів зруйнованого бетонного тіла на несучу здатність залізобетонних колон.

Практичне значення отриманих результатів.

- На основі проведених чисельних досліджень обґрунтовано необхідність підсилення залізобетонних колон в залежності від величини пошкодження бетонного тіла.
- На основі чисельних досліджень встановлено що пошкодження бетонного тіла та арматури в ребристій плиті даного об’єкта значно впливають на несучу здатність робочої арматури, що вимагав обов’язкового підсилення.

Особистий внесок магістранта:.

- Виконано порівняльний аналіз розмірів зруйнованого бетонного тіла на несучу здатність залізобетонних колон.
- На основі проведених чисельних досліджень обґрунтовано доцільність підсилення залізобетонної плити

Апробація результатів. Основні положення та висновки роботи доповідалися та обговорювалися на III Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції “Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп’ютерних технологій”. - Кропивницький: ЦНТУ, 2021.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Що таке капітальний ремонт

Всім відомо, що ремонт промислових приміщень чи ремонт промислових будівель, потрібно проводити після певного періоду експлуатації. На скільки довго можна використовувати промислове приміщення без ремонту або реконструкції залежить від специфіки його використання. Адже в промисловому приміщенні, будівлі, як правило, відбувається складне виробництво, працює величезна кількість людей, вантажопідйомна та інша техніка. Всі ці фактори викликають перепади температур, вібрації, перепади вологості, а все це в підсумку призводить до того, що потрібен ремонт промислових приміщень.

Сукупність усіх вище згаданих чинників, не тільки призводять до промислового ремонту, але і створюють несприятливе середовище для працівників. Коли промислові приміщення відремонтовані то керівник не ризикує ні безпекою і здоров'ям людей, ні якістю виготовленої продукції або пропонованої послуги. Ось і виходить, щоб успішними були справи ремонт промислових приміщень просто необхідний.

1.2 Виникнення залізобетону

Залізобетон складається з бетону і залізних елементів - зазвичай круглих стрижнів арматури. Бетон - це штучний камінь. Як і всякий камінь, бетон володіє значною міцністю на стиснення і невеликою міцністю на розтяг. Але в багатьох конструктивних елементах з'являються одночасно два види напруг. Тут-то і допомагає залізо, приймаючи на себе розтягуючі зусилля, підвищуючи тим самим міцність елементу.

Франція вважається батьківщиною залізобетону по праву. Незвичайна Історія його появи дуже цікава. У той час квіткові горщики робили з деревини,

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						3
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

але вони були недовговічні і паризький садівник Жозеф Моньє (1823-1906) вирішив застосовувати бетон. Бетонні горщики, як виявилось, необхідним вимогам не відповідали: під впливом коренів великих рослин вони руйнувалися. Моньє зміцнював бетонні діжки за допомогою залізних вкладишів, міцність на розтяг збільшувалась. Таким чином, винахідник надзвичайно важливого в сучасному будівництві матеріалу - залізобетону став Моньє.

На роль батьківщини залізобетону претендували Англія та США, але пріоритет віддано Франції. Французи підкреслили цей факт, відсвяткувавши в 1949 році столітню річницю створення цього матеріалу. Підставою послужив увійшов у багато будівельних підручники епізод: в 1849 році, обмазавши каркас з дроту цементним розчином, Жозеф Моньє виготовив діжку для рослин. Саме поєднання таких матеріалів почали називати залізобетоном. Якщо підходити суворіше до історії виникнення, то виявляється, що ще адвокат Жан Луї Ламбо в 1848 році першим, із залізобетонних конструкцій спорудив човен. Показав його на Паризькій виставці в 1855 році і здійснив сенсацію. Історія залізобетону розпочалася. Але саме Жозеф Моньє вважався в Росії винахідником залізобетону.

В 1854 році, Вільям Уїлкінсон, штукатур з Ньюкасла отримав патент на конструкцію стійкого до вогню перекриття, воно складалося з залізних смуг, що укладаються на відстані двох футів один від одного і заливаються бетоном. Причому для підвищення міцності, в нижню частину перетину перекриття слід укладати смуги, а якщо над опорами діють відгинаючі сили то смуги вкладав у верхню частину. Уїлкінсон був першим, хто почав раціонально армувати залізобетон. Ідеї його, як не дивно, у самій Англії на особливу увагу в цей час не звернули, але в елементах конструкції, що працюють на стиск, застосування бетону продовжувало розширюватися.

«У 1864 році Франсуа Куан у Франції побудував першу церкву із залізобетону. Через майже 20 років із залізобетону з'явилася перша церква в Лондоні. Вклад Куан у розвиток залізобетону величезний. У 1855 році він отримав патент, фактично повторював патент Уїлкінсона, а в 1861-му він

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

опублікував брошуру «Застосування бетону в будівельному мистецтві», де вперше вказав на те, що бетон і сталеві стрижні в ньому працюють спільно. Близько 20 років Куан будував залізобетонні споруди у Франції та інших країнах.»[10,22].

Потреба в новобудовах після закінчення другої світової війни колосально виросла. Положення залізобетону серед інших будівельних матеріалів стало абсолютно домінуючим. За залізобетон голосували більша кількість видатних архітекторів XX століття. Француз Ле Корбюзьє розпочав широко застосовувати збірний залізобетон у багатьох своїх проектах. Бразилієць Оскар Німейєр збудував столицю країни - Бразиліа цілком з залізобетону. Італієць П'єтро Луїджі Нерви побудував багато об'єктів, які були революційними за своїми характеристиками. Всього кілька років тому прокладений транспортний тунель під Ла-Маншем, та з'єднав Францію і Англію. Три «нитки» довжиною 150 кілометрів зі збірного залізобетону. Як відомо, залізобетон з середини 1950-х років став провідним будівельним матеріалом в Україні і залишається таким донині.

1.3 Місце розташування цеху

Даний дипломний проект передбачає реконструкцію формувального цеху, залізобетонного заводу в м. Дніпро.

1.4 Історична довідка міста

«Місто Дніпро має потужний промисловий потенціал, який характеризується високим рівнем розвитку важкої індустрії. На більш ніж 200 промислових підприємствах виробляється 4,5 % всієї промислової продукції України» [21,12].

«Металургійний комплекс – це основа промисловості міста. Продукція галузі становить 6,9 % від загального обсягу виробництва чорної металургії

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

України, зокрема: труб — 51,4 %, сталі — 5,3 %, чавуну — 5,0 %, прокату — 4,4 %, коксу — 4,0 %. Основні підприємства галузі — відкриті акціонерні товариства: «Дніпровський металургійний завод», «Дніпрококс», «Комінмет», «Дніпровський трубний завод», «Нижньодніпровський трубопрокатний завод» » [21,13].

«Машинобудівна та металообробна галузь промисловості міста у загальнодержавному виробництві машинобудівного комплексу становлять 10,5 %. Найбільш розвинутими є металургійне, транспортне, електротехнічне, гірничо-шахтне і гірничорудне, будівельно-шляхове й комунальне, хімічне і полімерне машинобудування, верстатобудування. Лідерами галузі є: відкриті акціонерні товариства «Дніпровський машинобудівний завод», «Дніпроважмаш», «Дніпропрес», «Дніпровагонрембуд», науково-виробниче об'єднання «Дніпровський електровозобудівний завод». Продукція галузі — трактори, преси, вагоноопрокидувачі, шлаковозні чаші, трамваї, тролейбуси, магістральні електровози» [21,15].

1.5 Актуальність магістерської роботи

Мабуть, кожен з вас хоч раз у житті побував на будівельному майданчику. їх на території країни безліч — і великих, і малих. Кожний з них необхідно забезпечити цеглою, цементом, склом, піском, залізобетонними конструкціями, трубами, вапном, щебенем. В Україні багато підприємств, що виробляють будівельні матеріали.

Основні галузі промисловості будівельних матеріалів: цементна й азбестоцементна, збірних залізобетонних та бетонних конструкцій і деталей, будівельного скла, стінових матеріалів, в'язучих і оздоблювальних матеріалів, покрівельних матеріалів тощо.

Виробляють цемент в містах, де є необхідна сировина (вапняки, доломіти, мергель). Цементні заводи працюють в Амвросіївці, Єнакієвому, Дніпродзержинську, Здолбунові, Балаклії. Виробництво збірних залізобетонних

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

конструкцій налагоджено в Харківській області Керчі, Львові, Одесі, Києві, а також зводять мобільні заводи в районах інтенсивного будівництва. На будівництво будинку із збірного залізобетону необхідно вдвічі менше витратити праці та часу, ніж із цегли. Тільки монолітний залізобетон дає змогу зводити будинки великої поверховості.

Перше місце у структурі промисловості будматеріалів належить виробництву збірних залізобетонних конструкцій і виробництву цементу. В кожній області є заводи залізобетонних конструкцій. Цементні заводи працюють у Миколаївській, Рівненській, Донецькій, Харківській областях. Основні райони виробництва скла – , а також Запоріжжя, Київ, Львів, міста Донбасу та Херсон.

Отже, буде доцільно підсилити конструкції формувального цеху для випуску залізобетонних виробів, які будуть користуватися попитом.

1.6 Коротка характеристика об'єкту

За конструктивною схемою дана будівля повно каркасна. Розміри в осях 36м х 60м, з кроком колон 6 м та 12 м , на які спираються балки прольотом 12 м. Будівля 3-х пролітна.

1.7 Висновок до розділу 1

В зв'язку із світовою кризою та кризою в Україні, значна частина заводів залізобетонних виробів збанкрутіли, або знаходяться в критичному стані. Але враховуючи вигідне географічне положення та високу якість виробів заводу залізобетонних виробів м. Світловодськ, виникла необхідність в розширенні виробництва. Маючи на території заводу непрацюючі цеха, перспективним напрямком є проведення капітального ремонту одного із цехів, а не будівництво нових.

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО БУЛИ ПОШКОДЖЕНІ

Комп'ютерне моделювання в програмах (MOHOMAX, ANSYS, Cosmos, NASTRAN, ЛИРА, SCAD, ASKA і ін.) призначене для чисельного моделювання і дослідження на ЕОМ напружено-деформованого стану (НДС), стійкості елементів конструкцій та конструкції в цілому та виявлення місць небезпечної концентрації напружень.

2.1. Основні положення методу скінченних елементів

Перші розробки методу скінченних елементів (МСЕ) були виконані у 50-х роках ХХ століття для вирішення задач опору матеріалів. У 60-ті роки математики отримали чіткі формули для вирішення задач цим методом після чого він став загальним засобом рішення завдань частковими похідними та став витісняти метод скінченних різниць (МСР), який розглядався в період його широкого використання на початку ХХ століття як універсальний засіб вирішення задач такого типу. Після детального математичного дослідження МСЕ виявилось, що при різних вихідних даних, задачі вирішені МСЕ мають вищу точність, ніж вирішені МСР.

Перша робота, де розглядалася схема типу МСЕ, належить відомому математику Р. Куранту. Побудова методу з використанням фізичного змісту і його назва "Метод скінченних елементів" містяться в статті [11], написаній інженерами. Таке поєднання авторів різних спеціальностей характерне для робіт по МСЕ. У подальшому було опубліковано багато статей і книг, присвячених цьому методу і його різним модифікаціям. Починаючи із 1970 року МСЕ став все більш популярним серед інженерів всіх спеціальностей завдяки роботам

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Зінкевича О.С. [Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.], Розіна Л.А. [Ошибка! Источник ссылки не найден.], Галлагера, Одена, Ліона, Равьяра, Сільвестера.

Побудова скінченно-різницевих схем зазвичай вимагає невеликого об'єму обчислень, як правило, меншого, ніж в МСЕ. Проте перевагами МСЕ є гнучкість та різноманітність сіток і скінченних елементів, стандартні прийоми побудови дискретних задач для довільних областей, простота обліку натурних краєвих умов. Крім того, математичний аналіз МСЕ є простішим за МСР, його методи можна застосовувати до ширшого класу початкових завдань, а оцінки похибок наближених рішень, як правило, отримують при менш жорстких обмеженнях, чим в МСР. Разом з тим необхідно підкреслити, що основу для дослідження МСЕ створили фундаментальні результати, пов'язані з дослідженням збіжності і стійкості скінченно-різницевих схем, проєкційних методів, узагальнених рішень.

Суть МСЕ наступна [11Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Припустимо, що стан системи описується деякою функцією. Нехай ця функція є єдиним рішенням математичної задачі, сформульованої на основі фізичних законів. Рішення полягає у знаходженні з безкінечної множини функцій такої, яка задовольняє рівнянням задачі. Якщо задача достатньо складна, то її точне рішення неможливе. Замість того щоб шукати необхідну функцію серед безкінечної множини різноманітних функцій, завдання спрощують. Розглядається деяка група функцій, що визначаються скінченним числом параметрів. Як правило, серед таких функцій немає точного рішення задачі. Проте відповідним підбором параметрів можна спробувати приблизно задовольнити рівнянням задачі і тим самим побудувати її наближене рішення. Такий загальний підхід характерний для багатьох наближених методів. Специфічним в МСЕ є побудова груп функцій, що визначаються скінченним числом параметрів.

Розглянемо більш детально основні етапи МСЕ [11]. Припустимо, потрібно побудувати групу функцій $u(x)$ при $a \leq x \leq b$. Інтервал ab розбивається на скінченне число частин (елементів), що з'єднуються між собою і з кінцями інтервалу у вузлових точках (вузлах) x_i . У межах кожного елемента задається функція, наприклад у вигляді лінійного полінома. Вона визначається своїми значеннями $u(x_i)$ у вузлах на кінцях елемента. Якщо шукана функція є безперервною, то її значення у кожному вузлі для сусідніх елементів співпадають. У результаті маємо групу частково-лінійних безперервних функцій, які зображаються у вигляді ламаних і визначаються скінченним числом параметрів – своїми вузовими значеннями. У разі декількох змінних, схема методу скінченних елементів в принципі не змінюється. Таким чином, метод скінченних елементів замінює задачу знаходження функції на задачу знаходження скінченного числа її наближених значень в окремих точках-вузлах. При цьому якщо початкова задача відносно функції складається з функціонального рівняння, наприклад диференціального рівняння з відповідними граничними умовами, то задача МСЕ відносно її значень у вузлах є системою алгебраїчних рівнянь.

Із зменшенням розміру елементів максимально збільшується число вузових параметрів і невідомих вузлів. Разом з цим стає можливим точніше відбити рівняння завдання і тим самим наблизитися до шуканого рішення. У даний час вже вивчено багато питань, що стосуються збіжності наближеного рішення МСЕ до точного. Для лінійних задач, коли невідомі функції і операції над ними входять у всі співвідношення задачі тільки в першому ступені, МСЕ отримав достатньо повне математичне обґрунтування [11]. Вирішення лінійних задач МСЕ зводиться до рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Теоретичні основи МСЕ наступні [11]. Фундаментальний принцип МСЕ полягає в розбитті області, що вивчається, на елементарні області скінченних розмірів (скінченні елементи). У кожному скінченному елементі невідома функція апроксимується поліномом, ступінь якого міняється залежно від

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

поставленого завдання, але залишається зазвичай відносно невисоким (від 1 до 6). Для кожного елементу апроксимуючий поліном визначається його коефіцієнтами, що можуть бути визначені значеннями функції в окремих точках (вузлах елемента). Якщо функція в кожному вузлі відома, то на всій області є можливість її апроксимації. Можна також сказати, що невідома функція $A(x, y, z)$ залежить від m параметрів $A_1, A_2, \dots, A_m$, що є невідомими, які охарактеризовані функцією в кожному вузлі кожного елемента. Визначення параметрів $A_1, A_2, \dots, A_m$ є етапом визначення функції $A(x, y, z)$.

Знаючи варіаційне представлення задачі, потрібний інтеграл $\min \left\{ F(A) = \iiint_{\Omega} [A, A'_x, A'_y, A'_z, x, y, z] dx dy dz \right\}$ замінюють на суму інтегралів на кожному скінченному елементі області: $F(A) = \sum_{K=1}^{N_e} F_K(A)$, де N_e – число елементів розбиття і F_K – частина F на елементі з номером K . На кожному елементі з номером K функція A може бути замінена її апроксимацією $A = P(A_1^K, x, y, z)$, інтегрування якої дасть $F(A)$ у вигляді функції параметрів тільки одного елемента K : $F_K(A) = F(A_1^K)$. Сумуючи та приймаючи до уваги, що деякі з вузлів $1, 2, \dots, m$ є загальними для декількох елементів і що вплив кожного елемента повинен враховуватися у виразі для функції F щодо величин $A_1, A_2, \dots, A_m$ в цих вузлах невідомої функції, коли об'єднуються елементи для всієї області то отримуємо $F(A) = \sum_{K=1}^{N_e} F_K(A) = F(A_1, A_2, \dots, A_m)$.

Потім знаходиться оптимальне значення F по всій області, маючи на увазі, що окремі похідні F щодо величин $A_1, A_2, \dots, A_m$ одночасно перетворюються в нуль (наприклад $dF/du_1 = 0$). Ця операція приводить до складання системи з m рівнянь з m невідомими, які визначають величини $A_1, A_2, \dots, A_m$ у вузлах розбиття. Праву частину цих рівнянь отримують, виходячи з тієї

частини функції, що містить в собі члени, які характеризують джерела, або на основі значень A , заданих на межі області (неоднорідні граничні умови Діріхле).

Відзначимо декілька важливих переваг МСЕ [4].

1. Метод скінчених елементів дозволяє побудувати зрозумілу схему формування системи алгебраїчних рівнянь щодо шуканих вузлових значень функції.

2. Кожне алгебраїчне рівняння, отримане за допомогою методу скінчених елементів, містить частину вузлових невідомих значно меншу від загального їх числа. Багато коефіцієнтів в рівняннях алгебраїчної системи рівні нулю, що значно полегшує її рішення.

3. Задачі, вирішення яких описується функціями, що задовольняють функціональним рівнянням, носять назву континуальних. На відміну від них вирішення так званих дискретних задач точно визначається скінченим числом параметрів, що задовольняють відповідній системі алгебраїчних рівнянь. МСЕ, так само як і інші чисельні методи, по суті наближено замінює континуальну задачу на дискретну. У МСЕ вся процедура такої заміни має простий фізичний зміст. Це дозволяє більш повно уявити собі весь процес рішення задачі, уникнути багатьох можливих помилок і правильно оцінити отримані результати.

4. Крім континуальних задач схема МСЕ застосовується для з'єднання елементів і формування алгебраїчних рівнянь при вирішенні безпосередньо дискретних задач. Це розширює сферу застосування методу.

Основними чисельними методами вирішення систем лінійних рівнянь вигляду $a \cdot x = b$, що отримують при використанні МСЕ, є наступні [5]:

1) *прямі методи*:

- факторизація Гауса: застосовується до всіх дійсних або комплексних, симетричних або несиметричних несингулярних матриць;

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- факторизація Холоцького: застосовується до всіх дійсних симетричних позитивно визначених матриць;

2) ітераційні методи:

- зв'язані біградієнти з передобумовленістю: застосовуються до всіх несингулярних матриць (дійсним або комплексним);
- зв'язані градієнти з передобумовленістю: застосовуються до всіх дійсних симетричних позитивно визначених матриць.

У модифікованому вигляді дані методи можна використовувати для вирішення нелінійних систем методом Ньютона-Рафсона. Цей метод можна також використовувати для оптимізації результату, отриманого при рішенні системи лінійних рівнянь алгебри.

Під час використання МСЕ при визначенні елементарної матриці для кожного скінченного елементу необхідно обчислювати визначені інтеграли інтегруванням функцій, що апроксимуються за допомогою функцій форми. Якщо ж задача нелінійна або криволінійні елементи, неможливим стає аналітичне інтегрування і тоді використовують чисельне інтегрування. При інтегруванні по області можна використовувати інтегрування по кожному її елементу, застосовуючи ефективні і точні методи чисельного інтегрування основними з яких є:

1. метод Гауса широко використовується при інтегруванні лінійних елементів, але вимагає обчислення в певній кількості точок;
2. метод Ньютона-Котеса дозволяє обчислювати інтеграли тільки в точках, визначених користувачем. Зручний при інтегруванні на поверхнях, для яких розраховані гаусові координати і де досить рівномірно розподілені точки.

При застосуванні МСЕ до задач параболічного типу необхідно розв'язувати системи диференціальних рівнянь першого порядку. В цьому випадку застосовують наступні методи:

1. метод дотичних: досить простий метод, проте, щоб отримати достатню точність рішення, потрібно дуже малі етапи обчислень;
2. явні методи простіше використовувати, проте часто необхідно вибирати малі кроки обчислень внаслідок явища чисельної нестійкості;
3. неявні методи є більш стійкими і допускають великі етапи обчислень, проте на кожному етапі необхідно збільшувати об'єм обчислень через наявність неявного члена;
4. напівнеявні методи забезпечують велику точність в порівнянні з неявними методами, проте, як і у разі неявного методу, необхідні значні обчислення на кожному етапі. Частіше застосовується схема Кренка-Ніколсона, що забезпечує високу точність. Методи прогнозу-корекції призначені для того, щоб на кожному кроці обчислень уникнути ряду розрахунків, характерних для неявного методу. Їх принцип полягає в подвійному (одночасно неявному і явному) розрахунку при виконанні тільки однієї ітерації.

Популярність МСЕ сприяла створенню ряду комерційних пакетів програм, серед яких в механіці можна відзначити NASTRAN, ANSYS, SCAD, Cosmos, ASKA. Ці програми використовуються для конструкцій, що мають складну геометричну конфігурацію для статичних, динамічних та інших розрахунків.

2.2. Загальні положення створення моделі зразків та її аналізу

Чисельне моделювання зразків НДС виконували в програмі NASTRAN Femap 10.1.1 SC 32bit / 64 bit. Учбова версія SDRC-FEMAP 8/1a S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000. Ця програма скінченно-елементного аналізу розроблена компанією MacNealSchwendler Software – MSC. Software Corporation, що являється лідером у своїй ніші. Розробку системи NASTRAN фірма веде із 1965 року і на сьогодні нею випущений широкий набір програмних продуктів скінченно-елементного аналізу, що реалізують широкий спектр розрахунків (розрахунки тріщиностійкості, статичних задач, задач нелінійної поведінки конструкції динамічних процесів і теплопровідності та багато іншого).

					Лист
					14
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	

Достовірність розрахункових результатів виконаних з допомогою MSC/NASTRAN підтверджена використанням її за кордоном в промисловості більш ніж 35 років; відповідність вимог однієї із самих вимогливих офіційних програм забезпечення якості в США (QA program); більше 5000 тестів перед випуском кожної нової версії.

У результаті великого ажіотажу щодо інструкцій по ефективному використанню програми, було видано ряд книг, статей і рекомендацій [13].

Створення скінченно-елементної моделі для визначення НДС віртуальних зразків та її аналіз у пружній стадії роботи виконувались в наступному порядку.

1. Вибір системи координат. Призначення системи координат полягає у вказуванні положення точок у просторі або на площині. У процесі моделювання в MSC/NASTRAN необхідно створити сукупність точок, які разом з елементами визначають розміри і форму моделі. Завдання координат точок має на увазі використання певної системи координат. Базовою системою координат є ортогональна система координат, неявно визначена у всіх звичайно-елементних моделях MSC/NASTRAN.

Часто буває зручним задавати модель або яку-небудь її частина в координатній системі, відмінній від загальної. Поширений приклад використання локальних координат – це моделювання конструкції, що складається з декількох деталей. У цьому випадку можна використовувати розміри безпосередньо з креслень, без їх попереднього перетворення в єдину систему координат. Далі, якщо деталі задані в їх власних системах координат, їх положення і орієнтація можуть бути модифіковані шляхом змін в специфікації відповідної системи координат, мінімізуючи витрати часу на перестроювання сітки.

При створенні геометрії зразків використовувалась прямокутна декартова глобальна система координат – система, що використовується за умовчанням у

програмі NASTRAN. Система складається із трьох взаємно перпендикулярних площин.

2. Створення геометрії моделі. Для початку створюється плоский поперечний переріз з.б. конструкції за допомогою прямих ліній, що задаються координатами вузлових точок. Об'ємна модель (див. рисунок 2.1, а) конструкції (бетон) виконувалась шляхом видовження утвореної по заданих точках плоскої граничної поверхні на необхідну довжину (висоту) моделі. Для задавання стрижнів з арматури попередньо виділялись прямі їх розташування у бетоні. Тверде тіло різалося площинами, на перетині яких програма створювала прямі для наступного розташування на них арматурних стрижнів (див. рисунок 2.1, б).

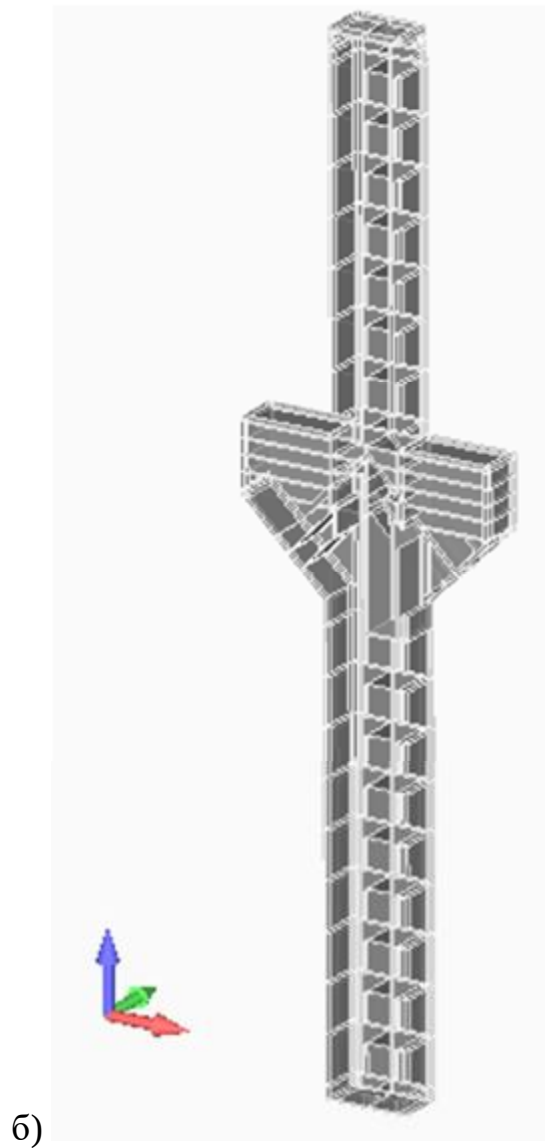
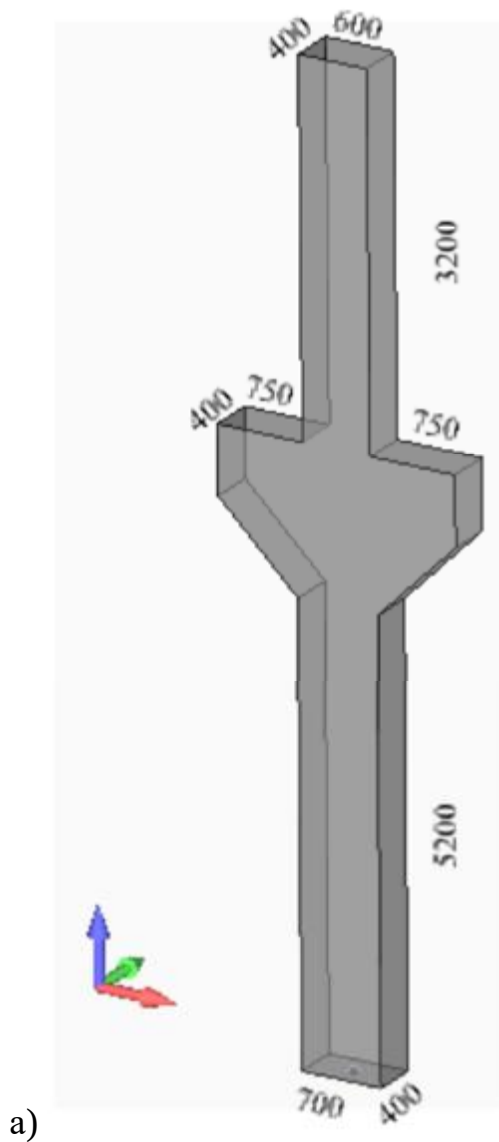


Рисунок 2.1. Створення габаритних геометричних розмірів модельованого твердого тіла (а) та виділення площин розташування арматурних стрижнів (б) на прикладі залізобетонної колони середнього ряду

3. Введення властивостей матеріалів. У MSC/NASTRAN можуть бути задані ізотропні, ортотропні та анізотропні матеріали.

Матеріали задавалися для моделі окремо як ізотропні. У вигляді скалярних величин задавалися всі властивості матеріалів. Значення фізико-механічних характеристик матеріалів та закону деформування беремо відповідно діючих нормативів. Третя константа – модуль зсуву G – автоматично визначалася згідно співвідношення між E та ν .

Передбачалося що конструкцій будуть працювати у пружно-пластичній стадії під час моделювання. При задаванні властивостей матеріалів було враховано криволінійну та дволінійну залежність між навантаженням-деформаціями. Діаграма роботи сталі задавалася як діаграма Прандтля (див. рис. 2.2). Вважаємо, що критичні деформації в бетоні наступають раніше, ніж ділянка зміцнення сталі. Діаграма роботи сталі обривається на ділянці текучості. На рисунку 2.2 показана діаграма деформування σ_s - ϵ_s для арматури класу А-III. Початковий модуль пружності $E_s=2 \times 10^5$ МПа, напруження на межі текучості $\sigma_s=365$ МПа, деформації на межі текучості $\epsilon_s=1,825 \times 10^{-3}$.

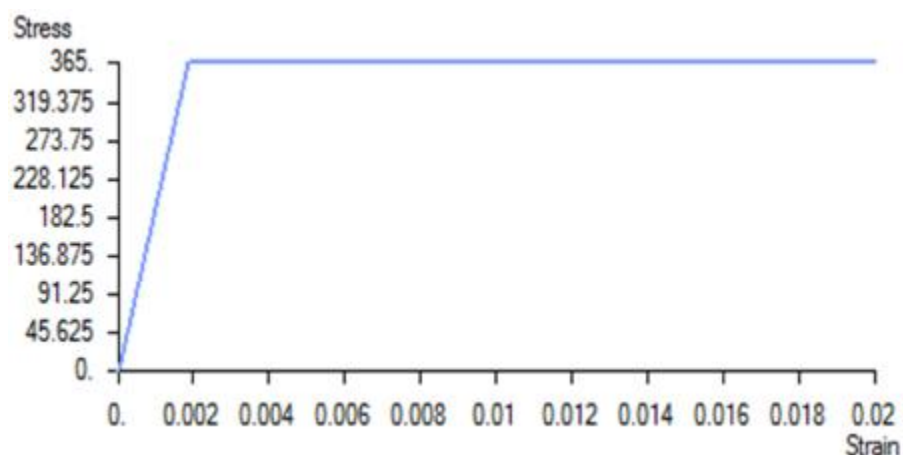


Рисунок 2.2. Спрощений дволінійний закон деформування $\sigma_s-\epsilon_s$

Для визначення найбільш ефективного закону деформування бетону $\sigma_b-\epsilon_b$ з точки зору перерозподілу зусиль між бетоном та арматурними стрижнями ми, було виконано порівняння результатів моделювання НДС залізобетонних колон при задаванні трьох типів діаграм $\sigma_b-\epsilon_b$.

I. Спрощена дволінійна діаграма, задана згідно СНиП 2.03.84 (див. рисунок 2.3). При цьому початковий модуль пружності $E_b=2 \times 10^4$ МПа, напруження на кінці ділянки пружності $\sigma_b=18,5$ МПа, деформації на кінці ділянки пружності $\epsilon_b=9,25 \times 10^{-4}$.

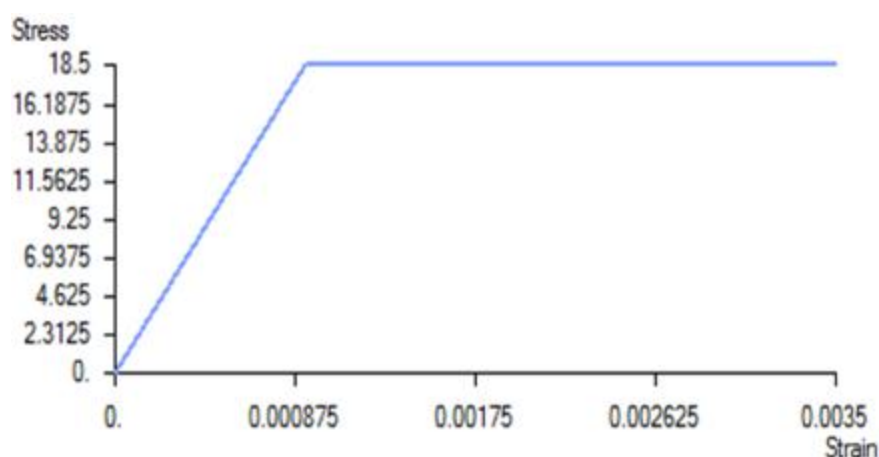


Рисунок 5.3. Спрощений дволінійний закон деформування $\sigma_b-\epsilon_b$

II. Повна діаграма деформування бетону $\sigma_b-\epsilon_b$, побудована за ДБН В.2.6-98:2009 (див. Рисунок 2.4) [22]. При цьому діаграма стану бетону на стиск $\sigma_b-\epsilon_b$ задавалася в такому вигляді:

$$\frac{\sigma_i}{R_b} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}, \quad (2.1)$$

де $\eta = \epsilon_{bm} / \epsilon_{bR}$ – рівень деформації крайньої фібри;

$k = \frac{E_b \epsilon_{bR}}{R_b}$ – коефіцієнт пружно-пластичних властивостей бетону;

При цьому початковий модуль пружності $E_b=2,66 \times 10^4$ МПа, напруження на кінці ділянки пружності (чи ділянки пропорційності) $\sigma_b=4,6$ МПа, деформації на кінці ділянки пружності $\varepsilon_b=1,73 \times 10^{-4}$, максимальні граничні напруження $\sigma_b=18,49$ МПа при деформаціях $\varepsilon_b=1,72 \times 10^{-3}$.

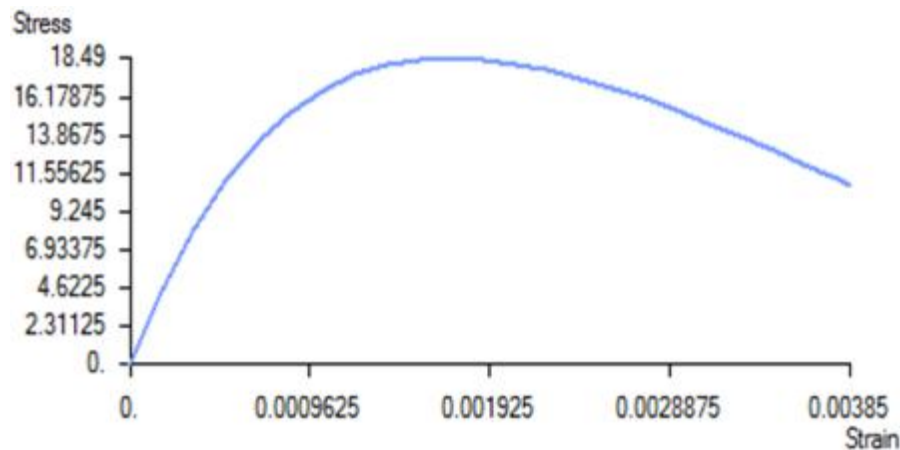


Рисунок 2.4. Повна діаграма деформування σ_b - ε_b побудована за ДБН В.2.6-98:2009

III. Повна діаграма деформування бетону σ_b - ε_b із аналітичним обмеженням фібрових деформацій (див. рисунок 5.5) [22] будується за формулою 2.1.

де $\eta = \varepsilon_{bm} / \varepsilon_{bR}$ – рівень деформації крайньої фібри;

$k = E_b \varepsilon_{bR} / R_b$ – коефіцієнт пружно-пластичних властивостей бетону;

$\varepsilon_{bR} = 0,0007 R_b^{0,31}$ – деформації у вершині діаграми.

Для бетону класу В25, коефіцієнт k становить 2,524. Використовуючи залежність $h_u - k$, наведену в [22], відповідно матимемо, що $h_u = 1,309$. А максимальне значення фібрових деформацій бетону стиснутої полички: $\varepsilon_{bm} = \varepsilon_{bR} \eta_u$. При цьому початковий модуль пружності $E_b=2,7 \times 10^4$ МПа, напруження на кінці ділянки пружності (чи ділянки пропорційності) $\sigma_b=1,998$ МПа, деформації на кінці ділянки пружності $\varepsilon_b=7,4 \times 10^{-5}$, максимальні граничні напруження $\sigma_b=18,81$ МПа при деформаціях $\varepsilon_b=1,728 \times 10^{-3}$.

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

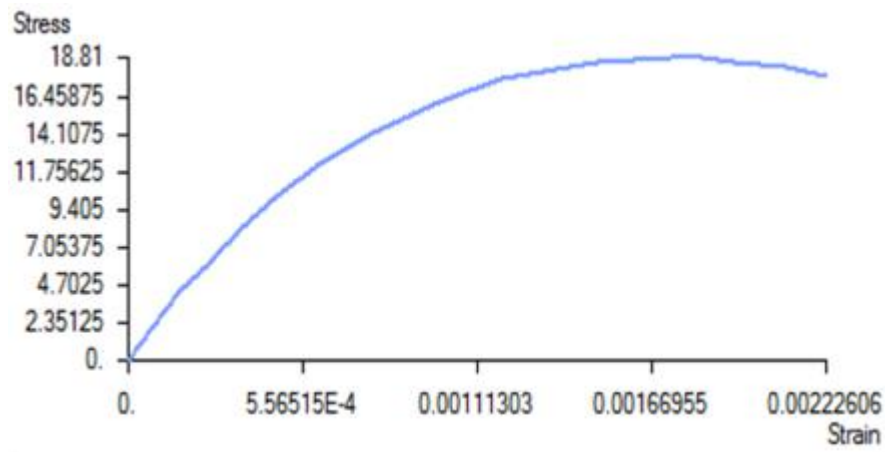
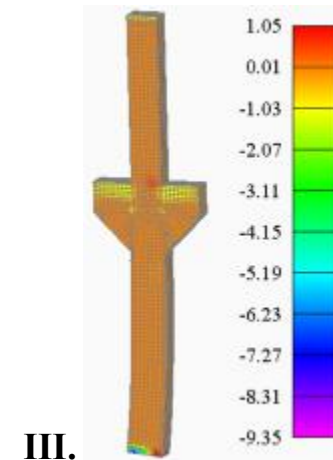
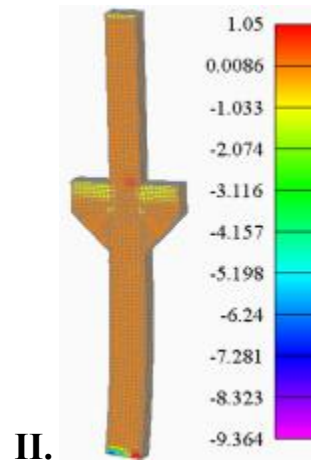
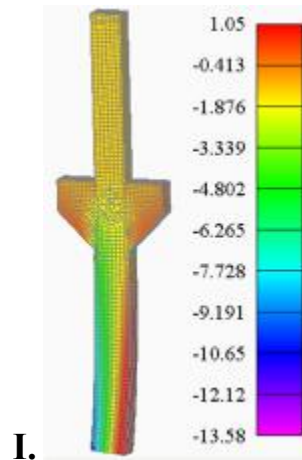


Рисунок 2.5. Повна діаграма деформування σ_b - ϵ_b із аналітичним обмеженням фібрових деформацій

Із використанням трьох типів діаграм було змодельовані, пораховані та порівняні отримані результати НДС моделі залізобетонної колони середнього ряду. Результати моделювання (розподіли напружень на поверхні бетону та в арматурі колони) показані на рисунку 2.6. Максимальні значення напружень у бетоні та арматурі зведено до таблиці 2.1. Найбільший перерозподіл зусиль між бетоном та арматурними стрижнями виявився при застосуванні діаграми деформування бетону σ_b - ϵ_b із аналітичним обмеженням фібрових деформацій, який і було прийнято в подальших розрахунках.

Розподіл напружень (МПа) на поверхні бетону при різних законах $\sigma_b-\epsilon_b$:



Розподіл напружень (МПа) в арматурі колони при різних законах $\sigma_b-\epsilon_b$:

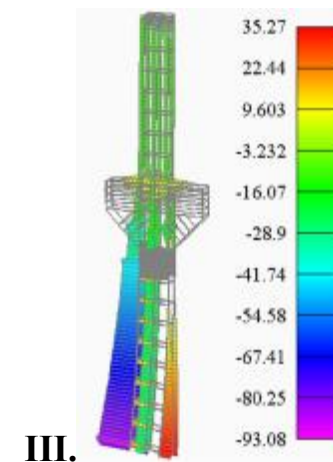
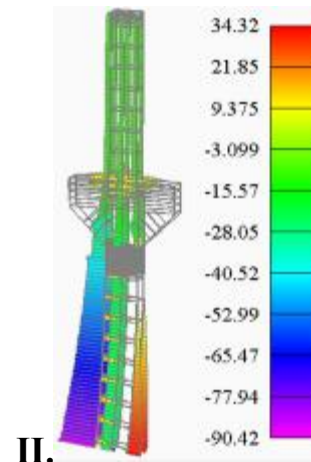
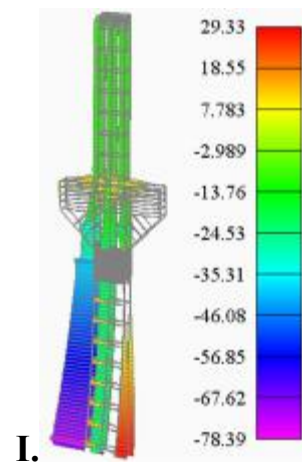


Рисунок 2.6. Результати моделювання моделі залізобетонної колони середнього ряду при різних законах $\sigma_b-\epsilon_b$

Таблиця 2.1

Максимальні значення напружень у бетоні та арматурі моделі залізобетонної колони середнього ряду при застосуванні різних законів деформування σ_b - ϵ_b

Закон σ_b - ϵ_b	Максимальні напруження, МПа	
	σ_b	σ_s
I	-11,5	-78,4 +29,3
II	-9,61	-90,5 +34,3
III	-9,60	-93,1 +35,2

4. Вибір типу (СЕ) та розбиття моделі на СЕ. Створена об'ємна модель “розбивалася” скінченними елементами. У лінійному аналізі в статичці елементи представляються пружними частинками. Така математична апроксимація достатньо наближено описує реальну поведінку конструкції. Метою скінченно-елементного моделювання є складання з дискретних частинок моделі, що найдостовірніше описує реальну конструкцію та її роботу.

Бібліотека елементів MSC/NASTRAN складається з великого числа елементів, які можна розділити на 4 категорії: скалярні, одновимірні (1-D), двовимірні (2-D) і тривимірні (3-D).

Скалярні елементи або 0-мірні елементи моделюють пружини, зосереджені маси і в'язкі демпфери. Для статичного аналізу найчастіше використовується скалярна пружина. Скалярні елементи маси використовуються дуже часто, проте вони потрібні, якщо змодельовати

зосереджену масу в одному напрямі. Скалярні демпфери в статичному аналізі не використовуються. Всі скалярні елементи визначаються між двома мірами свободи моделі або між мірою свободи і землею (затисканням). У скалярних елементах жорсткості не обчислюються по фізичних властивостях, а задаються окремо.

Одновимірні елементи – це такі, властивості яких визначаються вповдовж прямої або кривої. Типові об'єкти моделювання одновимірними елементами – це стрижні, балки, стрингера і т.п.

Двомірні елементи, звані зазвичай елементами пластин і оболонок, використовуються для моделювання об'єктів, у яких одне з вимірювань (товщина) мало в порівнянні з двома іншими (наприклад, арматурні стрижні просторового каркасу). У МСЕ мембранні характеристики визначаються по одній з двох теорій: плоского напруженого стану або плоского деформованого стану. Для плоского напруженого стану передбачається, що деформації в поперечному напрямі постійні. Відмітимо, що двомірний елемент може знаходитися або в плоско-напруженому, або в плоско-деформованому стані, але не в обох відразу. За умовчанням зазвичай використовувані лінійні двомірні елементи в MSC/NASTRAN є елементами плоско-напруженого стану.

Кожне з вказаних формулювань – плоско-напруженого або плоско-деформованого стану застосовна до відповідного типу завдань. Типові тонкостінні конструкції, виготовлені з традиційних матеріалів, – сталей і алюмінієвих сплавів – як правило добре моделюються елементами плоско-напруженого стану.

Тривимірні елементи застосовуються для моделювання конструкцій, поведінка яких під навантаженням не може бути представлена балочними і оболонковими елементами. Тривимірні елементи зазвичай називають об'ємними (solid) елементами. Типовими випадками використання таких елементів є моделювання колон, фундаментів тощо. Запропоновані в базі

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

NASTRAN тривимірні елементи поділяються на тетраедри (об'ємне тіло із чотирма сторонами та чотирма кутами – рисунок 3.7, а) та гексаедри (об'ємне тіло із шістьма сторонами та вісьмома кутами – рисунок 2.7, б). При моделюванні просторових тіл правильної геометричної форми перевагу надають СЕ у вигляді гексаедра.

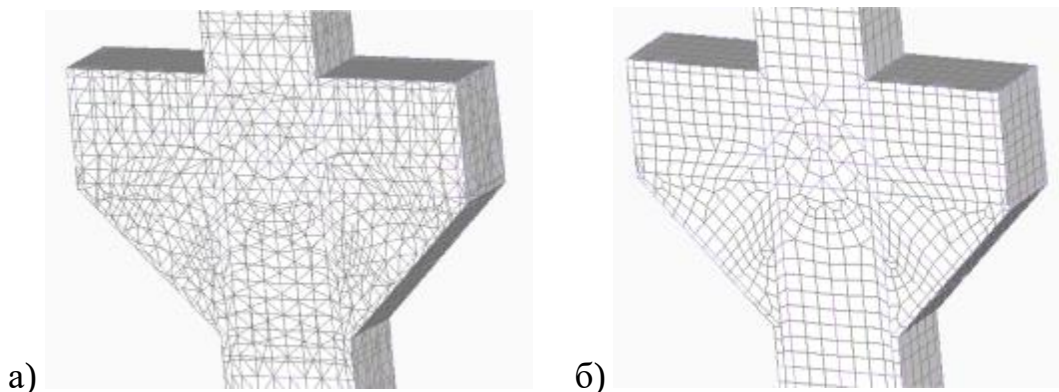


Рисунок 2.7. Скінченно-елементна сітка у вигляді тетраедрів (а) та гексаедрів (б)

Об'ємні елементи Hex Mesh можуть об'єднувати від 6 (у випадку наявності точок тільки на вершинах) до 14 вузлових точок (коли є проміжні точки на ребрах). Вузли між собою не мають поступальних, проте мають обертальні переміщення (тобто об'ємні елементи один відносно одного переміщатися не можуть, а можуть лише вільно обертатися відносно вузлових точок). Напруження в елементі обчислюється в його центрі. Також можливий досить зручний перегляд значень напружень та деформацій на вершинах СЕ.

На вибір типу та розміру об'ємних СЕ вплинули час створення об'ємної сітки, необхідний дисковий простір для проведення розрахунку, точність та збіжність результатів розрахунку моделей розбитих різними СЕ. Зокрема велика величина відношення сторін та відхилення кута нахилу граней елемента від 120° приводять до зниження точності результатів розрахунку [12]. Результати розбиття моделі колони середнього ряду на різні об'ємні СЕ зведено до таблиці 2.2.

За результатами аналізу для створення скінченно-елементної сітки зразків приймалося використання трьохвимірних елементів типу solid у формі гексаедрів. Для створення скінченно-елементної сітки арматурного каркасу, а також лінійних сталевих конструкцій підсилення (кутників та полос) використовувалися лінійні елементи типу Beam із вказування форми перерізу (Circular Bar або Rectangular Bar) та її розмірів (Diameter або Height і Width). Розмір сторони елемента приймався 100 мм, що складає близько 1,2% від максимального розміру моделі (висоти чи довжини).

Таблиця 2.2

Результати розбиття моделі колони середнього ряду на різні об'ємні СЕ

Розмір СЕ, мм	Тип СЕ	
	тетраедр	гексаедр
50	195760	34390
75	71582	18154
100	49570	9694
125	38520	7265
150	32926	6890

При розрахунку моделі МСЕ велике значення впливає симетрична сітка, так як у протилежному випадку розподіл напружень і деформацій матимуть несиметричний вигляд. Щоб цього не відбулося, перед розбиттям на скінченні елементи виконувався контроль розрізання тіла моделі у двох симетричних площинах.

Після розбиття тіла на СЕ виконувалося обов'язкове об'єднання співпадаючих точок (вузлів СЕ), що утворилися у результаті розрізання тіла, для утворення єдиного тіла, у тому числі і об'єднання співпадаючих вузлів

різних матеріалів – сталі та бетону. Скінченно-елементна сітка бетону колони та арматурних каркасів показана на рисунку 2.8.

5. Задавання ступенів свободи, граничних умов – в'язей, що прикладаються до конструкції. Результатом прикладеного навантаження є опорні реакції в точках закріплення конструкції, де зведені граничні умови у формі фіксування конкретних ступенів вільності моделі.

До зразків прикладались рівномірно розподілені по площині граничні умови. Для горизонтального (нижнього) обрізу моделі представленої колони заборонялися кутові та поступальні переміщення.

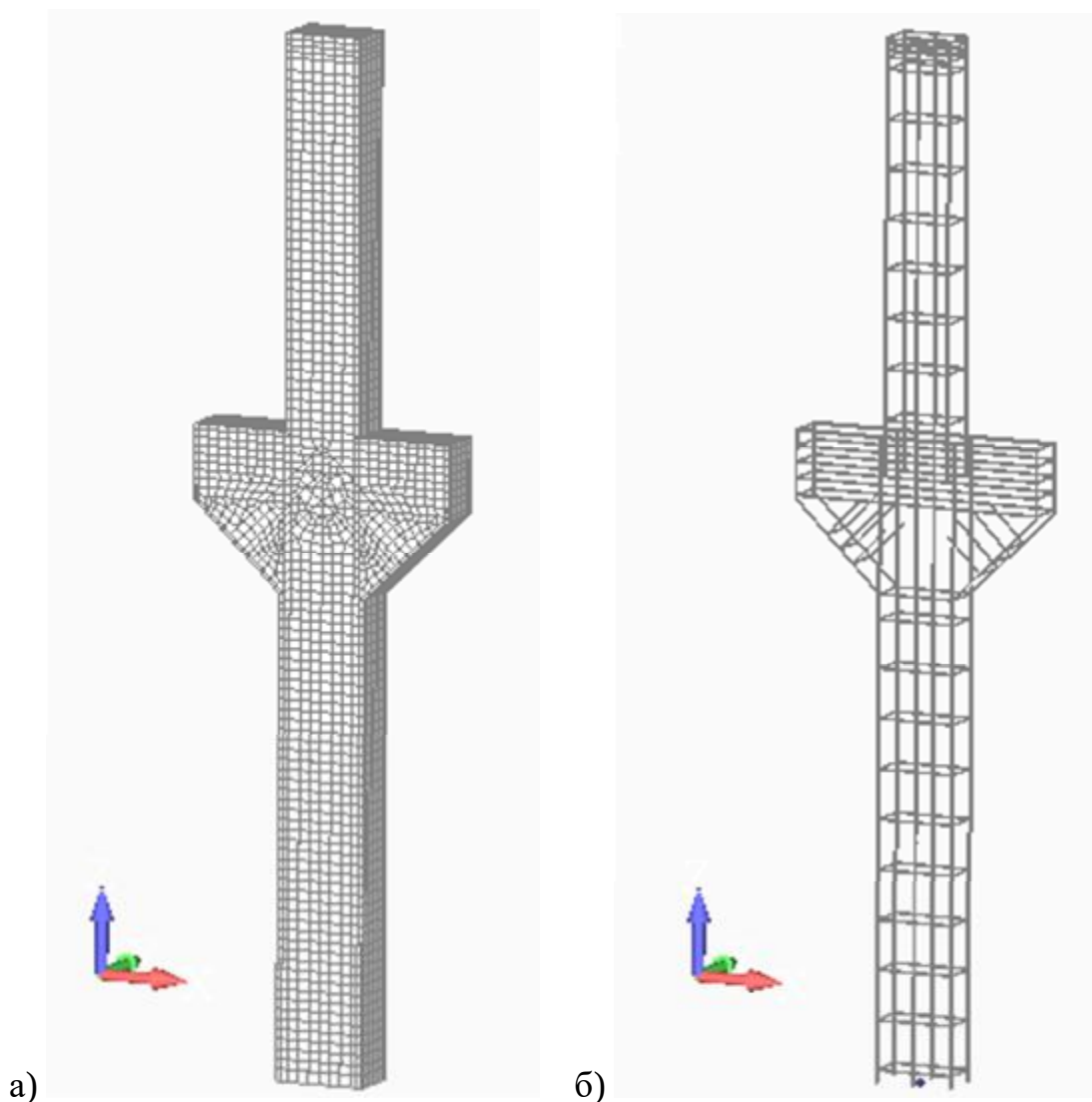


Рисунок 2.8. Скінченно-елементна сітка бетону колони (а) і арматурних каркасів (б)

6. Формування системи навантажень та задавання їх значень. Навантаження прикладалась до дослідних зразків як статичні рівномірно розподілені по площині верхнього обрізу (навантаження від конструкції покрівлі та ферм покриття) а також по площинах консолей даних колони (від дії мостових кранів які можуть бути у споруді). Навантаження від мостових кранів враховане як вертикальне, а від гальмування візка крану з вантажем горизонтальне. В поєднанному зусиллі навантаження від власної ваги не включали так як вона незначна порівнюючи з загальною несучою здатністю конструкції яка моделювалася. На рисунку 3.9 показана схема завантаження та закріплення моделі колони середнього ряду.

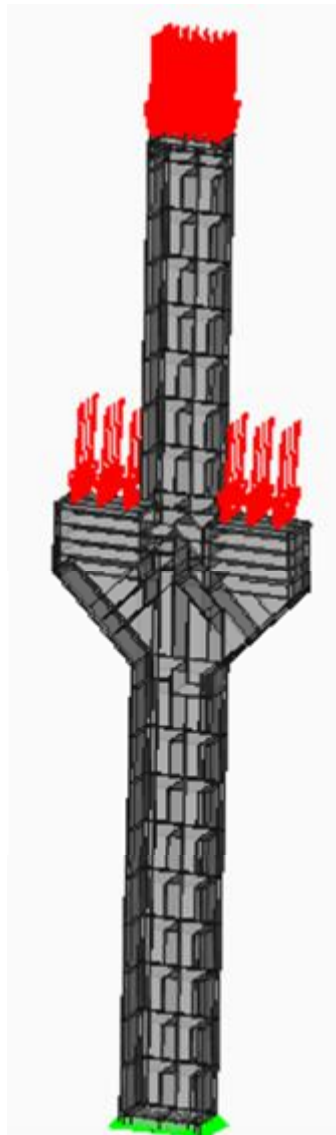


Рис. 2.9. Схема завантаження та закріплення моделі колони середнього ряду

7. Перевірка коректності розробленої моделі. Після створення твердого тіла, видалялися зайві граничні поверхні через які могли виникнути фатальні помилки при розрахунках. Також контролювалася якість та симетричність розбиття моделі на скінченні елементи, кількість об'єднання співпадаючих вузлів скінченно-елементної решітки (пункт 4), тип граничних умов, величини прикладених навантажень та поверхні їх поширення (пункт 5 і 6).

8. Вибір типу скінченно-елементного аналізу. Для проведення моделювання будівельних конструкцій, використовувались такі типи скінченно-елементного аналізу.

А. Лінійний статичний аналіз (Static) проводився в першу чергу як пробний для контролю коректності створення моделі конструкції. У разі підтвердження правильності розробленої моделі, виконувався наступний повний розрахунок.

В. Нелінійний статичний аналіз (Nonlinear Static) – основний тип аналізу, під час проведення якого програма враховувала попередньо задані залежності роботи матеріалів (діаграми σ - ϵ). Результати цього типу аналізу використовувалися для порівняння напружено-деформованого стану несучих будівельних конструкцій як без пошкоджень, так і з ними, а також із врахуванням конструкцій підсилення.

С. Розрахунок на стійкість (Buckling) проводився з метою визначення форми втрати стійкості гнучких елементів будівельних конструкцій, таких як оголені стрижні арматурних каркасів тощо.

9. Розрахунок конструкції – скінченно-елементний аналіз. Як вже вказувалося, моделі розраховувалися на статичне навантаження. Було прикладено 10 ступенів навантаження від початку завантаження до максимально значення з включенням опції показу результатів на проміжних ступенях. Задане число ітерацій на кожній ступені – 5.

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

10. Аналіз отриманих результатів розрахунків та формування їх представлення для практичного використання. Результатом розрахунків методом СЕ за допомогою ЕОМ були отримані нові графіки розподілу відносно головних осей деформацій а також напружень на поверхні бетону, а також в будь-якому перерізу чи в арматурних стрижнях, та наведені їх числові значення із вказуванням екстремумів. Аналіз чисельного моделювання найбільш характерних результатів НДС наведений далі у підпунктах даного розділу.

2.3. Результати чисельного моделювання напружено-деформованого стану залізобетонної колони середнього ряду із врахуванням пошкодження та наступного підсилення

Створення геометричного тіла колони, виділення площин армування, задавання характеристик матеріалів, схеми завантаження та закріплення моделі залізобетонної колони середнього ряду описані вище у підрозділі 3.2 даної роботи. Опис збору навантажень на колону описано у розділі 2. У даному підрозділі описано лише результати чисельного моделювання та їх аналіз.

Спочатку було проведено розрахунок чисельний колони без пошкодження залізобетонної середнього ряду. Результатом розрахунку отримано, найбільші напруження в зоні стиску бетону рівні $-8,6$ МПа; найбільші напруження стрижня x у розтягнутих арматури $- +69,35$ МПа, у стиснутих $-205,7$ МПа.

Наступний етап це моделювання пошкодження колони на глибину 50 мм у вигляді “збитого” кута бетону та оголення поздовжньої несучої арматури на довжині 1000 мм від опори. Досліджувалися дві моделі – із розташуванням пошкодження розтягнутої чи із стиснутої сторони колони. Загальний вигляд пошкодження на скінченно-елементній сітці колони показано на рисунку 5.10.

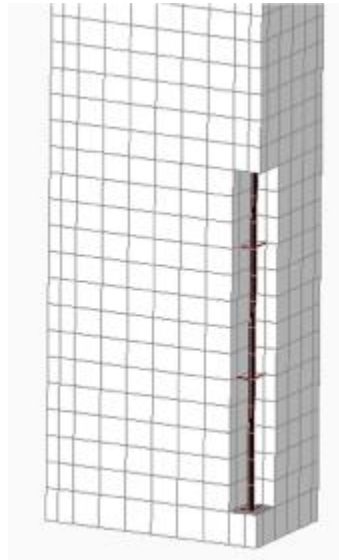


Рисунок 2.10. Пошкодження кута колони на глибину 50 мм

Наступним кроком моделювалося підсилення колони яка була пошкоджена – ми запроектували влаштування обойми по кутам колони із кутників рівнополичкових, які скріплювалися за допомогою горизонтальних накладок (детальніше конструкцію підсилення колони описано у розділі 2 даної роботи).

На рисунку 2.11 наведені результати розрахунку напружено-деформованого стану моделі залізобетонної колони середнього ряду без пошкоджень, з пошкодженням глибиною 5 см та після влаштування підсилення сталевую обоймою. Показані діаграми розподілу головних напружень, на яких колір відповідає певному значенню напружень. На стовпчику напружень, показано кольором відповідність до величини числових значень досліджуваного параметру.

Аналізуючи розподіли напружень, показані на рисунку 2.11, можна зазначити, що наявність бетонного осердя колони з пошкодженням на глибину 50 мм, що складає 0,6% площі поперечного перерізу, конструкції колони не впливає на розвиток напружень: у бетоні при цьому напруження збільшуються до 5%, а в арматурних стрижнях не змінюються напруження майже. У стиснутій зоні при оголенні поздовжньої арматури спостерігається

концентрація напружень, це може привести до втрати стійкості арматурного стрижня. Влаштування обойми з сталевих кутників при цьому є фінансово необґрунтованим, проте наявність обойми зменшує напруження у арматурі та бетоні на 17...23%.

Були змодельовані ще два типи пошкоджень для визначення ступеня впливу величини пошкодження на напружено-деформований стан залізобетонної колони, висота пошкодження 1000 мм на куті колони біля опорної зони, вони відрізнялися глибиною пошкодження: 100 мм і 200 мм, що складало 10% і 2,5% площі перерізу колони. Вигляд описаних пошкоджень на скінченно-елементній сітці колони показано на рисунку 2.12.

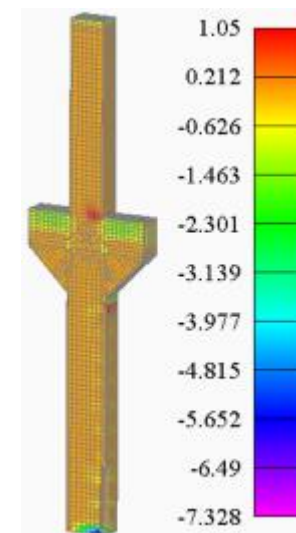
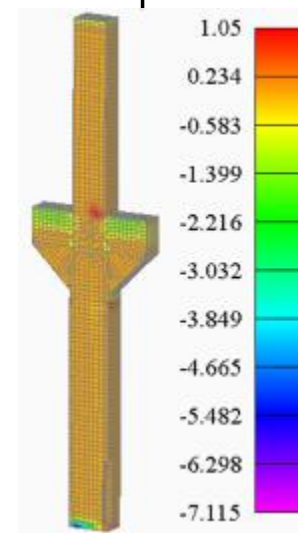
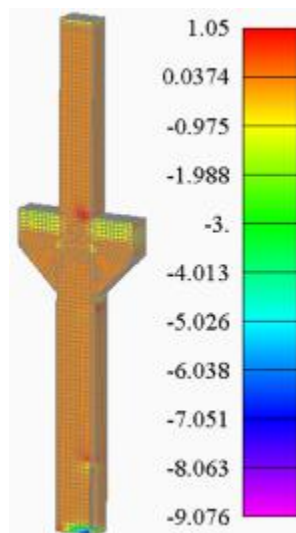
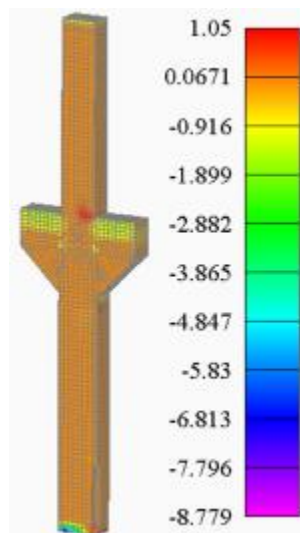
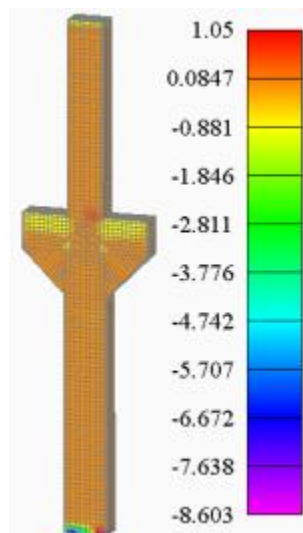
					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Колона без
пошкоджень

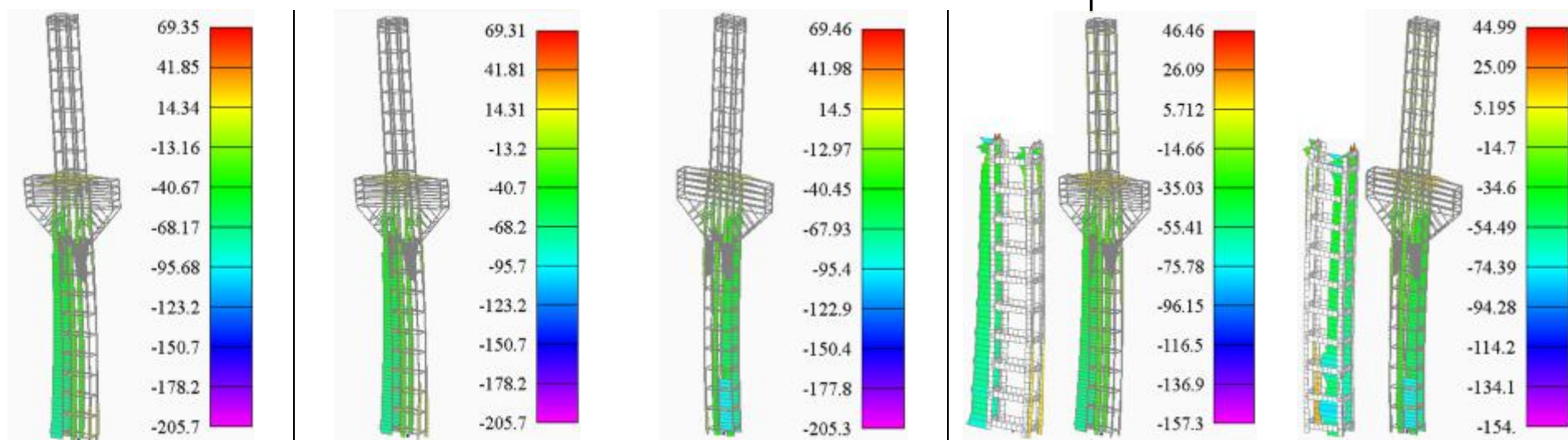
Колона з пошкодженнями глибиною 5 см:
у розтягнутій зоні у стиснутій зоні

Підсилена колона з пошкодженнями:
у розтягнутій зоні у стиснутій зоні

РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ (МПа) НА ПОВЕРХНІ БЕТОНУ КОЛОНИ



РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ (МПа) В АРМАТУРНИХ КАРКАСАХ КОЛОНИ



Рисуно 5.11. Результати чисельного розрахунку НДС моделі залізобетонної колони середнього ряду

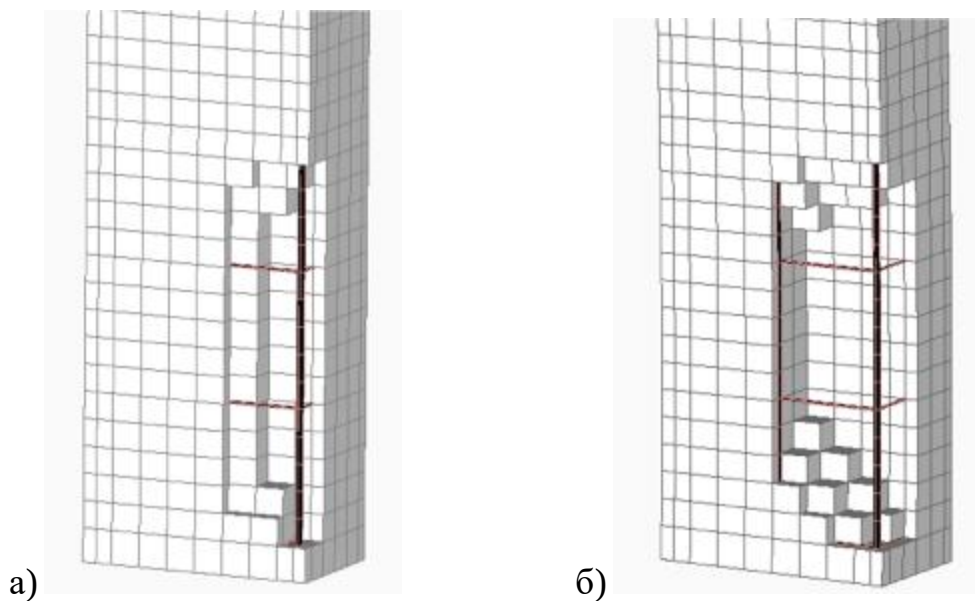


Рисунок 2.12. Пошкодження кута колони на глибину 100 мм (а) і 200 мм (б)

Виявилось, що найбільші концентратори виникаючих напружень при глибині пошкодження 200 мм. Напруження розподіляються навколо такої зони пошкодження рівномірно на бетоні та в арматурних стрижнях це наведено на малюнках 2.13 і 2.14. При розташуванні пошкодження осердя бетону у розтягнутій зоні, арматурний стрижень при цьому виявляється без напружень (взагалі) (див. рис. 2.14, а). Якщо пошкодження осердя бетону у стиснутій зоні – в арматурному стрижні виникають напруження стиску, які призводять до втрати стійкості стрижня арматури та косого стиску що виникає у перерізах колони (див. рис. 2.14, б). В арматурному стрижні, що знаходиться навпроти від пошкодження, виникають сконцентровані напруження розтягу, цей свідчить про перерозподіл зусиль у перерізі комбінованому.

За результатами НДС виконано порівняння впливу глибини пошкодження на несучу здатність колони. Для зручності виконане порівняння показане на графіках у вигляді гістограм. На рисунках 2.15 і 2.16 наведені графіки зміни максимальних напружень у бетоні та у арматурних стрижнях відповідно в залежності від величини пошкодження. На вказаних гістограмах на лівому ряді стовпчиків значень (стовпчики залиті однотонним фоном) показані

максимальні напружень у колоні без пошкоджень; на наступних двох середніх рядах стовпчиків (стовпчики залиті рябою текстурою для підкреслення саме розгляду пошкоджених колон) – максимальні значення напружень у колоні з різними типами пошкоджень; на крайніх двох правих рядах стовпчиків (границі стовпчиків виділені жирними лініями для підкреслення влаштування обойми з кутників) – максимальні значення напружень у пошкоджених колонах після підсилення.

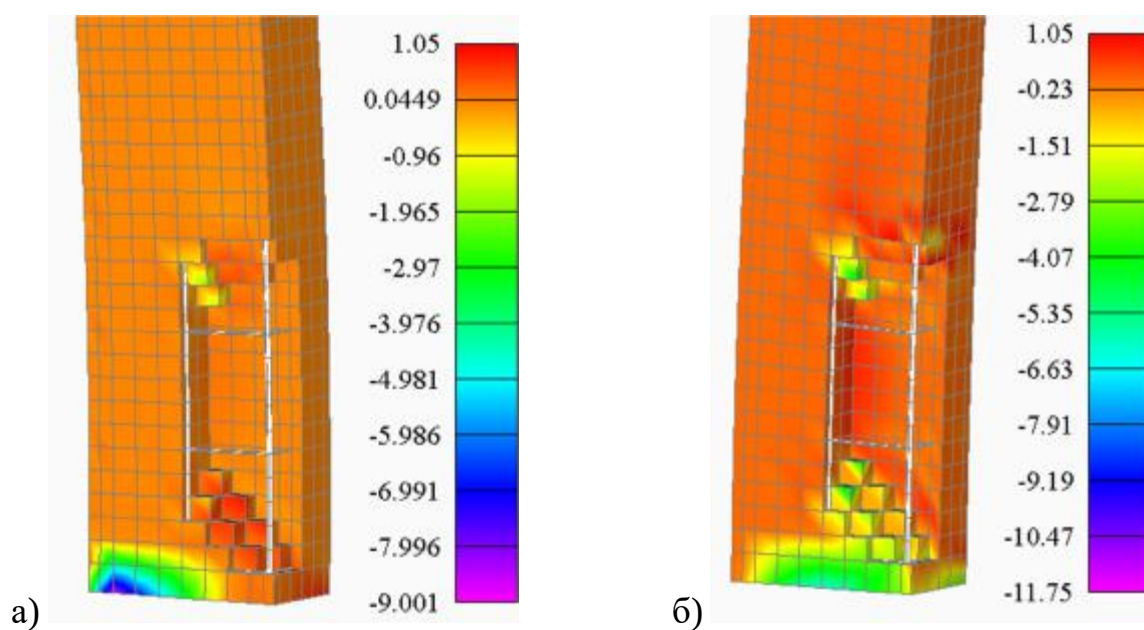


Рисунок 2.13. Розподіл напружень (МПа) на бетоні колони при пошкодженні глибиною 200 мм у розтягнутій (а) та стиснутій (б) зонах

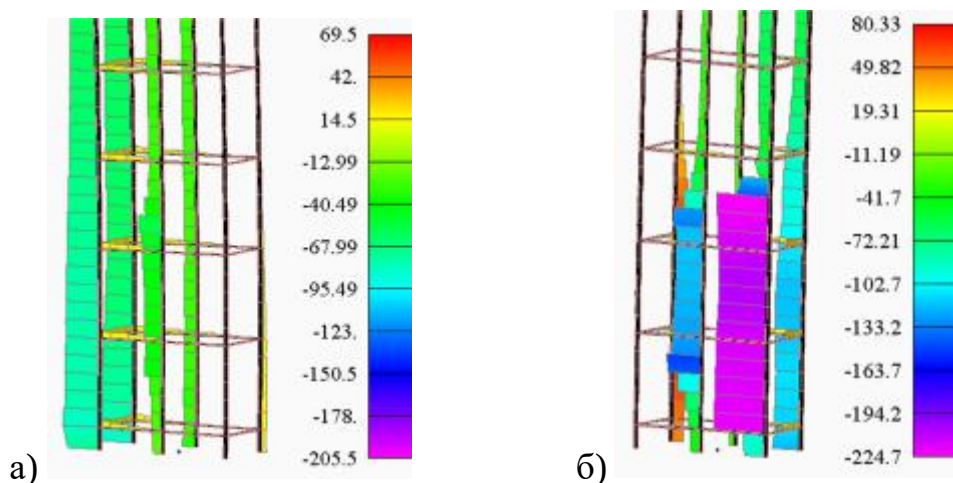


Рисунок 2.14. Розподіл напружень (МПа) в арматурних стрижнях колони при пошкодженні глибиною 200 мм у розтягнутій (а) та стиснутій (б) зонах

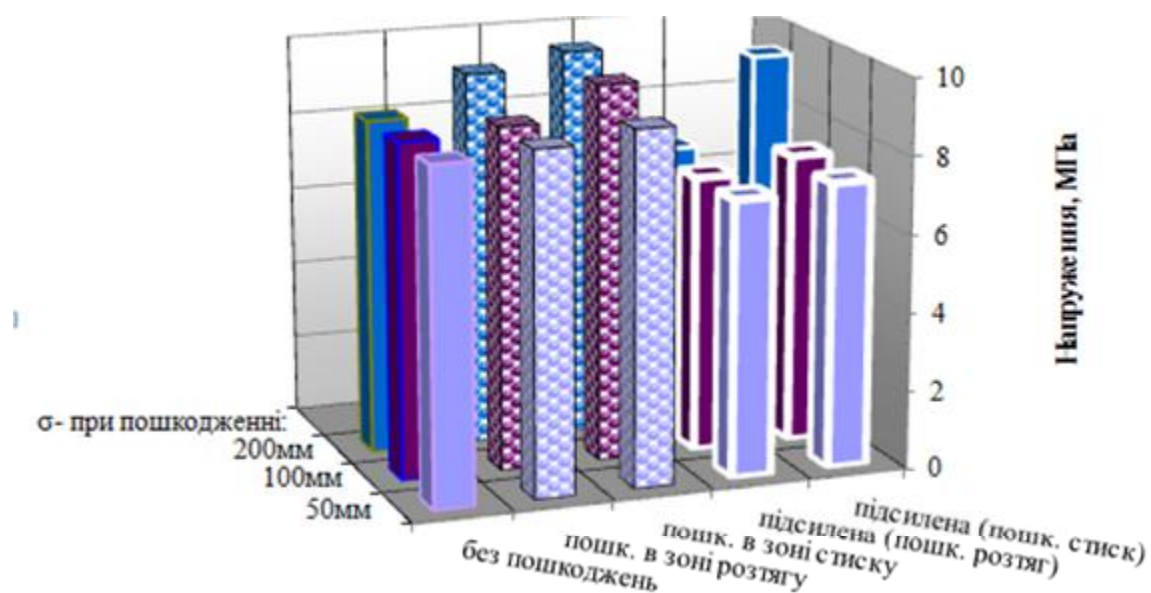


Рисунок 2.15. Зміна максимальних напружень у бетоні колони середнього ряду в залежності від величини пошкодження

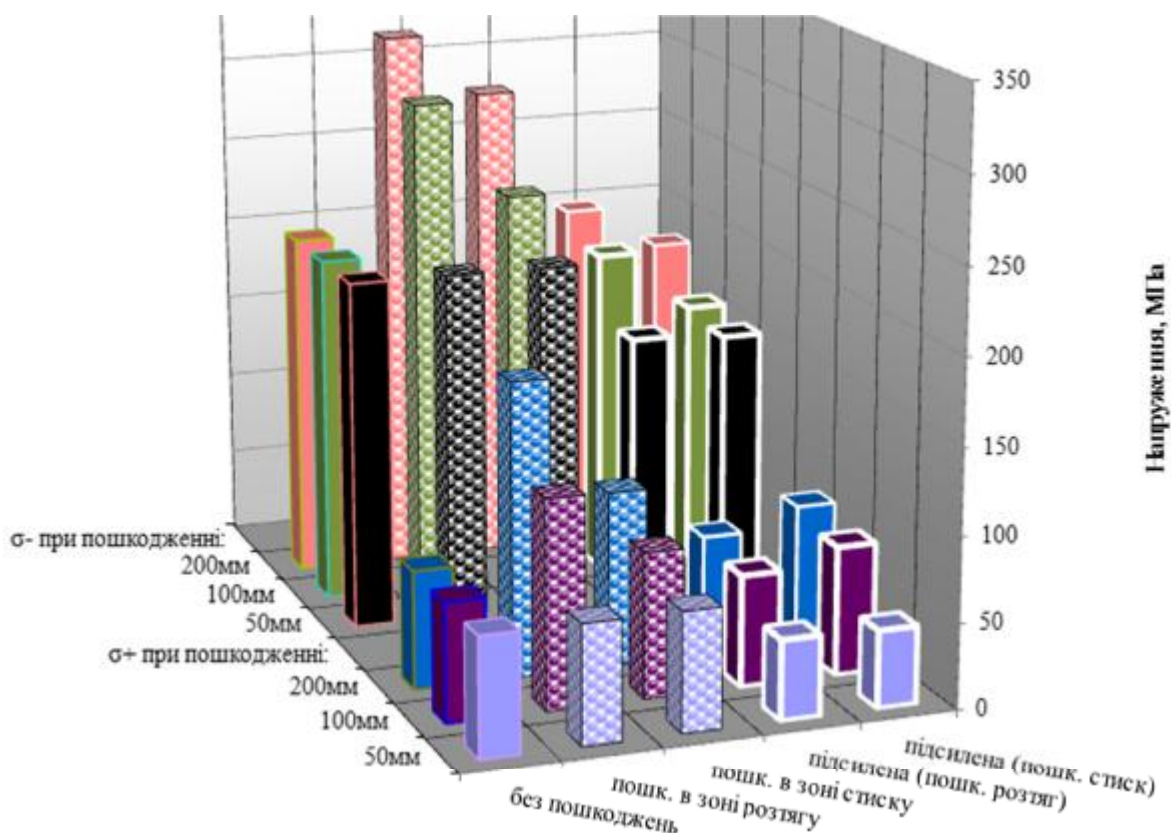


Рисунок 2.16. Зміна максимальних напружень у арматурних стрижнях колони середнього ряду в залежності від величини пошкодження

Дані, наведені на гістограмах на рисунках 2.15 і 2.16, ще раз підтверджують зроблений вище висновок. Наявність пошкодження бетонного кута колони на глибину 50 мм з оголенням робочої арматури, що складає 0,6% від площі поперечного перерізу, суттєво не впливає на підвищення напружень у перерізах колони. Влаштування сталевий обійми підсилення при цьому є недоцільним. При наявності пошкодження бетонного кута колони на глибину 100 мм з оголенням робочої арматури, що складає 2,5% від площі поперечного перерізу, напруження у бетоні підвищуються на 10% в арматурних стрижнях на 43%, залишаючись при цьому в межах допустимих граничних. Пошкодження бетонного кута колони на глибину 200 мм (10% від площі поперечного перерізу колони) приводить до збільшення напружень в бетоні на 27%, а в арматурних стрижнях на 58%. Напруження при цьому сягають граничнодопустимих значень. Влаштування сталевий обійми з кутників зменшують напруження як в бетоні, так і в арматурних стрижнях до рівня напружень в непошкодженій колоні.

2.4. Результати чисельного моделювання напружено-деформованого стану залізобетонної колони крайнього ряду із врахуванням пошкодження та наступного підсилення

Створення геометричного тіла колони, виділення площин армування, задавання характеристик матеріалів, схеми завантаження та закріплення моделі залізобетонної колони крайнього ряду виконано аналогічно колоні середнього ряду, порядок створення моделі якої описано вище. Опис збору навантажень на колону описано у розділі 2. У даному підрозділі описано лише результати чисельного моделювання та їх аналіз.

В першу чергу було проведено чисельний розрахунок колони крайнього ряду без пошкодження. За результатами розрахунку отримано, що найбільші

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

напруження в стиснутій зоні бетону рівні $-10,96$ МПа; найбільші напруження у розтягнутих стрижнях арматури рівні $+66,67$ МПа, у стиснутих $-116,7$ МПа.

Потім змодельоване пошкодження колони на глибину 50 мм, 100 мм і 200 мм, аналогічне пошкодженням колони середнього ряду (див. рис. 2.10 і 2.12). При цьому ці пошкодження змодельовані при додатних і від'ємних горизонтальних зусиллях від дії гальмування візка мостового крану. Далі досліджені моделі пошкоджених колон після підсилення. На рисунку 2.17 наведені результати розрахунку напружено-деформованого стану моделі залізобетонної колони крайнього ряду без пошкоджень, з пошкодженням глибиною 5 см та після влаштування підсилення сталеву обіймою. Показані діаграми розподілу головних напружень, на яких колір відповідає певному значенню напружень. На стовпчику напружень, що знаходиться справа від моделі, показана відповідність кольору до величини числових значень досліджуваного параметру.

Аналізуючи розподіли напружень, показані на рисунку 2.17, можна зазначити, що наявність пошкодження бетонного осердя колони на глибину 50 мм, що складає $0,6\%$ площі поперечного перерізу, практично не впливає на розвиток напружень у конструкції колони: у бетоні при цьому напруження збільшуються до $8,8\%$, а в арматурних стрижнях напруження збільшуються на $8,2\%$. Проте при оголенні поздовжньої арматури у стиснутій зоні, спостерігається концентрація напружень у вказаному місці, що може привести до місцевої втрати стійкості арматурного стрижня. Влаштування сталевих обійм з кутників при цьому є необґрунтованим, проте наявність такої обійми зменшує напруження у бетоні та арматурі на $30\ldots 43\%$.

При дослідженні напружено-деформованого стану пошкодженої колони слід відмітити наступну позитивну особливість: під час прикладання горизонтального навантаження від дії мостових кранів назовні прольоту, вказане навантаження частково розвантажує колону від згинального моменту, що виникає від позакентрово-прикладеного вертикального кранового

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

навантаження, при цьому не викликаючи стиску у арматурному стрижні в пошкодженій зоні (див. третій стовпчик діаграм на рисунку 2.17).

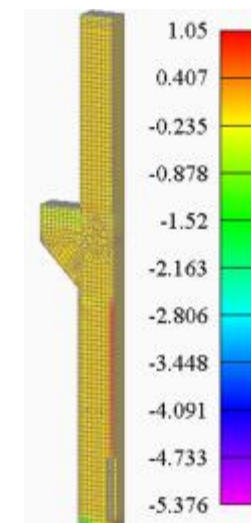
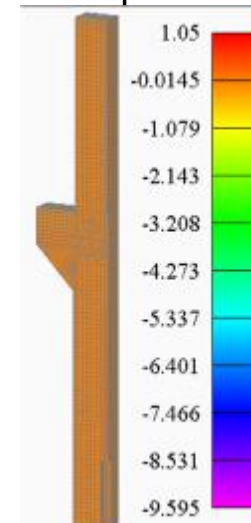
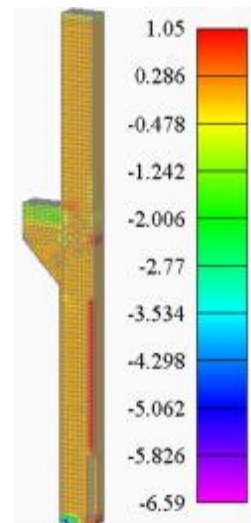
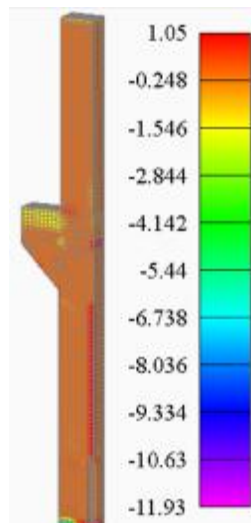
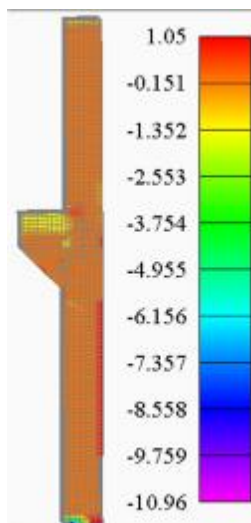
					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Колона без
пошкоджень

Колона з пошкодженнями глибиною 5 см:
у розтягнутій зоні у стиснутій зоні

Підсилена колона з пошкодженнями:
у розтягнутій зоні у стиснутій зоні

РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ (МПа) НА ПОВЕРХНІ БЕТОНУ КОЛОНИ



РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ (МПа) В АРМАТУРНИХ КАРКАСАХ КОЛОНИ

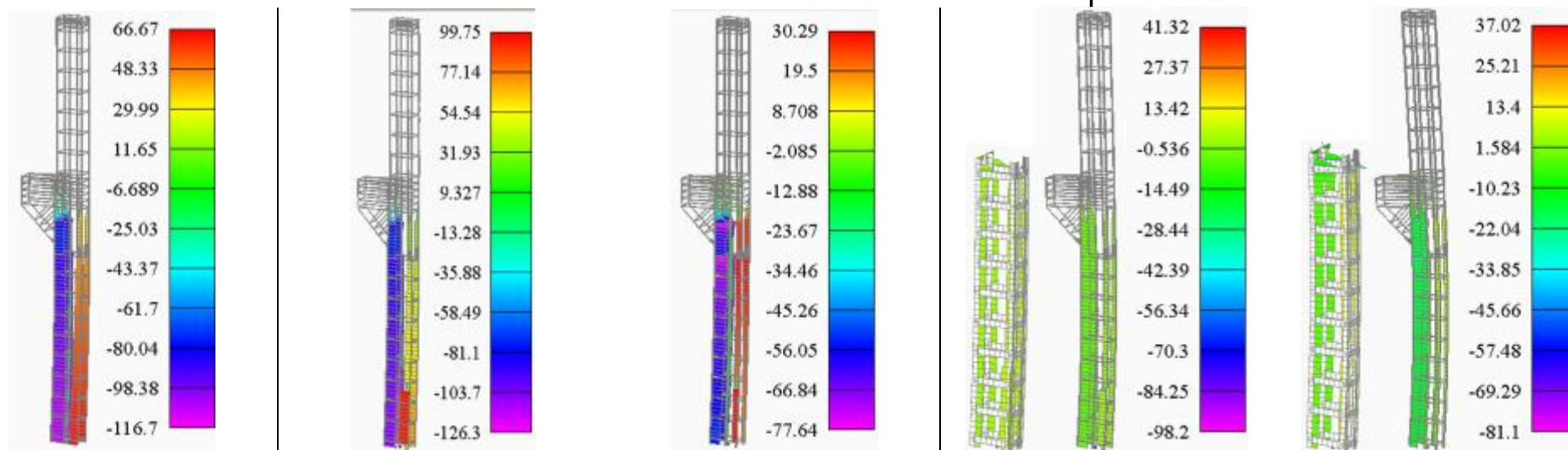


Рисунок 5.17. Результати чисельного розрахунку НДС моделі залізобетонної колони крайнього ряду

Як і при дослідженні колон середнього ряду, найбільші концентратори напружень виникають при глибині пошкодження 200 мм. Розподіл напружень навколо зони такого пошкодження на бетоні та в арматурних стрижнях показано на рисунках 2.18 і 2.19 відповідно. Слід відмітити, що будь-якому випадку прикладення горизонтальних кранових навантажень, у арматурному стрижні в зоні пошкодження бетонного осердя виникають концентратори розтягуючі напружень. При цьому у стрижні арматурному, який знаходиться навпроти від пошкодження, виникають напруження стиску, що свідчить про перерозподіл зусиль у комбінованому поперечному перерізі.

За отриманими результатами НДС порівняли вплив глибини пошкодження на несучу здатність колони. Для зручності порівняння показуємо на графіках у вигляді гістограм. На рисунках 2.20 і 2.21 навели графіки зміни максимальних напружень у бетоні та у стрижнях арматурних в залежності від величини пошкодження. На вказаних графіках на лівому ряді стовпчиків значень показані максимальні напружень без пошкоджень у колоні; на наступних двох середніх рядах стовпчиків можемо побачити максимальні значення напружень у колоні з різними відсотками пошкоджень; на крайніх двох правих рядах стовпчиків можемо бачити максимальні значення напружень у колонах які були пошкоджені після підсилення.

Дані, наведені на гістограмах на рисунках 2.20 і 2.21, ще раз підтверджують зроблений вище висновок. Наявність пошкодження колони в куті на глибину 50 мм з оголенням арматури робочої, що складає 0,6% від площі поперечного перерізу, не впливає суттєво на підвищення напружень у перерізах колони. недоцільним є при цьому влаштування сталевих обійми підсилення.

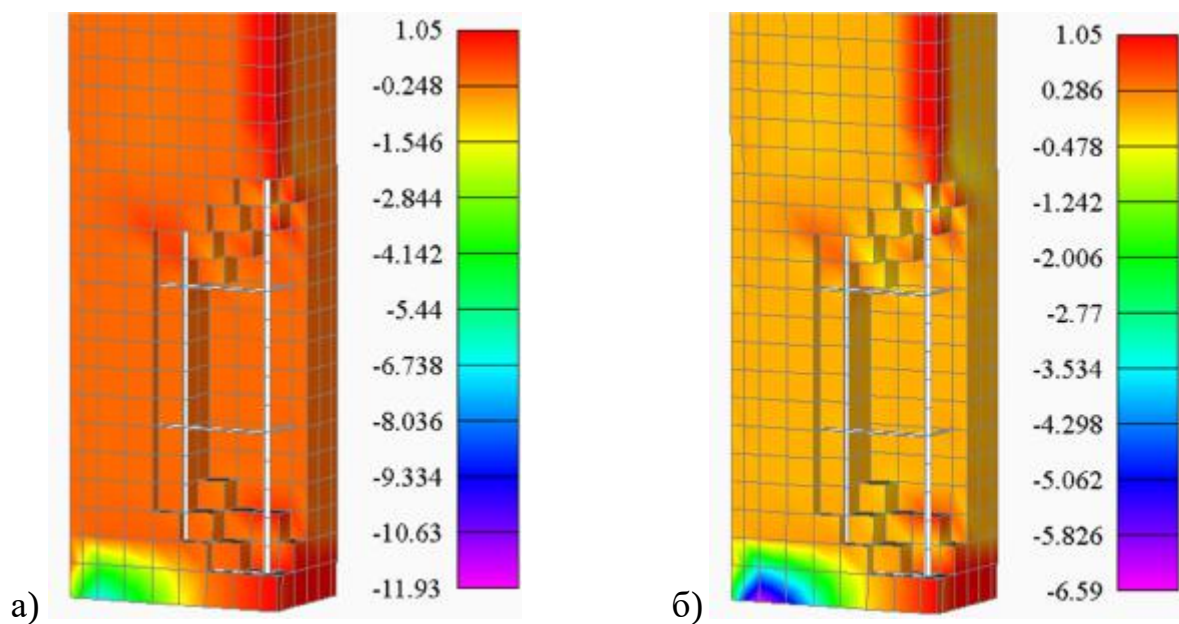


Рисунок 2.18. Розподіл напружень (МПа) на бетоні колони при пошкодженні глибиною 200 мм у розтягнутій (а) та стиснутій (б) зонах

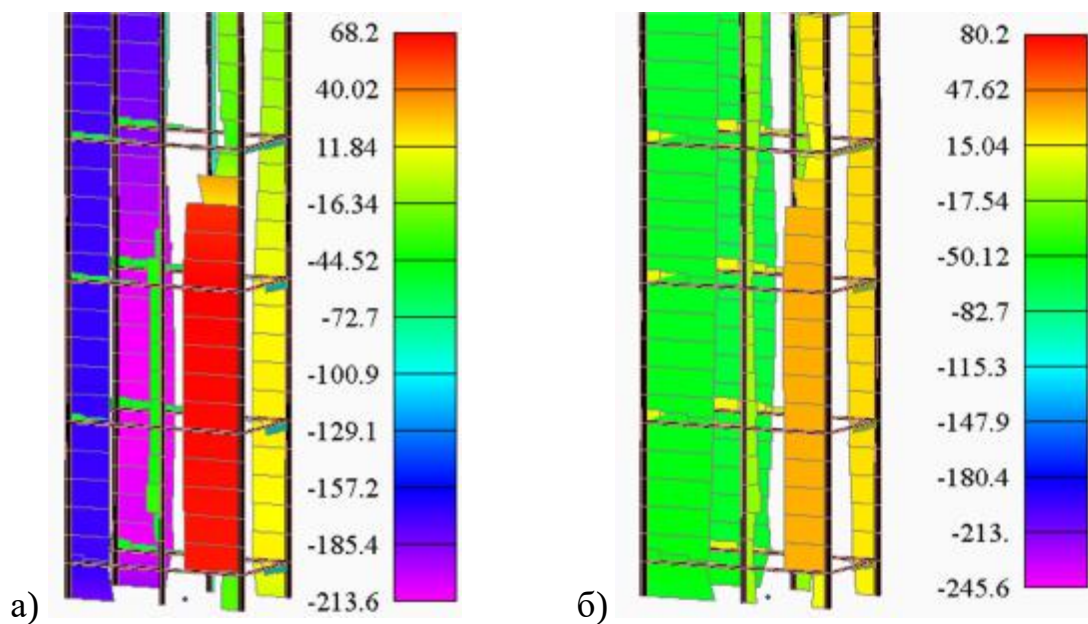


Рисунок 2.19. Розподіл напружень (МПа) в арматурних стрижнях х колони при пошкодженні глибиною 200 мм у розтягнутій (а) та стиснутій (б) зонах

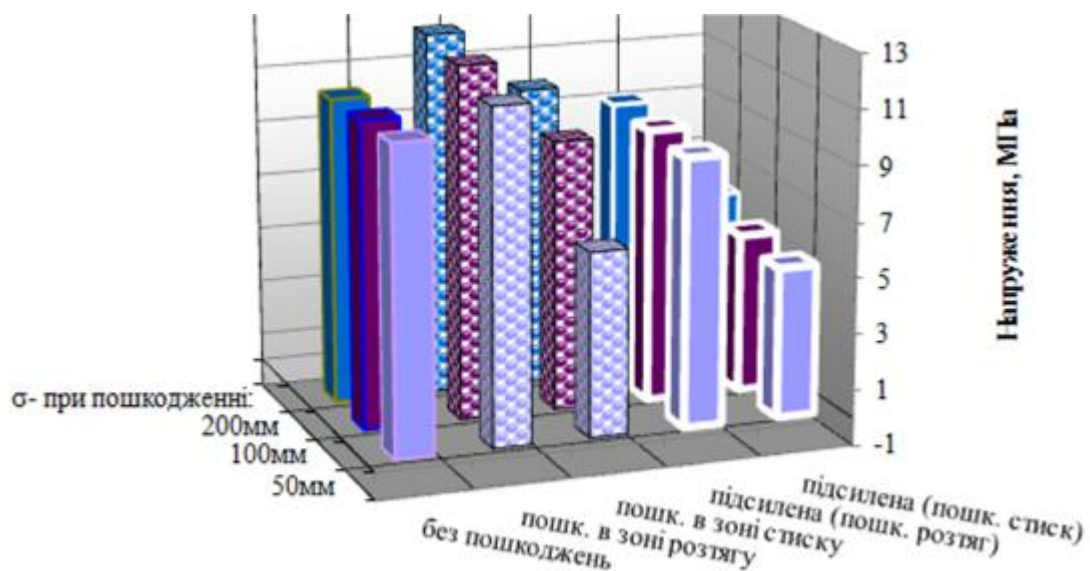


Рисунок 2.20. Зміна максимальних напружень у бетоні колони крайнього ряду
в залежності від величини пошкодження

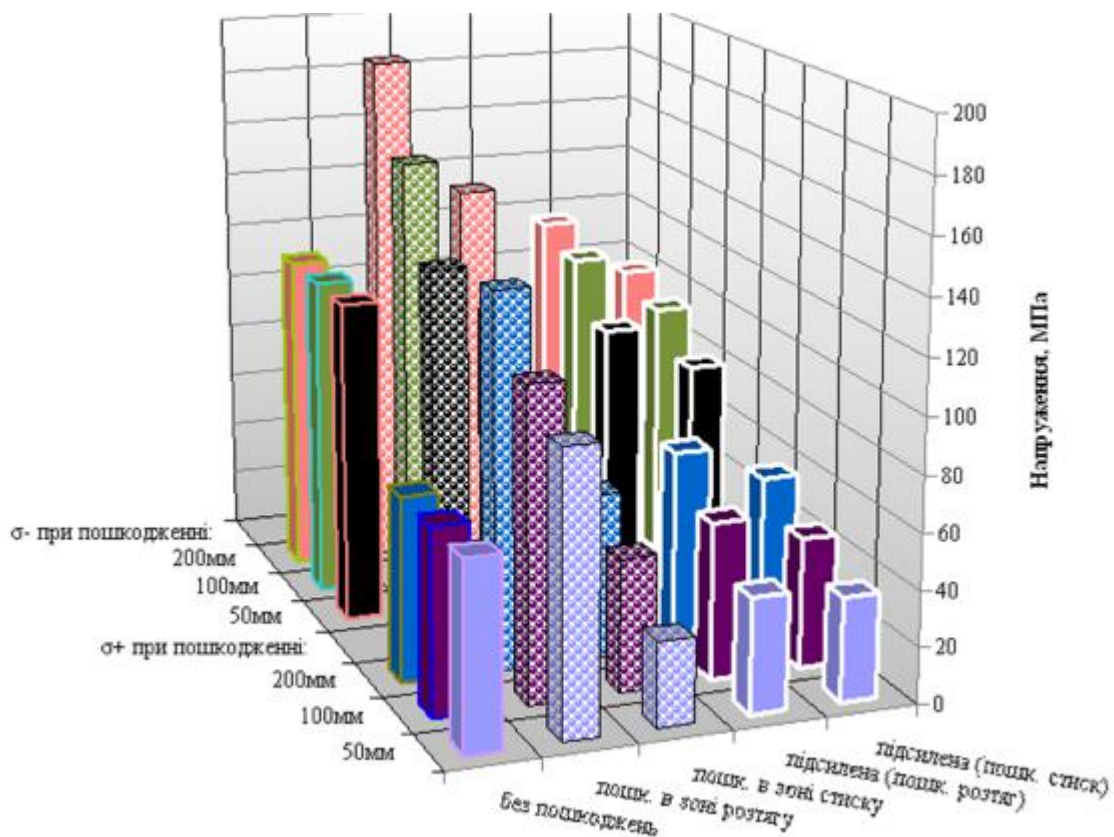


Рисунок 2.21. Зміна максимальних напружень у арматурних стрижнях колони
крайнього ряду в залежності від величини пошкодження

2.5. Результати чисельного моделювання напружено-деформованого стану залізобетонної ребристої плити покриття із врахуванням пошкодження та наступного підсилення

Створення геометричного тіла плити покриття, виділення площин армування, задавання характеристик матеріалів виконувалися аналогічно наведеним вище крокам для залізобетонних колон. Бетонне тіло було розбито на гексаедри із стороною 50 мм, що показано на рисунку 2.22. У бетоні були виділені лінії для того щоб показати стрижні арматури – робочої арматури поздовжніх ребер в яких діаметр 25 мм, арматури поперечних ребер в яких діаметр 8 мм та арматури плити в якій діаметр 4 мм з кроком 300×300 мм. Скінченно-елементна сітка арматурних каркасів моделі плити показана на рисунку 2.23.

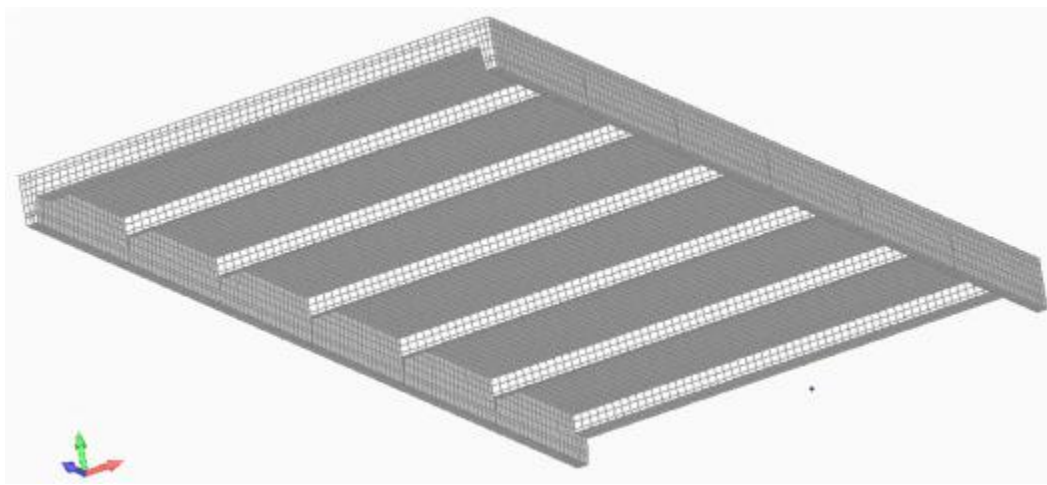


Рисунок 2.22. Скінченно-елементна сітка бетону моделі плити

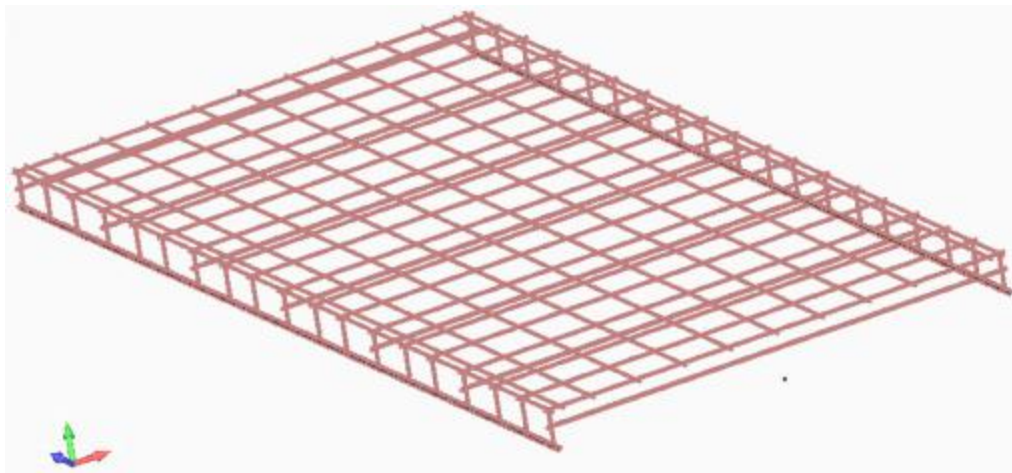


Рисунок 2.23. Скінченно-елементна сітка арматурних каркасів моделі плити

Навантаження на розглянуту плиту прикладалося рівномірно розподілене по площині полицки верхньої (як збирали навантаження на плиту покриття описано у розділі 2). На рисунку 2.24 показана розрахункова схема плити покриття із вказуванням площини завантаження та місць закріплення (місць обпирання плити).

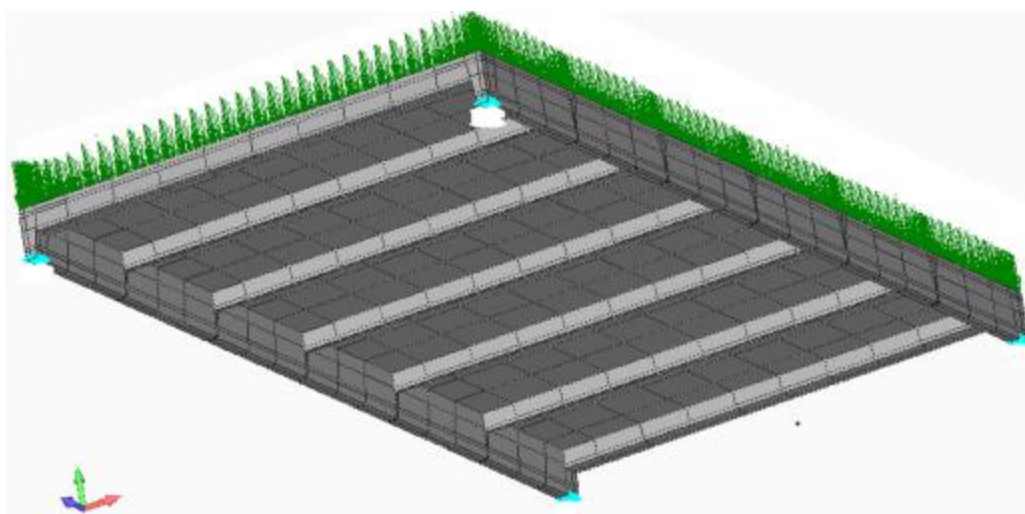


Рисунок 2.24. Розрахункова схема моделі плити

Виконавши розбиття моделі плити на скінченні елементи із задаванням їх індивідуальних властивостей та об'єднавши співпадаючі вузли арматурних стрижнів з бетоном, було проведено розрахунок отриманої моделі із врахуванням

нелінійної роботи матеріалів. Результати розрахунку – розподіл напружень – показані на рисунках 2.25 і 2.26.

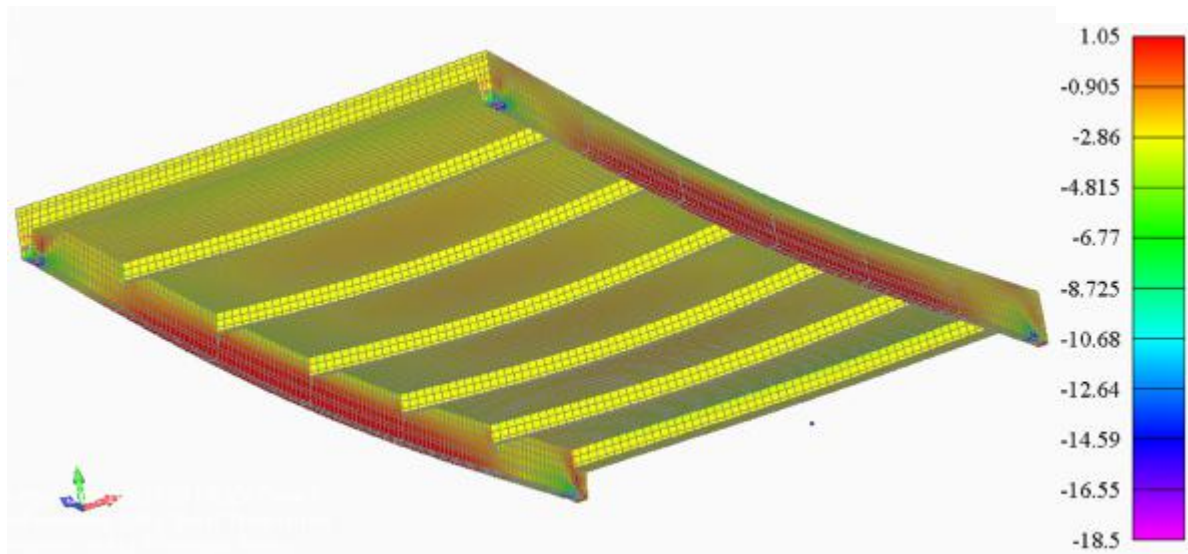


Рисунок 2.25. Розподіл напружень (МПа) на поверхні бетону плити

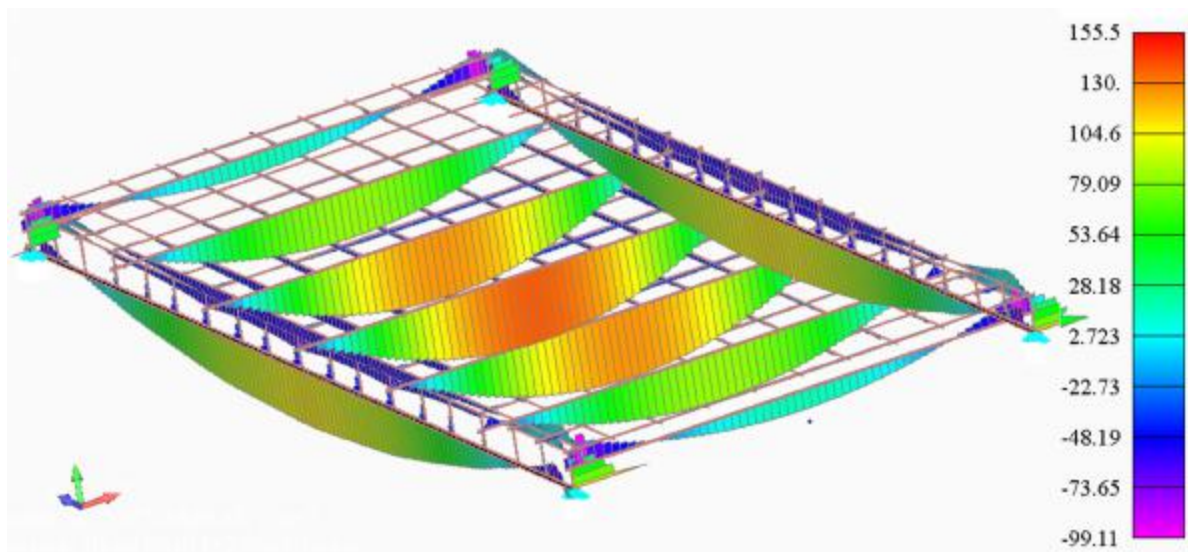


Рисунок 2.26. Розподіл напружень (МПа) в арматурних каркасах плити

Аналізуючи розподіли напружень які ми отримали, можна відзначити місця концентрації напружень. Для бетону зусилля максимального розтягу виникають у нижній частині ребер поздовжніх посередині прольоту. Зусилля стиску максимальні виникають у бетонній поличці посередині прольоту та рівні близько

10 МПа (див. рис. 2.25). Максимальні напруження розтягу у арматурні виникають у стрижня х, розташованих у поперечних ребрах (див. рис. 2.26).

Наступним етапом було моделювання НДС плити покриття яка була пошкоджена. Згідно результатів обстеження (див. розділ 2), в плиті покриття основним пошкодженням було розтріскування і відлущування бетонного каменю, корозійні ураження та оголення арматурних стрижнів. Були змодельовані відповідні пошкодження: пошкодження бетону в поздовжньому ребрі плити посередині прольоту на висоту до 150 мм із оголенням та кородуванням на 50% робочої арматури (див. рис. 2.27); пошкодження бетону було змодельовано для поздовжнього ребра на відстані 1,5 м від опори плит на висоту до 120 мм із оголенням та кородуванням на 50% робочої арматури (див. рис. 2.28); пошкодження бетону поперечного ребра плити посередині його прольоту на всю висоту до полочки із оголенням та кородуванням на 50% робочої арматури (див. рис. 2.29).

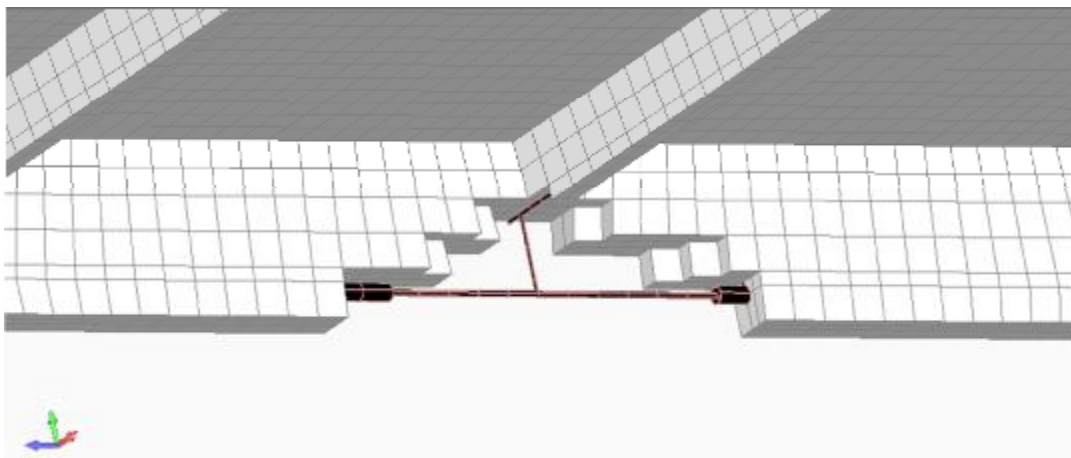


Рисунок 2.27. Змодельоване пошкодження поздовжнього ребра посередині прольоту

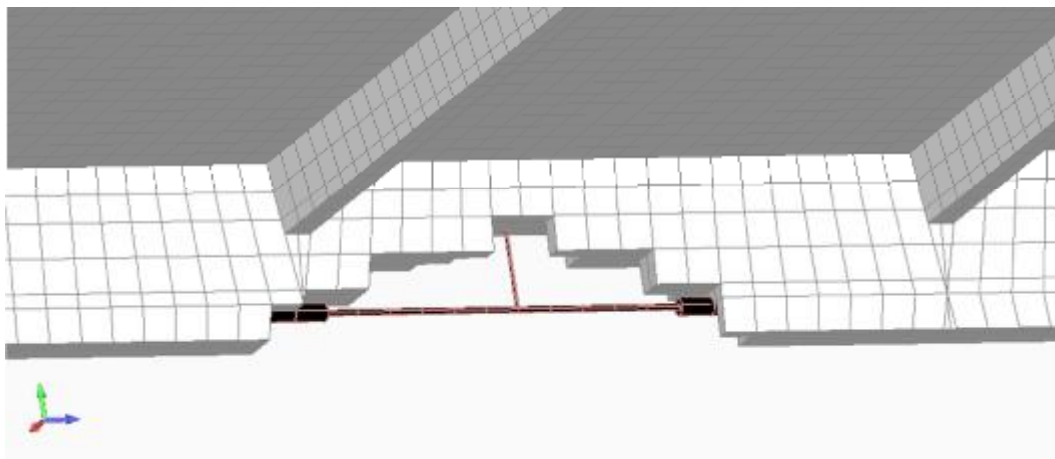


Рисунок 2.28. Змодельоване пошкодження поздовжнього ребра
на відстані 1,5 м від опори

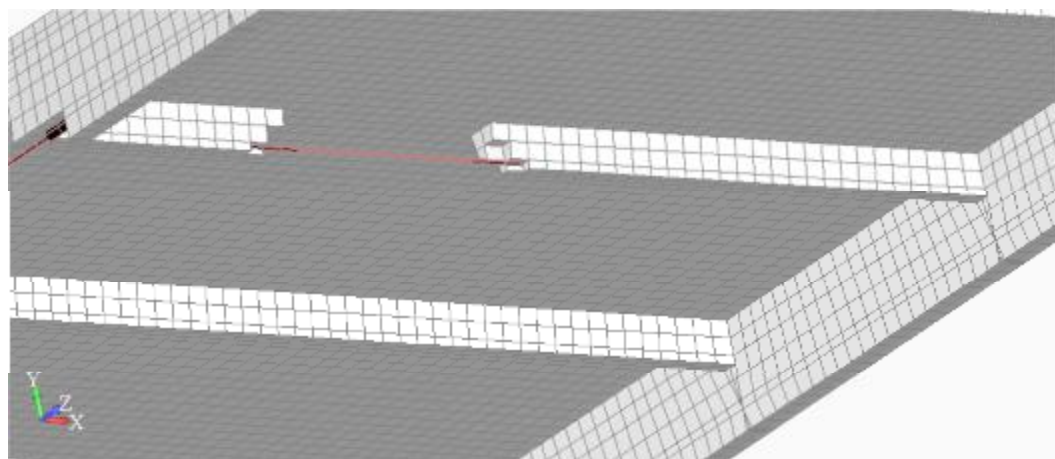


Рисунок 2.29. Змодельоване пошкодження поперечного ребра посередині
прольоту

Результати моделювання – НДС плити покриття яка пошкоджена показаний
на рисунках 2.30 і 2.31.

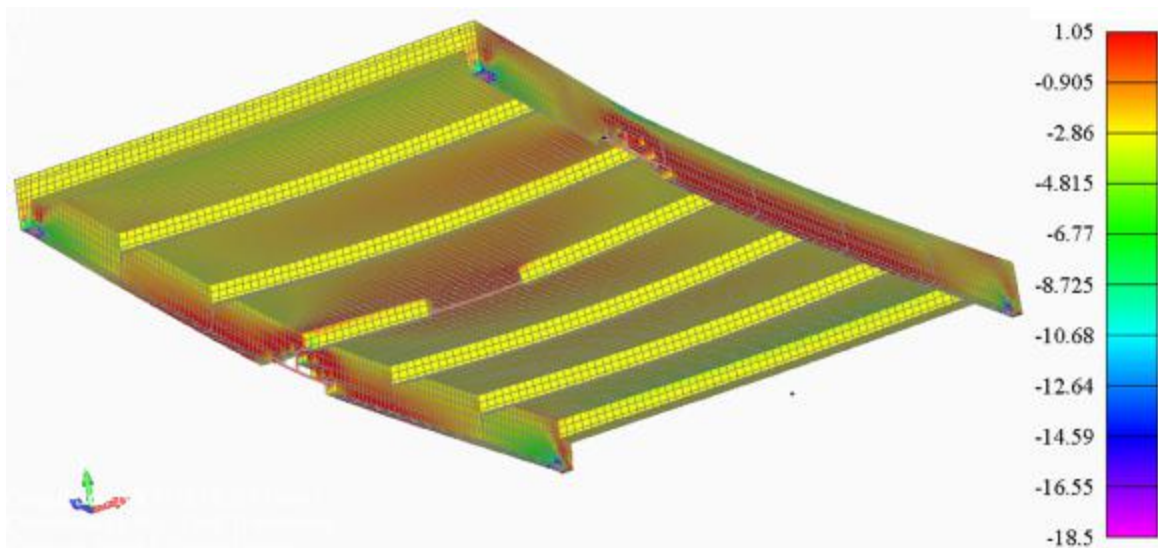


Рисунок 2.30. Розподіл напружень (МПа) на бетоні пошкодженої плити

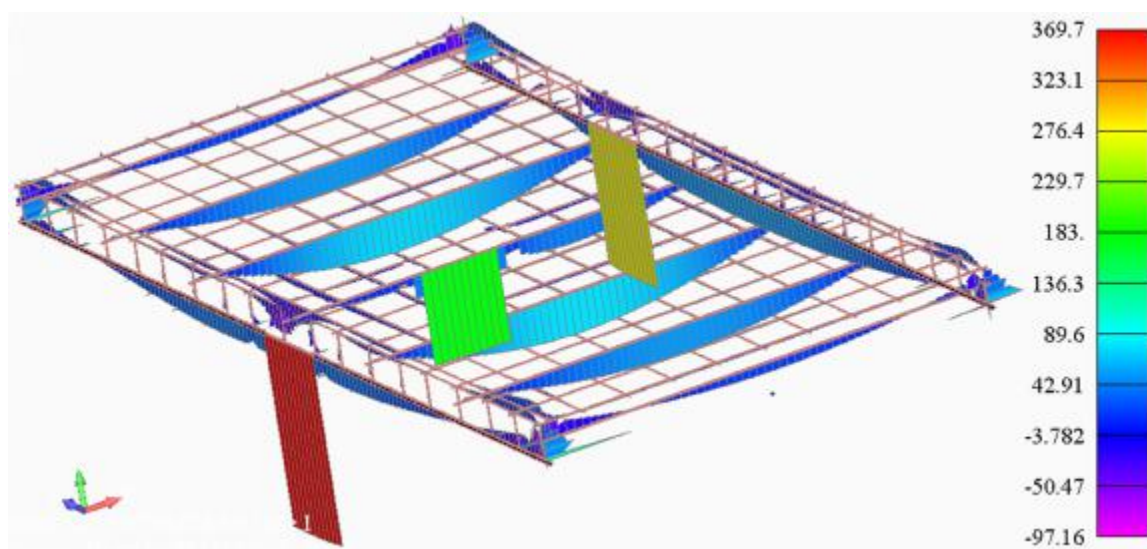


Рисунок 2.31. Розподіл напружень (МПа) в арматурі пошкодженої плити

Як видно з наведених розподілів напружень, по довжині зменшення діаметру арматури виникають високі напруження в чотири рази більші за загальні напруження концентровані, що сягають межі текучості сталі (див. рис. 2.31). За рахунок цього, у місцях пошкодження бетону розтягнута зона буває майже до верху перерізу плити – до полички (див. рис. 2.30), що каже про фактичне повне руйнування плити покриття.

Наступним етапом роботи було розроблення моделі плити з пошкодженням покриття з підсиленням. Конструкція підсилення колони, а точніше поздовжніх ребер являла собою довстановлення додаткових прокатних швелерів №14 площиною високої жорсткості у створі згину, а підсилення поперечних ребер плити – встановлення прокатних швелерів №10 площиною мінімальної жорсткості у створі згину. Детальний опис конструкції підсилення див. розділ 2 даної роботи. Розроблена модель пошкодженої плити з конструкцією підсилення показана на рисунку 2.32. Темним кольором виділена плита покриття, а світлим – профілі підсилення.

Результати моделювання плити з конструкцією підсилення показано на рисунках 2.33 і 2.34 напружено-деформованого стану пошкодженої плити.

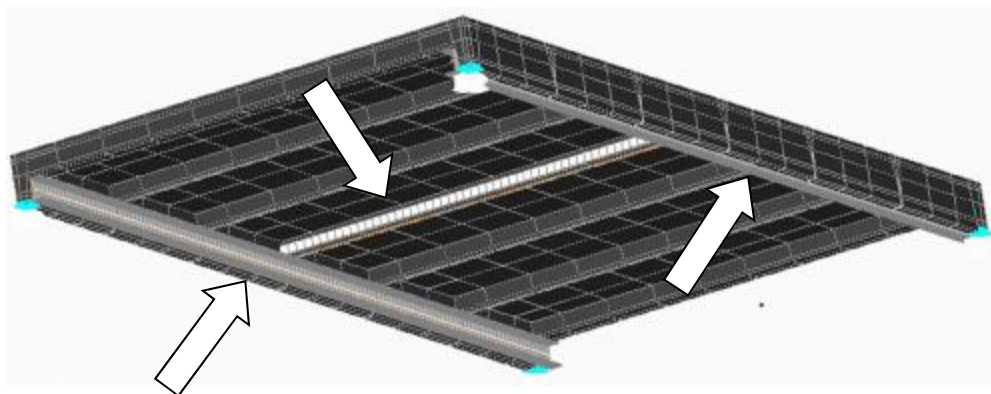


Рисунок 2.32. Конструкція підсилення пошкодженої плити покриття

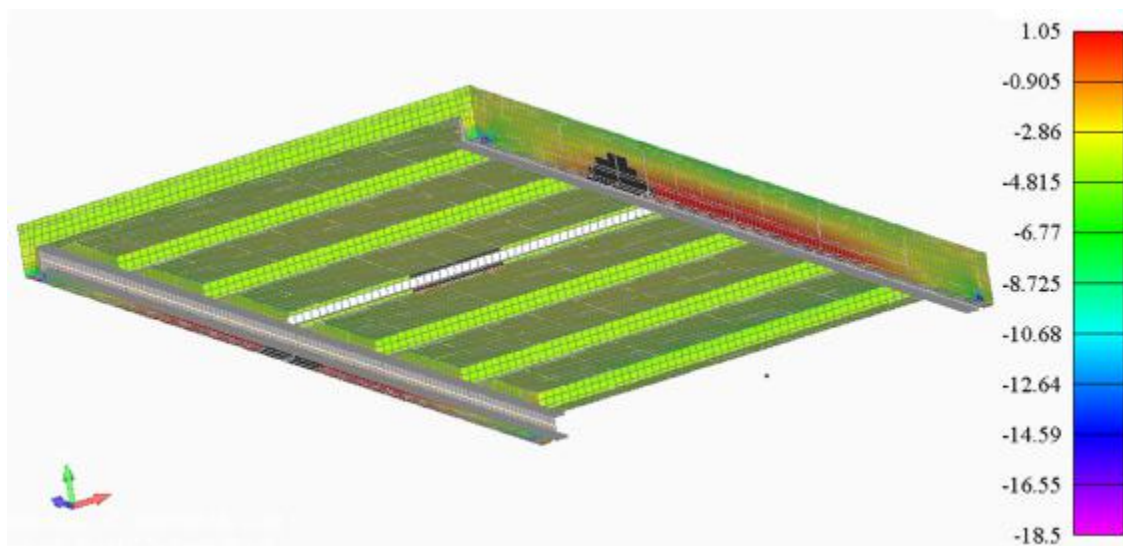


Рисунок 2.33. Розподіл напружень (МПа) на бетоні підсиленої плити

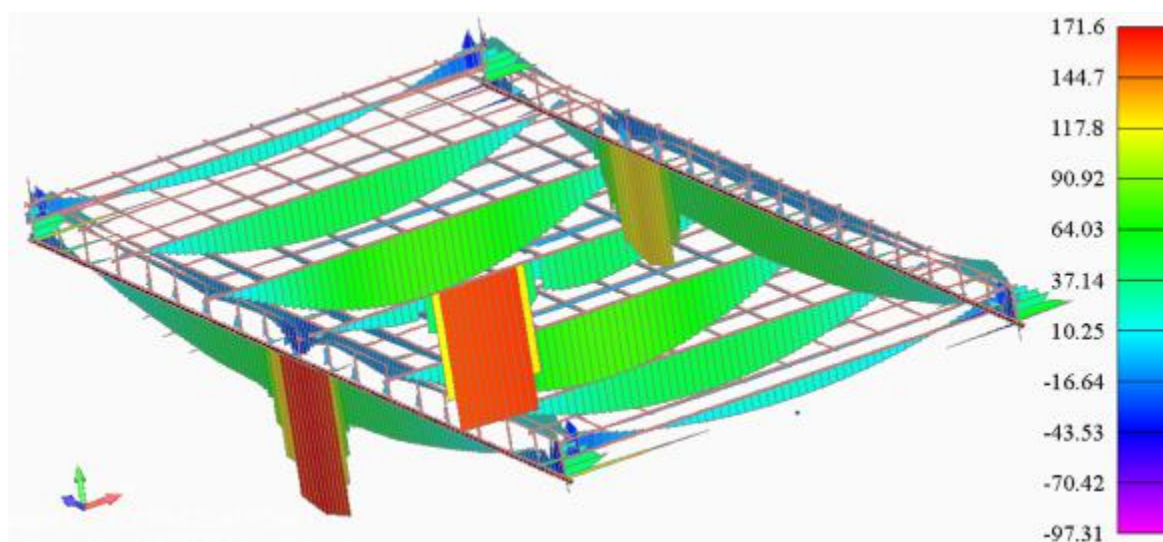


Рисунок 2.34. Розподіл напружень (МПа) в арматурі підсиленої плити

За наведеними на рисунках 2.33 і 2.34 діаграмами розподілу напружень можемо побачити, що бетонна поличка плити повністю стиснута із напруженнями до 10 МПа. Максимальні напруження розтягу в арматурі рівні 172 МПа. Це доводить можливість в майбутньому безаварійної роботи підсиленої плити перекриття. Також слід відмітити, що вага сталевого елемента такого підсилення рівна близько 200 кг. На рисунку 2.35 наведений графік динамічного збільшення напружень у плиті з виколами бетону і корозійними пошкодженнями арматури.

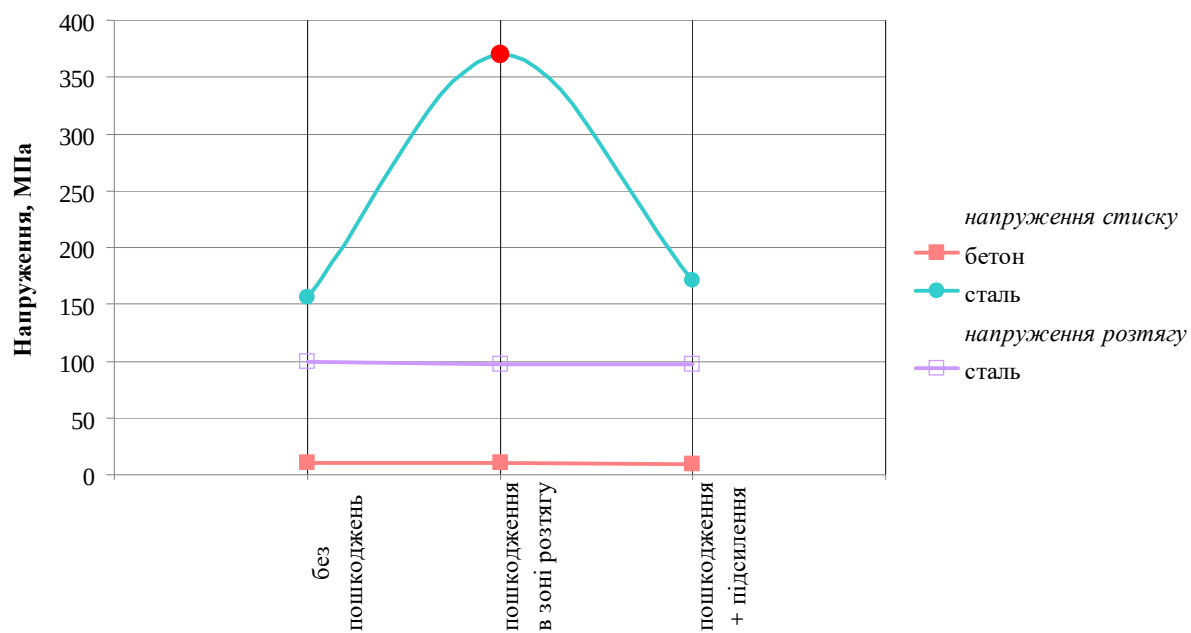


Рисунок 2.35. Зміна напружень у плиті з різними пошкодженнями чи підсиленнями

Висновки по розділу 2

1. Прийняті моделі для розрахунку будівельних конструкцій в програмному комплексі відповідають реальним конструкціям та адекватні. Необхідні ресурси персонального комп'ютера для створення і розрахунку такої моделі достатні і придатні для дослідження напружено-деформованого стану модельованих конструкцій.

2. Порівняння найбільш ефективного закону деформування бетону $\sigma_b - \epsilon_b$ з точки зору перерозподілу зусиль між бетоном та арматурними стрижнями, виявив найкращий результат при застосуванні діаграми деформування бетону $\sigma_b - \epsilon_b$ із аналітичним обмеженням фібрових деформацій, який і було прийнято в чисельних розрахунках.

3. Моделювання напружено-деформованого стану моделей пошкоджених будівельних конструкцій дозволило: по-перше – означити місця із

максимальними напруженнями та деформаціями у пошкоджених будівельних конструкціях, на які необхідно в першу чергу звертати особливу увагу у виявлених конструкціях під час проведення обстежень будівель та споруд; по-друге – виявити найбільш небезпечну форму типових пошкоджень несучих залізобетонних конструкцій.

4. В результаті проведення чисельного дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених колон встановлено, що сталеву обойму з кутників доцільно влаштовувати при величині пошкодження більше 10% від площі поперечного перерізу колони. Напруження у колоні з таким пошкодження сягають граничнодопустимих значень, а після підсилення – зменшуються до рівня напружень у непошкодженій колоні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В зв'язку із світовою кризою та кризою в Україні, значна частина заводів залізобетонних виробів збанкрутіли, або знаходяться в критичному стані. Але враховуючи вигідне географічне положення та високу якість виробів заводу залізобетонних виробів м. Світловодськ, виникла необхідність в розширенні виробництва. Маючи на території заводу непрацюючі цеха, перспективним напрямком є проведення капітального ремонту одного із цехів, а не будівництво нових.

2. Враховуючи використані залізобетонні конструкції з яких складається формувальний цех, можна провести підсилення несучих пошкоджених елементів існуючими методами- використовуючи сталеві вироби. Та провести капітальний ремонт огорожуючи конструкцій.

3. Використані несучі залізобетонні конструкції витримують нормативні та експлуатаційні навантаження і забезпечують нормальну експлуатацію будівлі. Пошкоджені залізобетонні конструкції можна підсилити існуючими методами зокрема з використанням сталевих елементів.

4. Пошкодження, що мають місце на об'єкті який підлягає капітальному ремонту можна ліквідувати без зміни конструктивної схеми та заміни існуючих конструктивних елементів. Використовуючи існуючі методи підсилення та рекомендації щодо їх.

5. Прийняті розрахункові моделі будівельних конструкцій в програмному комплексі адекватні та відповідають реальним конструкціям. Під час порівняння збіжності отриманих результатів при розрахунку моделей розбитими різними об'ємними скінченними елементами (тетраедрами і гексаедрами) із різними розмірами вирішено розбивати моделі будівельних конструкцій правильної геометричної форми на гексаедри із стороною 100 мм, що приблизно рівне 1,2% від загальної висоти чи довжини досліджуваної моделі. При такій скінченно-елементній сітці значення нормальних напружень відрізнялися від середнього значення порахованого по результатам всіх розрахунків до 4,3%. Необхідні

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						55
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ресурси персонального комп'ютера для створення і розрахунку такої моделі достатні і придатні для дослідження напружено-деформованого стану модельованих конструкцій.

6. Порівняння найбільш ефективного закону деформування бетону σ_b - ϵ_b з точки зору перерозподілу зусиль між бетоном та арматурними стрижнями, виявив найкращий результат при застосуванні діаграми деформування бетону σ_b - ϵ_b із аналітичним обмеженням фібрових деформацій, який і було прийнято в чисельних розрахунках.

7. Моделювання напружено-деформованого стану моделей пошкоджених будівельних конструкцій дозволило: по-перше – означити місця із максимальними напруженнями та деформаціями у пошкоджених будівельних конструкціях, на які необхідно в першу чергу звертати особливу увагу у виявлених конструкціях під час проведення обстежень будівель та споруд; по-друге – виявити найбільш небезпечну форму типових пошкоджень несучих залізобетонних конструкцій.

8. В результаті проведення чисельного дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених колон встановлено, що сталеву обойму з кутників доцільно влаштовувати при величині пошкодження більше 10% від площі поперечного перерізу колони. Напруження у колоні з таким пошкодження сягають граничнодопустимих значень, а після підсилення – зменшуються до рівня напружень у непошкодженій колоні.

Список використаних джерел

1. Промислова екологія. Технології захисту навколишнього середовища: веб-сайт. URL: <http://eco.com.ua/content/ energozberezhennya-v-suchasni-ukraini> (дата звернення: 15.09.2021).
2. Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року. Верховна Рада України. Законодавство України: веб-сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_017-12#Text (дата звернення: 25.09.2021).
3. ДБН В 1.2.-2:2006. Навантаження і впливи. Київ, 2006
4. Залізобетонні конструкції: П.Ф. Вахненко, А.М. Павліков, О.В. Горик, В.П. Вахненко. За ред. П.Ф. Вахненко.-К.:Вища школа, 1999.
5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого и легкого бетона без предварительного напряжения арматуры. - М., 1986.
6. Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого и легкого бетонов. - М., 1986.
7. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. - М., 1985.
8. Мандриков А.П. Примеры расчета железобетонных конструкций: Учебное пособие для техникумов. - М: Стройиздат, 1989.
9. Справочник проектировщика. Сборные железобетонные конструкции одноэтажных производственных зданий (Под ред. Г.И. Бердичевского). М, 1981.
10. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие (Под ред. А.В. Голышева). - К., 1990 (1985).
11. Рычков С.П. MSC visualNASTRAN для Windows. – М.: НТ Пресс, 2004. – 552 с.
12. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М.: Мир, 1977. – 349 с.

13. Фомица Л.Н. Измерение напряжений в железобетонных конструкциях / Л.Н. Фомица, Р.А. Сумбатов. – К. : Будівельник, 1994. – 168 с.
14. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК, 2003. – 448 с.
15. Results of Numerical Modeling the Stress-Strain State of Damaged Reinforced Concrete Columns in the Middle Row of the Industrial Building"/ V. Dariienko, D. Artemenko,
16. O. Lizunkov, O. Plotnikov// Materials Science Forum, Vol. 968, pp. 342-347, 2019, (Scopus) DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.342>
17. Territorial aspect of forming united territorial communities / L.V. Hasenko, T.P. Lytvynenko, A.V. Hasenko, V.V. Dariienko, I.O. Skrynnik. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 708(1), 2019 . (Scopus) DOI:10.1088/1757-899X/708/1/012010
18. Практичний досвід використання збірного і монолітного неавтоклавного пінобетону при зведенні енергоефективних будівель ТОВ "Будспектр" / В.А.Пашинський, В.А.Настоящий, В.В.Дарієнко, Є.О.Томаченко.- Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Атлант, 2016. –Випуск № 65. —с.132-136. (Фаховий, категорія Б) <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/2702>
19. Пашинський В.А., Пашинський М.В., Скриннік І.О., Дарієнко В.В. Вагові характеристики та галузі раціонального використання сталевих центрально стиснутих колон. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: Збірник наукових праць. Випуск 12. – Луцьк: ЛНТУ, 2019.—С. 146-154. (Фаховий, категорія Б) <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/9641>
20. Hudz Serhii. Plastic bearing capacity of the steel element cross-section by internal forces combination and restraint / Hudz Serhii, Gasii Grygorii, Hasenko Anton, Dariienko Viktor // 36. наук. праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 2 (53). – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 73 – 78. (Фаховий, категорія Б) <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/8443>

21. Карпушин С.О. Методика проектування анаеробного біореактора з ґрунтоцементу /Карпушин С.О., Дарієнко В.В., Кузик О.В., Пантілієнко В.В., Карпушин А.С. Нові технології в будівництві. 2020. Вип. 37. С. 24–33. (Фаховий, категорія Б) DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.37.4>
22. Гудзь С.А., Гасій Г.М., Дарієнко В.В. Розвинена модель розрахунку сталевих розкріплених елементів на стійкість при сумісній дії поперечного згину та кручення. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини: Збірник наукових праць / – Одеса: ОДАБА, 2020. – вип. 24 –с43-52. (Фаховий, категорія Б) doi:10.31650/2707-3068-2020-24-43-52
23. Кислун О.А. ІТ в процесах створення та експлуатації об’єктів будівництва / Кислун О.А., Пархоменко Ю.М., Скриннік І.О., Дарієнко В.В. // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). с. 218-225. (Фаховий, категорія Б) <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10456>
24. Пашинський В.А. Використання монолітного пінобетону для зведення енергоефективних будівель / Пашинський В.А., Настоящий В.А., Дарієнко В.В., Портнов Г.Д., Томаченко Є.О. // Будівельне виробництво. Київ: НДІБ, 2020. №69. - С. 54-57 (Фаховий, категорія Б) <https://doi.org/10.36750/252412555.69.54157>
25. O.V. Semko Architectural and constructive decisions of a triangular reinforced concrete arch with a self-stressed steel brace O.V. Semko, A.V. Hasenko, O.G. Fenko, J Godwin Emmanuel, V.V. Dariienko / Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). с. 209-217. (Фаховий, категорія Б) <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10455>
26. Портнов Г.Д. Вплив форми кованого однорогого гака на його ефективність / Портнов Г.Д., Тихий А.А., Дарієнко В.В., Пукалов В.В. // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). с. 127-133. (Фаховий, категорія Б) DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).127-133](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).127-133)

Додатки

Додаток А

Охорона праці

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1. ОХОРОНА ПРАЦІ

1.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що виникають на будівельному майданчику.

При розробці дипломного проекту розглядається реконструкція спортивного залу в місті Кіровограді. При його зведенні виконуються наступні види робіт:

- демонтажні роботи;
- земляні роботи;
- вантажний – розвантажувальні роботи;
- монтажні роботи;
- кам'яні роботи;
- бетонні роботи;
- оздоблювальні роботи;
- покрівельні роботи;
- впорядкування території.

При виконанні вказаних робіт на працюючих можливо дія наступних основних шкідливих виробничих факторів:

- механічної сили (робота на висоті, падіння конструкцій, інструментів і матеріалів, наїзд машин і так далі);
- можливість враження електричним струмом;
- загазованість і заповнена повітря робочої зони;
- недостатність виробничого освітлення.

Дія механічної сили виявляється при проведенні робіт, пов'язаних із зведенням будівлі, а також в "небезпечних зонах" роботи бетононасосу і інших самохідних машин.

Основними джерелами шуму і вібрації на будівельному майданчику є вібратори.

Загазованість і заповнена повітря робочої зони на досліджуваному об'єкті утворюється при виконанні робіт електрозварювань, ізоляційних, малярних, а також при роботі двигунів внутрішнього згорання.

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

На буд. майданчику застосовуються горючі матеріали і рідини, які створюють умови для виникнення пожежі.

Особливу небезпеку представляють роботи електрозварювань і малярних, що проводяться в закритих приміщеннях.

Для поліпшення умов праці, підвищення безпеки будівництва, необхідно провести наступні основні заходи щодо охорони праці:

- забезпечити безпеку робіт на висоті і в "небезпечних зонах";
- провести захисні заходи щодо виключення враження людей електричним струмом;
- при роботі з вібраторами і машинами, які генерують шум, слід застосовувати індивідуальні засоби захисту;
- своєчасно і правильно організувати санітарно – побутове обслуговування;
- передбачити штучну вентиляцію при проведенні малярних робіт в закритих приміщеннях;
- правильно вибрати загальне і місцеве виробниче освітлення;
- провести заходи протипожежного захисту (забезпечити зв'язок, протипожежне водопостачання, обладнати під'їзди і дороги, мати первинні засоби гасіння пожеж).

1.1.1 Аналіз шкідливих факторів

Величини гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони, перевищення яких створює небезпечність для людини і визначає межі небезпечної зони, встановленні в додатку 1.

Контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони, зазначених у додатку 1, а також контроль освітленості, граничних величин вібрації і шуму, норм температури, відносної вологості і швидкості руху повітря на робочих місцях необхідно здійснювати приладами, приблизний перелік яких зазначений у додатку 2.

Для контролю зазначених величин слід залучати будівельні лабораторії, а для контролю інших шкідливих виробничих чинників - спеціалізовані або санітарні лабораторії.

При виконанні будівельно-монтажних робіт на території будівництва контроль за дотриманням санітарно-гігієнічних норм повинен здійснюватися в порядку, встановленому для даної будівлі.

Будівельний майданчик, ділянки робіт, робочі місця, проїзди та підходи до них в темний час доби, повинні бути освітлені відповідно до ГОСТ 12.1.046-85. Освітленість повинна бути рівномірної, без сліпучої дії освітлювальних пристроїв на працюючих. Виробництво робіт в неосвітлених місцях не допускається.

Додаток 1. Гранично допустима концентрація деяких шкідливих речовин в повітрі
робочої зони

Найменування речовин(пари, гази)	Гранично допустима концентрація за ГОСТ 12.1.005-88, мг/куб.м	Застосування ділянок (зон), де можлива наявність шкідливих речовин при виконанні будівельно-монтажних робіт
Ацетилен (по фосфористому водопроводі)	0,1	На ділянках виконання антикорозійних, малярних, шпатлювальних робіт, а також зварювання металевих, полімерних матеріалів і конструкцій
Дибутилефір	0,5	
Хлор	1	
Толуол	50	
Ксилол	50	
Ацетон	200	
Сірководень	10	На ділянках виконання земляних робіт, а також у каналізаційних колодязях
Аміак	20	
Метан(при переліку на вуглець)	300	

Продовження додатку 1

Окисі азоту (в перерахунку на NO ₂)	5	На ділянках виконання антикорозійних, ізоляційних і варильних робіт, а також у місцях неповного згоряння палива
Сірчаний ангідрид	10	
Окись вуглецю	20	
Вуглеводні нафти: Керосин, уайт-спірит, бензин, паливо ТС-1 ТС-2 (при перерахунку на вуглець)	300	

Додаток 2. Прилади, які застосовуються при санітарно-гігієнічній оцінці шкідливих виробничих факторів

№ п.н.	Шкідливі виробничі фактори	Одиниця виміру	Прилади	
			найменування	інтервали виміру
1	Температура повітря	К (град. С)	Аспіраційний психометр	Від 238 до 323 (від -35 до 50)
			Термоанемометр ЕА-2М	Від 233 до 333 (від 10 до 60)
2	Відносна вологість повітря	%	Аспіраційний психометр	Від 10 до 100
3	Швидкість руху повітря	м/с	Електроанемометр	Від 0 до 5
			Термоанемометр ЕА-2М	Від 0,003 до 5
			Крильчатий анемометр	Від 1 до 10
			Чашковий анемометр	Від 1 до 30

Продовження додатку 2

4	Освітленість робочого місця	лк	Об'єктивний люксметр	Від 25 до 500
5	Вібрація	Гц,Дб	Низькочастотна вібровимірювальна апаратура НВА-1	Від 1,4 до 350 Від 70 до 130
6	Шум	Гц,Дб	Аналізатор спектру шуму АШ-2М,ПФ-1,О-34	Від 63 до 10000 Від 40 до 10000
			Шумомер: Ш-63(ИРПА), Ш-3М, ИШВ	Від 30 до 140
7	Пил	Мг/куб.м	Касети і алонжі для відбору проб на фільтри з тканини ФПП марки АФА	Від 0,5 до 1000
			Прилад для виміру забрудненості ИЗВ-1	Від 0,5 до 30
8	Гази	Мг/куб.м	Газоаналізаторт АУХ-2 з індикаторними трубками	-

1.1.2 Аналіз небезпечних факторів

До зон постійно діючих небезпечних виробничих факторів слід відносити зо-
ни:

- поблизу від неізолюваних струмоведучих частин електроустановок;
- поблизу від неогороджених перепадів по висоті на 1,3 м і більше;
- у місцях, де містяться шкідливі речовини в концентраціях вище гранично до-
пустимих або впливає шум інтенсивністю вище гранично допустимої.

До зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів слід відносити:

- ділянки території поблизу будинку (споруди);
- поверхи (яруси) будівель і споруд в одній захватці, над якими відбуваєть-
ся монтаж (демонтаж) конструкцій або обладнання;
- зони переміщення машин, обладнання або їх частин, робочих органів;
- місця, над якими відбувається переміщення вантажів вантажопідйомними
кранами.

На межах зон постійно діючих небезпечних виробничих факторів повинні бу-
ти встановлені запобіжні захисні огорожі, а зон потенційно діючих небезпечних
виробничих чинників - сигнальні огорожі або знаки безпеки.

При виконанні робіт у зазначених зонах слід здійснювати організаційно-
технічні заходи, що забезпечують безпеку працюючих.

При будівництві об'єктів із застосуванням вантажопідіймальних кранів, у ви-
падках, коли в небезпечні зони, потрапляють сусідні будівлі та споруди, в яких
знаходяться люди, транспортні або пішохідні дороги (тротуари), у проекті органі-
зації будівництва повинні бути передбачені рішення (заходи) щодо забезпечення
безпеки людей, в тому числі:

- перенесення транспортних і пішохідних доріг, а також входів і виходів у екс-
плуатовану будівлю за межі небезпечних зон;
- захист віконних і дверних прорізів, що потрапляють в небезпечну зону,
спеціально призначеними для цього запобіжними загородженнями;
- виселення (видалення) людей із будівель і споруд, конструкції яких не забез-
печують безпеку людей при випадковому падіння на ці конструкції переміщую-

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						65
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ваних вантажів, або виконання заходів, що передбачають відсутність людей у визначених проектом організації будівництва небезпечних зонах зазначених будівель і споруд під час виконання будівельно-монтажних робіт.

Допускається проведення робіт без виселення (видалення) людей із вказаних будівель і споруд (крім дитячих, лікувальних і навчальних закладів, театрів, кіно-театрів, клубів, стадіонів, магазинів і інших місць, де можливе одночасне масове перебування людей), за умови застосування технічних рішень, виключають виникнення небезпечних факторів у місцях перебування людей.

Мінімальна відстань відльоту вантажу (предмету) приймається згідно з «СНІП III-4-80 Техніки безпеки в будівництві»

таблиця 1.

Таблица 1

Висота можливого падіння вантажу, м	Мінімальна відстань відльоту, м	
	Переміщення краном вантажу в разі його падіння	Предметів у разі їх падіння з будівлі
До10	4	3,5
До20	7	5
До70	10	7
До120	15	10
До200	20	15
До300	25	20
До450	30	25

Межі небезпечних зон, в межах яких діє небезпечність поразки електричним струмом, встановлюються згідно «СНІП III-4-80 Техніки безпеки в будівництві»

Таблиця 2

Напруга, Кв	Обмежують небезпечну зону відстані від неогороджених неізольованих частин електроустановки (електрообладнання, кабелю і проводу) або від вертикальної площини, утвореною проекцією на землю найближчого проводу повітряної іншої лінії електропередачі, знаходженою під напругою, м
До 1	1,5
Від 1 до 20	2,0
Від 35 до 110	4,0
Від 150 до 220	5,0
330	6,0
Від 500 до 750	9,0
800 (постійного струму)	9,0

1.2 Загальні вказівки по техніці безпеки

При виробництві робіт строго дотримувати правила техніки безпеки в будівництві.

Основну увагу звернути на наступні пункти:

1. Огорожа будівельного майданчика;
2. По периметру будівлі, що будується, необхідно встановити зону, небезпечну для знаходження людей завширшки залежно від висоти будівлі (14,3 м);
3. На всіх ділянках будівництва, де це потрібне за умов роботи: у машин і механізмів, на автомобільних дорогах і в інших небезпечних місцях повинні бути виконаний видимі, а в темний час доби освітлені попереджувальні і вказівні написи або знаки безпеки, плакати і інструкції по техніці безпеки;

4. В місцях переходу через канави і траншеї влаштовувати перехідні містки вширшки не менше 0.6 м з поручнями заввишки 1 м;
5. Робочі місця, розташовані над землею або перекриттям на відстані 1 м і вище, повинні бути захищені;
6. В зоні дії землерийних машин, виробництво інших робіт і знаходження людей забороняється;
7. Забороняється виконувати будівельний – монтажні роботи, пов'язані із знаходженням людей в одній захватці на поверхах, над якими проводиться переміщення, установка або тимчасове закріплення елементів і конструкцій будівель при розриві між горизонтами виробництва монтажних і інших спеціальних робіт;
8. Тимчасову зовнішню відкриту проводку на будівельному майданчику слід виконувати ізольованим дротом на надійних опорах так, щоб нижня точка дроту знаходилася на висоті не менше 2.5 м над робочими місцями, 3.5 м – над проходами, 6 м – над проїздами.
9. Межі небезпечних зон поблизу рухомих частин і робочих органів машин визначаються відстанню в межах 5 м, якщо другі підвищені вимоги відсутні в паспорті або інструкції заводу-виготовлювача.
10. Будівельний майданчик у населених місцях чи на території діючих підприємств, щоб уникнути доступу сторонніх осіб повинна бути огорожена. Конструкція огорожень повинна задовольняти вимогам ГОСТ 23407-78. Огородження, що примикають до місць масового проходу людей, то потрібно оснастити суцільним захисним козирком.
11. При розміщенні тимчасових споруд, огорож, складів і лісів слід враховувати вимоги стосовно габаритів наближених будівель до рухомих поблизу засобів транспорту.
12. Пожежну безпеку на будівельному майданчику, участки робіт і робочих місцях слід забезпечувати відповідно до вимог правил пожежної безпеки при виробництві будівельно-монтажних робіт.

13. Електробезпека на будівельному майданчику, ділянках робіт і робочих місцях повинна забезпечуватися відповідно до вимогами ГОСТ 12.1.013-78.

1.3 Розрахунок освітлення будівельного майданчика

Для освітлення будівельного майданчика доцільно застосовувати прожекторне освітлення. Необхідно визначити кількість прожекторів, висоту і місце установки, кут нахилу у вертикальній і горизонтальній площинах. Розрахунок освітлення проводиться по потужності прожекторної установки.

Розрахунок кількості прожекторів проводимо виходячи з нормативної освітленості і потужності машини.

Тоді кількість прожекторів знаходимо по наступній формулі:

$$N = \frac{m \times E_n \times k \times A}{P_{\text{л}}};$$
$$N = \frac{0,25 \times 2 \times 1,5 \times 750,52}{500} = 1,112 \text{ шт.}$$

де: $m = 0,25$ – коефіцієнт, що враховує світлову віддачу джерела світла;

$E_n = 2 \text{ лк}$ – нормована освітленість горизонтальної поверхні;

$k = 1,5$ – коефіцієнт запасу;

A – освітлювана площа;

$A = 750,52 \text{ м}^2$;

$P_{\text{л}} = 500 \text{ Вт}$ – потужність лампи.

Приймаємо 2 прожектори ПЗС – 35 з ЛМГ – 220 – 500.

Мінімальна висота установки прожекторів над освітленою поверхнею:

$$h_{\text{min}} = \sqrt{\frac{I_{\text{max}}}{300}} = \sqrt{\frac{50000}{300}} = 13 \text{ м}$$

де: $I_{\text{max}} = 50 \text{ ккд}$ – максимальна сила світла.

Прожектори розставляємо по кутах огорожі будівельного майданчика. Кут нахилу прожекторів $\theta = 15^\circ$ і кут між оптичними осями прожекторів $\tau = 15^\circ$.

Окремий розрахунок освітлення робочих місць не потрібен оскільки всі роботи ведуться у дві зміни. Для цього процесу передбачено загальне освітлення будівельного майданчика.

Охоронне освітлення

Для охоронного освітлення використовуватимемо установки для загального освітлення включені на чверть своєї потужності, щоб дане освітлення відповідало вимогам, у відповідності, з якими потужність охоронного освітлення не була нижчою 0,5 лк. Для цього передбачається включення 2 прожектори ПЗС – 35 з ЛМГ – 220 – 500.

					ДНСП 234 ПЗ	Лист
						70
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		