

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АРХІТЕКТУРИ, БУДІВНИЦТВА ТА ДИЗАЙНУ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БУДІВНИЦТВА

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

_____ О.І. Лапенко

“ _____ ” _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА:

«ПРОМИСЛОВЕ І ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО»

Тема: «Аналогія між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими»

Виконавець: студент ЦБ-204М, Матвеєнко Ярослав Вікторович

Керівник: доцент, к.т.н. Родченко Олександр Васильович

Консультант розділу «Охорона праці»: _____ Гулівець В.Д.
(підпис)

Консультант розділу

«Охорона навколишнього середовища»: _____ Гай А.Є.
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Родченко О.В.
(підпис)

Київ 2020

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Аналогія між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими»: 101 с., 46 рис., 9 табл., 33 літературних джерела.

Об'єкт дослідження: плоска задача теорії пружності та згин тонкої квадратної пластини.

Мета роботи: встановлення аналогії між плоскою задачею теорії пружності та згином тонких квадратних пластин, що жорстко закріплені двома протилежними сторонами та незакріплені двома іншими.

Метод дослідження: метод аналогії.

Результати магістерської роботи: використання аналогії між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, зменшує кількість невідомих і відповідно рівнянь методу скінченних елементів при розрахунку багатоповерхової будівлі із монолітними залізобетонними перекриттями.

АНАЛОГІЯ, ТОНКА КВАДРАТНА ПЛАСТИНА, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, НОРМАЛЬНЕ НАПРУЖЕННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, ПЛОСКА ЗАДАЧА ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ, ЖОРСТКЕ ЗАКРІПЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	
1.1. Плоска задача теорії пружності.....	
1.1.1. Плоский напружений стан і плоска деформація.....	
1.1.2. Основні рівняння плоскої задачі.....	
1.1.3. Вирішуючі рівняння в переміщеннях і напруженнях.....	
1.2. Теорія згину пластин.....	
1.3. Аналогія між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої пластини	
Висновки до розділу 1.....	
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПЛИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ.....	
2.1. Аналогія між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією різних видів навантажень.....	
2.2. Моделювання тонкої квадратної пластини методом скінченних елементів у ПК ЛІРА-САПР.....	
Висновки до розділу 2.....	
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ.....	
3.1. Проектування багатоповерхового будинку	

3.1.1	Об'ємно-планувальні.....	
3.1.2.	Зовнішнє і внутрішнє опорядження приміщень.....	
3.1.3.	Конструктивні рішення.....	
3.2.	Розрахунок багатоповерхового будинку.....	
3.2.1.	Аналіз ґрунтової основи ділянки під будівництво	
3.2.2.	Модель будинку у програмі «КОМПОНОВКА».....	
3.2.3.	Результати розрахунку у програмі «КОМПОНОВКА».....	
3.3.	Ефективність методу аналогії для розрахунку плити перекриття.....	
3.4.	Технологія будівництва.....	
3.4.1.	Обґрунтування методів виробництва будівельних, монтажних та спеціальних будівельних робіт.....	
3.4.2.	Організаційно – технологічна схема будівництва підприємства.....	
3.4.3.	Підготовка будівельного виробництва.....	
3.4.4.	Організація будівельного майданчика	
3.4.5.	Ведення монтажних робіт.....	
3.4.5.1.	Земляні роботи.....	
3.4.5.2.	Вказівки по влаштуванню фундаментів по палях.....	
3.4.5.3.	Виконання монолітних робіт (ростверки, бетонна підлога, перекриття).....	
3.4.5.4.	Монтаж металевих і збірних конструкцій.....	

3.4.5.5. Кладка внутрішніх стін.....	
3.4.5.6.Опоряджувальні роботи.....	
3.4.5.7.Прокладання інженерних мереж.....	
Висновки до розділу 3.....	
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	
4.1.Техніка безпеки при експлуатації будівельних машин.....	
4.2. Заходи по пожежній безпеці.....	
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТОК А. КРЕСЛЕННЯ.....	

ВСТУП

Актуальність теми. При рішенні цілого ряду задач будівельної механіки методом скінченних елементів виникає необхідність розв'язувати великі системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Великі задачі, в яких кількість ступенів свободи досягає 500 000 і більше, виникають при дослідженні спільної роботи будинку та ґрунтової основи. Враховуючи той факт, що у процесі проектування сучасних будинків доводиться багатократно корегувати розрахункові моделі і повторювати процедуру розрахунку методом скінченних елементів, стає очевидним необхідність розробки високопродуктивних методів, що дозволяють суттєво скоротити тривалість налагодження розрахункової моделі та знизити тим самим вартість проекту.

Способи практичного та експериментального використання аналогії між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонких пластин розглянуто у працях І.М. Асса, В.І. Блоха, Вігхардта, Кранца.

Мета і задачі дослідження. *Метою* дипломної роботи є встановлення аналогії між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими.

Для досягнення даної мети були поставлені і вирішені наступні *задачі*:

1. Провести аналіз праць із рішення плоскої задачі теорії пружності, задач згину тонких пластин та з пластинчатої аналогії.
2. Отримати формули для визначення коефіцієнту “пластинчатої аналогії” для тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими.

Об'єкт дослідження – плоска задача теорії пружності та згин тонкої квадратної пластини.

Предмет дослідження – аналогія між плоскою задачею теорії пружності та згином тонкої квадратної пластини.

Метод дослідження – метод аналогії.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримано формули для визначення коефіцієнту “пластинчатої аналогії” для тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Плоска задача теорії пружності

1.1.1. Плоский напружений стан і плоска деформація

Уявімо собі плоску пластину, навантажену деяким навантаженням в її площині (рис. 1.1, а). Товщина її δ дуже мала в порівнянні з розмірами a і c . В ідеалі товщина повинна бути близько нуля. У подібних умовах знаходиться дуже тонка розтягнута плівка. Якщо виділити елемент з розмірами dx , dy і δ в будь-якій точці такої пластини, то на його гранях в загальному випадку виникають напруження σ_x , σ_y і $\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau$ (рис. 1.1, б). На бічних гранях цього елемента (на рис. 1.1, б вони заштриховані) напруження відсутні: $\sigma_z = 0$; $\tau_{zx} = 0$; $\tau_{zy} = 0$. Припустимо, що ці напруження дорівнюють нулю і у внутрішніх точках елемента. Описаний стан називається плоским напруженим станом тіла. Воно характеризується тим, що дві паралельні грані нескінченно малого елемента, виділеного в будь-якій точці тіла, вільні від напружень. Напруження σ_x , σ_y , τ при цьому рівномірно розподілені по товщині пластини δ [6-8].

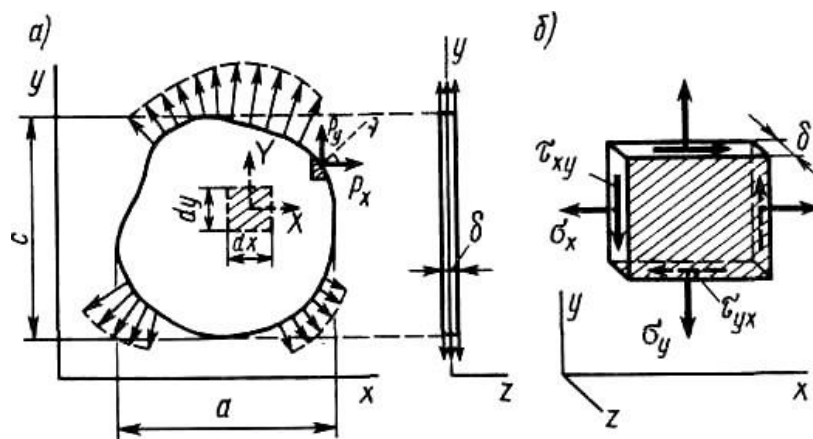


Рис. 1.1.Плоска пластина,
навантажена деяким навантаженням в її площині

Для кінцевої товщини пластини ці напруження можуть бути

розподілені при зазначеному навантаженні не зовсім рівномірно (рис. 1.1, а) і у внутрішніх точках пластини можуть виникати поодинокі напруження σ_z , τ_{zx} , τ_{zy} . У цьому випадку модель плоского напруженого стану, поширена на всю товщину δ , є наближеною, а одержувані напруження будуть деякими усередненими по відношенню до дійсних. Іноді зазначений випадок спрощення задачі називають узагальненим плоским напруженим станом пластини [7].

При плоскому напруженому стані в кожній точці змінюється товщина пластини δ . Дійсно, згідно із законом Гука отримаємо [6-8]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_z &= \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu\sigma_x - \mu\sigma_y) = -\frac{\mu}{E}(\sigma_x + \sigma_y); \\ \Delta\delta &= \varepsilon_z\delta = -\frac{\mu\delta}{E}(\sigma_x + \sigma_y).\end{aligned}\quad (1.1)$$

Завдання щодо визначення плоского напруженого стану пластини є двовимірної, оскільки три невідомих напруження σ_x , σ_y , τ , цілком визначають цей стан, залежать від двох координат: x і y . Те ж можна сказати і про переміщення u і v . Третя компонента w легко визначається при відомих напругах σ_x і σ_y зі співвідношення $\varepsilon_z = \partial w / \partial z = -\mu\sigma_x + \sigma_y / E$. Звідси, поєднавши площину xy із серединною площиною пластини і поклавши $w = 0$ при $z = 0$, отримаємо $w = -\mu\sigma_x + \sigma_y z / E$. Як бачимо, переміщення w по товщині пластини змінюються за лінійним законом [9].

Розглянемо інший випадок двовимірної задачі теорії пружності, званий плоскою деформацією.

На рис. 1.2 показано дуже довге циліндричне тіло, рівномірно завантажене на всій довжині b . Теоретично вважаємо $b \rightarrow \infty$, а практично $b \gg d$. Подумки розсічемо це тіло на окремі шари товщиною $\delta = 1$. Кожен шар знаходиться в однакових умовах. Якби ці шари відчували плоский напружений стан, то в кожній точці шару товщина змінилася б на величину $\Delta\delta$ (1.1). Але завдяки взаємодії сусідніх шарів це неможливо, тому кожен

шар деформується в умовах (рис. 1.2, б), де шар як би затиснутий між двома абсолютно іншими твердими поверхнями, примусово забезпечують умова незмінності товщини шару $\Delta\delta = 0$ [10].

Будемо вважати, що у торців циліндра забезпечуються такі ж умови. Отже, $w = 0$ і $\varepsilon_z = 0$. При цьому переміщення у всіх точках тіла відбуваються тільки в паралельних площинах (на рис. 1.2, а, б, в це переміщення $u = u(x, y)$ і $v = v(x, y)$ в площинах, паралельних xOy). Це і є випадок плоскої деформації тіла [8].

Будемо вважати, що у торців циліндра забезпечуються такі ж умови. Отже, $w = 0$ і $\varepsilon_z = 0$. При цьому переміщення у всіх точках тіла відбуваються тільки в паралельних площинах (на рис. 1.2, а, б, в це переміщення $u = u(x, y)$ і $v = v(x, y)$ в площинах, паралельних xOy). Це і є випадок плоскої деформації тіла [9].

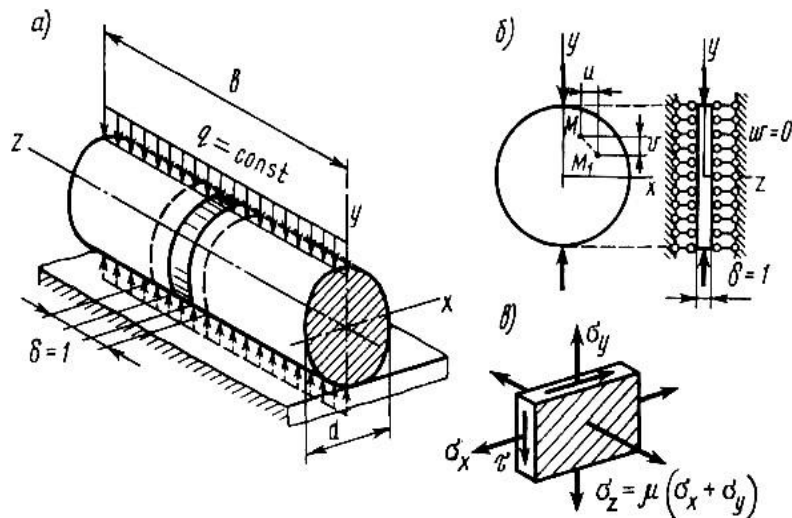


Рис. 1.2. Дуже довге циліндричне тіло, рівномірно завантажене на всій довжині b

За законом Гука маємо $\varepsilon_z = (\sigma_z - \mu\sigma_x - \mu\sigma_y)/E = 0$ звідси

$$\sigma_z = \mu(\sigma_x + \sigma_y).$$

Зважаючи на те, що $w = 0$, а u і v не залежать від z , маємо

$$\gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \text{ и } \gamma_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (1.2)$$

Отже, при плоскій деформації дотичні напруження $\tau_{zy} = \tau_{zx} = 0$ (рис. 1.2, в). Хоча це напружений стан і є об'ємним, але воно цілком визначається трьома напруженнями σ_x , σ_y , і τ , залежними лише від координат $x - y$, і завдання про плоскої деформації залишається двовимірної [6].

Зауважимо, що напруження σ_z в кожному перетині циліндра в загальному випадку приводяться до поздовжньої сили N_z і моментам M_x , M_y . Якщо торці циліндра в дійсності вільні і ці зусилля виникнути там не можуть, то наближено до вирішення у вигляді описаної плоскої деформації треба додати елементарне рішення про центральному розтягу-стиску стержня силою N_z і чистому вигині моментами M_x . Зазначені зусилля прикладаються до торців зі знаками, протилежними по відношенню до N_z , M_x , M_y так, щоб головний вектор і головний момент зусиль на торцях були рівні нулю. В такому наближеному вирішенні на торцях залишається деяка система напруг $\Delta\sigma_z \neq 0$, але вона буде самоуравновешена і вплив її буде позначатися за принципом Сен-Венана лише на малій довжині ($\sim d$). На цій довжині в дійсності буде складний напружений стан, знайти яке можна тільки, вирішуючи тривимірну задачу. Наведемо ще один приклад [6].

На рис. 1.3 наведено зразок, що розтягується та два гострих надрізи. Епюра напружень σ_y має зону різкого збільшення цих напружень біля вістря надрізу (концентрація напружень). Концентрація напружень виникає в невеликій циліндричній зоні з характерним розміром перетину d . По ширині зразка (вздовж осі z) матиме місце плоска деформація довжиною $\sim (b - 2)d$, а у поверхні зразка довжиною $\sim d$ виникає складний напружений стан. Зазвичай товщина зразка $b \gg d$, тому можна вважати, що концентрація напружень у вістря надрізу розвивається в основному в умовах плоскої деформації. Це важливо враховувати при оцінці результатів

випробувань таких зразків, оскільки пластичні властивості матеріалу по-різному проявляються при плоскому напруженому стані і при плоскій деформації, коли в точках цієї зони виникає об'ємний напружений стан [7].

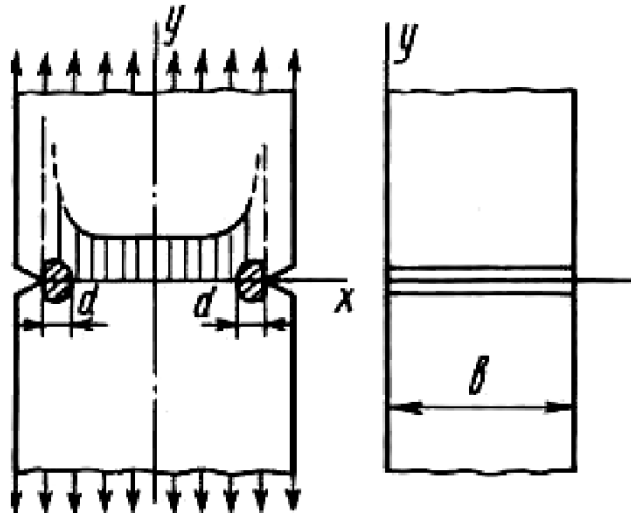


Рис. 1.3. Зразок, що розтягується

1.1.2. Основні рівняння плоскої задачі

Наведемо основні рівняння теорії пружності спочатку для плоского напруженого стану, які отримаємо з відповідних рівнянь для об'ємної задачі, виключивши з них похідні по координаті z [9].

Рівняння рівноваги:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} + X &= 0; \\ \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Умови рівноваги на поверхні тіла

$$\left. \begin{aligned} l\sigma_x + m\tau &= p_x; \\ l\tau + m\sigma_y &= p_y, \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

де $l = \cos(x, y) = \cos \alpha$; $m = \cos(y, v) = \sin \alpha$

Геометричне рівняння (Коші)

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}. \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

З шести рівнянь спільності деформацій Сен-Венана в плоскій задачі залишається тільки одне:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = 0 \quad (1.6)$$

Нарешті, закон Гука для ізотропного матеріалу має наступний вигляд:

- в прямій формі

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y); \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E}(-\mu\sigma_x + \sigma_y); \\ \gamma_{xy} &= \frac{\tau}{G} = \frac{2(1+\mu)}{E}\tau; \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

- у зворотній формі

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y); \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu^2}(\mu\varepsilon_x + \varepsilon_y); \\ \tau &= G\gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)}\gamma_{xy}. \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

Для плоскої деформації всі наведені рівняння, крім закону Гука, залишаються в силі. Закон Гука записується в дещо відмінній формі через наявність напруження σ_z . Так наприклад перший рядок отримує вигляд $\epsilon_x = (\sigma_x - \mu\sigma_y - \mu\sigma_z)/E$. Підставивши сюди значення σ_z по (1.2), отримаємо $\epsilon_x = [(1-\mu^2)\sigma_x - \mu(1+\mu)\sigma_y]/E$. Винесемо за дужки $(1-\mu^2)$ [9]:

$$\epsilon_x = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\sigma_x - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_y \right). \quad (1.9)$$

Цей вислів цілком аналогічно першому рядку (1.7), але містить нові умовні контакти пружності $\mu_1 = \mu/(1-\mu)$ і $E_1 = E/(1-\mu^2)$, причому легко перевірити, що справедлива рівність $G = E_1/[2(1+\mu_1)]$.

З урахуванням введених умовних констант пружності фізичні співвідношення для плоскої деформації матимуть той же вигляд, що і (1.7) і (1.8), але в них треба замінити μ на μ_1 і E на E_1 .

Таким чином, будь-яке рішення наведених вище рівнянь для плоского напруженого стану може бути застосовано і для відповідного випадку плоскої деформації після заміни дійсних констант пружності E і μ даного матеріалу на умовні E_1 і μ_1 . З огляду на сказане, в подальшому будемо мати на увазі під плоскою завданням випадок плоского напруженого стану [6].

Оскільки наведені нижче рішення для ізотропного матеріалу будуть в ряді випадків узагальнюватися на випадок ортотропного матеріалу, наведемо для останнього закон Гука в прямій формі [6]:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= c_{11}\sigma_x - c_{12}\sigma_y; \\ \epsilon_y &= -c_{21}\sigma_x + c_{22}\sigma_y; \\ \gamma_{xy} &= c_{33}\tau, \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

де

$$c_{11} = \frac{1}{E_x}; \quad c_{22} = \frac{1}{E_y}; \quad c_{33} = G_{xy}; \quad c_{12} = c_{21} = \frac{\mu_{xy}}{E_y} = \frac{\mu_{yx}}{E_x}, \quad (1.11)$$

в зворотній формі:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= d_{11}\varepsilon_x + d_{12}\varepsilon_y; \\ \sigma_y &= d_{21}\varepsilon_x + d_{22}\varepsilon_y; \\ \tau &= d_{33}\gamma_{xy}, \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

де

$$\begin{aligned} d_{11} &= \frac{E_x}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}}; \quad d_{22} = \frac{E_y}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}}; \quad d_{33} = G_{xy}; \\ d_{12} &= d_{21} = \frac{\mu_{xy}E_x}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}} = \frac{\mu_{yx}E_y}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

У випадку плоскої деформації замість (1.2) для напружень будемо мати [7]:

$$c_z = \frac{\mu_{xz}E_z}{E_x}\sigma_x + \frac{\mu_{zy}E_z}{E_y}\sigma_y \quad (1.14)$$

і значення коефіцієнтів пружності в рівностях (1.9) будуть

$$\begin{aligned} c_{11} &= \frac{1 - \mu_{xz}\mu_{zx}}{E_x}; \quad c_{22} = \frac{1 - \mu_{yz}\mu_{zy}}{E_y}; \\ c_{12} &= c_{21} = \frac{\mu_{xy} + \mu_{xz}\mu_{zy}}{E_y} = \frac{\mu_{xy}}{E_y} + \frac{\mu_{xz}\mu_{yz}}{E_z}. \end{aligned} \quad (1.15)$$

1.1.3. Вирішуючі рівняння в переміщеннях і напруженнях

Розглянемо пластину з заданої поверхності $\vec{p}^T = [p_x, p_y]$ і об'ємним навантаженням $\vec{g}^T = [X, Y]$. Виберемо, згідно з методом переміщень, в

якості основних невідомих функцій переміщень $u = u(x, y)$ и $v = v(x, y)$. Для їх визначення маємо два рівняння рівноваги (1.3), в яких напруження треба висловити через переміщення. Використовуючи закон Гука в зворотній формі, висловимо в рівняннях (1.8) деформації ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} через переміщення за допомогою геометричних рівнянь Коші (1.5). В результаті отримаємо [8]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right); \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu^2} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right); \\ \tau &= G \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right). \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

Підставляючи (1.11) в (1.3), остаточно отримаємо дозволяють рівняння плоскої задачі в переміщеннях:

$$\left. \begin{aligned} E_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + (G + \mu E_1) \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + X &= 0; \\ E_1 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + (G + \mu E_1) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + Y &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.17)$$

де $E_1 = E/(1-\mu^2)$; $G = E/[2(1+\mu)]$.

Граничними умовами на контурі пластини є умови (1.4), в яких замість σ_x , σ_y і τ слід підставляти вирази (1.11).

Аналогічні перетворення для ортотропного матеріалу, що підкоряється закону Гука (1.10), призводять замість (1.12) до наступних рівнянь [6-8]:

$$\left. \begin{aligned} d_{11} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + d_{33} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + (d_{12} + d_{33}) \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + X &= 0; \\ d_{22} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + d_{33} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + (d_{12} + d_{33}) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + Y &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.18)$$

Розглянемо тепер рішення в напружених для ізотропного матеріалу. У цьому випадку за основні невідомі функції приймаються три напруження: $\sigma_x = \sigma_x(X, y)$; $\sigma_y = \sigma_y(X, y)$ і $\tau = \tau(x, y)$, а в якості дозволяють рівнянь маємо два рівняння рівноваги (1.3) і рівняння спільності деформацій (1.6) [7]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} + X &= 0; \\ \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y &= 0; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.19)$$

де деформації ε_x , ε_y , γ_{xy} треба виразити через напруження. Прийmemo в подальшому, що об'ємні сили $X = \text{const}$ і $Y = \text{const}$. Тоді, диференціюючи перший рядок (1.14) по x , другий - по y і складаючи їх, знайдемо, що

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x \partial y} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} \right). \quad (1.20)$$

Підставляючи тепер з рівнянь (1.8) вирази деформацій через напруження (1.7), з використанням (1.15) приведемо його до виду [8]

$$\frac{1}{E} \left[\frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_y)}{\partial y^2} \right] = 0. \quad (1.21)$$

Диференціальний оператор $\partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 = \nabla^2$ називається гармонійним оператором Лапласа. Використовуючи це скорочене позначення, рівняння (1.8) остаточно запишемо у вигляді [8]

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} + X &= 0; \\ \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y &= 0; \\ \nabla^2(\sigma_x + \sigma_y) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.22)$$

Останній рядок тут представляє рівняння спільності деформацій плоскої задачі, виражене в напружених, і називається рівнянням Леві.

Звернемо увагу на важливу особливість системи (1.17): в неї не входять константи пружності E і μ . Отже, при заданих на поверхні пластинки навантаженнях p_x , p_y (1.4) ці рівняння можуть бути вирішені і дадуть напруження, які не залежать від пружних властивостей ізотропного лінійно-пружного матеріалу. Це положення зазвичай називають теоремою Леві. Вона служить теоретичним підґрунтям, що дозволяє напруження, знайдені на моделях, виготовлених з будь-якого матеріалу, переносити на геометрично подібні і аналогічно завантажені деталі конструкцій, виконані з іншого матеріалу. Наприклад, в методі фотоупругості використовуються прозорі моделі, а результати експериментальних досліджень переносять на сталеві, бетонні і т. П. Елементи конструкцій. Підкреслимо, що строго це положення справедливе тільки для елементів із заданою поверхневою навантаженням (а не переміщеннями) і, як показує більш детальний аналіз, тільки для однозв'язних без отворів. У тілах з отворами для застосовності теореми Леві треба, щоб виконувалася додаткову умову, а саме: на кожному замкнутих контурів тіла і отворів головні вектори і момент поверхневого навантаження повинні бути рівні нулю [6-8].

1.2. Теорія згину пластин

Пластиною називається призматичне тіло, два розміри якого набагато більше третього. Малий розмір тіла називається товщиною пластини. Тонкими пластинами вважають пластини, для яких $\frac{\delta}{\min(a,b)} \leq \frac{1}{5}$, де δ – товщина пластини; a, b – характерні розміри пластини в плані, звичайно одного порядку [11].

Геометричне місце точок, що ділить товщину пластини навпіл, називається серединною поверхнею пластини. В теорії згину пластин серединна поверхня відіграє таку ж роль, як в опорі матеріалів нейтральна лінія при згині балок. Лінію, що обмежує серединну площину пластини називають контуром пластини. Далі розглядаються пластини постійної товщини [11].

У серединній поверхні використовуємо прямокутну декартову систему координат x, y . Ось z , перпендикулярну до серединної поверхні пластини, направляємо вниз (рис. 1.4) [11].

Згин пластин виникає від навантаження, нормального до серединної поверхні пластини (рис. 1.4). Навантаження може бути розподіленим по поверхні пластини $q(x, y)$, лінійно розподіленим $q(x, y(x))$ або зосередженою силою $P(x_i, y_i)$. Можливе також моментне навантаження [12-14].

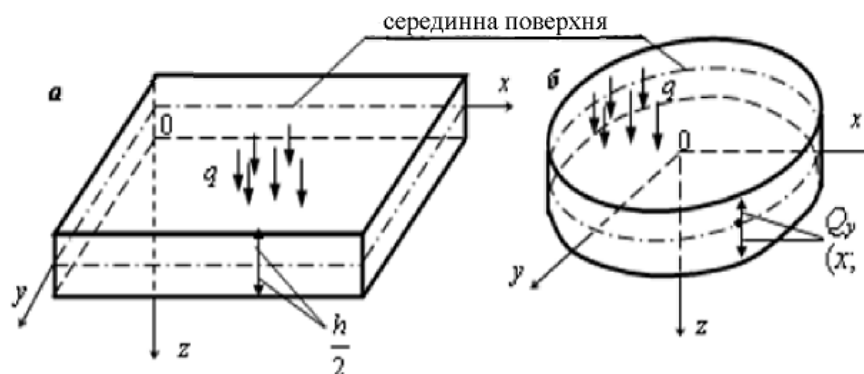


Рис. 1.4. Тонкі пластини:

a – прямокутна; b – з довільним контуром



Рис. 1.5. Згинання тонкої пластини

Під дією навантаження точки середньої поверхні переміщуються по осі, які називають прогибами середньої поверхні пластини — $w(x, y)$. Середина поверхня пластини викривляється, її називають середньою поверхнею зігнутої пластини (рис 1.5) [14].

Залежно від співвідношення основних розмірів пластини і її прогином пластину можна віднести до різних категорій.

Пластини з відношенням $\frac{\delta}{\min(a, b)} = \frac{1}{5} \div \frac{1}{3}$ відносять до категорії товстих плит. Товсті плити можуть бути елементами фундаментів, гідротехнічних споруд, опорних елементів верстатів і т.п. Розрахунок товстих плит проводиться зазвичай як тривимірних тіл з використанням рівнянь просторової теорії пружності [13-15].

Якщо прогини тонких плит перевищують $\frac{1}{4}$ товщини пластини ($w > \delta/4$), то такі пластини відносять до категорії гнучких пластин. Розрахунок гнучких пластин проводиться з урахуванням геометрично нелінійності. При розрахунку таких пластин істотне значення мають тангенціальні (рівномірно розподілені по товщині пластини) напруження. При товщині

пластин $\frac{\delta}{\min(a, b)} \leq \frac{1}{80}$ згинальним напруженням у пластині нехтують і

розрахунок ведуть за мембранною теорією. Такі пластини повинні мати жорсткий опорний контур [15-21].

1.3. Аналогія між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої пластини

Аналогія (від грецького слова *analogia*, що у перекладі означає: відповідність, подібність, схожість) – метод пізнання, заснований на перенесенні однієї або кількох характеристик із відомого явища на невідоме.

У загальній формі висновок за аналогією записують наступним чином: якщо А та В мають спільні риси, водночас А має рису „с”, то і В має рису „с”.

Рівняння пружної поверхні або рівняння Софі Жермен (1.23) в теорії вигину плоскої пластини є таким же важливим, як і в плоскій задачі теорії пружності функція напружень. Дійсно, знаючи функцію напружень φ , можна просто отримати вирази для всіх компонентів напружень, так і в теорії вигину пластин, знаючи рівняння вигнутої поверхні, легко отримати вирази для всіх компонентів напружень, а також для компонентів зусиль [22].

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \frac{P}{D} \quad (1.23)$$

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0 \quad (1.24)$$

Із співставлення виразів (1.23) та (1.24) можна зробити висновок, що і по зовнішній формі бігармонічне рівняння для функції напружень в плоскій

задачі співпадає з однорідним бігармонічним рівнянням без правої частини задачі згину пластини.

Таким чином, функцію напружень в плоскій задачі можна також розглядати як рівняння пружної поверхні пластини, поперечний згин якої здійснюється поперечними навантаженнями, прикладеними по опорному контуру тонкої пластини.

Існує цікава аналогія і в граничних умовах для вище згаданих двох схожих математично задач, а саме статичним граничним умовам плоскої задачі відповідають кінематичні граничні умови фіктивного поперечного згину тонкої пластини; кінематичним граничним умовам плоскої задачі відповідають статичні граничні умови фіктивного поперечного згину тонкої пластини [22].

Розв'язання даної проблеми було започатковано у роботі [22]. В цій науковій статті пропонується спосіб практичного використання цієї аналогії.

Як відомо, для розв'язання плоскої задачі теорії пружності досить визначити функцію напружень Ері φ з точністю до лінійних доданків. Однак, як показав В. І. Блох, якщо ввести у розгляд нову так звану моментну функцію ψ , пов'язану з функцією напружень Ері φ рівнянням

$$\psi = \varphi - \varphi_0(x - x_0)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)_0 - (y - y_0)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)_0, \quad (1.25)$$

де $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)_0$ і $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)_0$ — значення похідних у фіксованій точці (x_0, y_0) , то координатні складові головного вектора сил напружень, що діють з лівого боку перерізу, проведеного з цієї точки в біжучу (x, y) , знайдуться з рівнянь

$$Q_x = \frac{\partial\psi}{\partial y}; \quad Q_y = \frac{\partial\psi}{\partial x}. \quad (1.26)$$

Головний момент M сил напружень відносно кінцевої точки перерізу

визначається як

$$M = \psi \quad (1.27)$$

Координатні напруження в будь-якій точці при цьому знаходяться звичайним шляхом

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2}; \\ \sigma_{yy} &= \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}; \\ \sigma_{xy} &= -\frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y}. \end{aligned} \quad (1.28)$$

Якщо початкову точку (x_0, y_0) перерізу розташувати на граничному контурі розглядуваної області плоскої задачі в точці, вільній від зовнішніх зосереджених сил чи моментів, а перерізи проводити постійно з цієї початкової точки в будь-яку іншу на тому ж контурі, то з розгляду рівноваги частин, що відсікаються, можна для одного й того ж контура на підставі рівнянь (1.26) і (1.27) визначити граничні значення як самої функції ψ , так і її перших похідних. Для випадку багатозв'язкової області зв'язок між граничними значеннями функції ψ на різних контурах визначається з точністю до лінійних доданків.

У випадку ізотропії функція ψ буде бігармонічною, а у випадку анізотропії з пружними сталими a_{ij} моментна функція повинна задовольняти рівняння (1.24):

$$c_{22} \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} - 2c_{26} \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^3 \partial y} + (2c_{12} + c_{66}) \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} - 2c_{16} \frac{\partial^4 \psi}{\partial x \partial y^3} + c_{11} \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} = 0, \quad (1.29)$$

де для узагальненого плоского напруженого стану

$$c_{ij} = a_{ij} \quad (i, j = 1; 2; 6; a_{ij} = a_{ji}), \quad (1.30)$$

а для плоскої деформації

$$c_{ij} = \frac{a_{33}a_{ij} - a_{i3}a_{j3}}{a_{33}}. \quad (1.31)$$

З іншого боку, величина прогину W тонкої пластини, яка вигинається внаслідок зусиль, прикладених лише на контурі, у випадку ізотропії є також бігармонічною функцією, а у випадку анізотропії підлягає рівнянню

$$D_{11} \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 4D_{16} \frac{\partial^4 W}{\partial x^3 \partial y} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + 4D_{26} \frac{\partial^4 W}{\partial x \partial y^3} + D_{22} \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = 0. \quad (1.32)$$

Тут

$$D_{ij} = \frac{h^3}{12} \frac{A(\bar{a}_{ij})}{D(\bar{a}_{ij})}, \quad (1.33)$$

де h — товщина пластини,

$D(\bar{a}_{ij})$ — визначник 3-го порядку, складений з пружних сталих \bar{a}_{ij} пластини,

що згинається,

$A(\bar{a}_{ij})$ — алгебраїчне доповнення елемента \bar{a}_{ij} .

Із зіставлення рівнянь (1.29) і (1.31) виходить, що задачу про знаходження моментної функції ψ для даного конкретного випадку можна замінити задачею експериментального знаходження прогинів W_y тонкій пластині з відповідними пружними сталими, що має аналогічний обрис і вигинається зусиллями, прикладеними лише на контурі. Величина прогинів на контурі у цьому випадку має бути пропорціональна контурним значенням функцій ψ , а девіації — контурним значенням перших похідних функції ψ . Цей принцип заміни в плоскій задачі ми будемо називати «пластинчатою

аналогією» [22].

Способи практичного використання «пластинчатої аналогії», запропоновані Вігхардтом і Кранцом, відзначаються складністю техніки експерименту. Крім того, будучи обмеженими у своїх побудовах представленнями функцій напружень у формі функцій Ері, вони не знайшли зручного методу визначення масштабного фактора для переходу від дослідних даних до величин напружень плоскої задачі. Тимчасом розгляд вказаної вище моментної функції розв'язує задачу про масштабний коефіцієнт дуже елементарно шляхом порівняння граничних прогинів і девіації з відповідними контурними значеннями для шуканої функції [22].

На основі виконаної І. М. Ассом експериментальної частини цього дослідження можна рекомендувати таку техніку практичного використання методу пластинчатої аналогії.

Моделюючи пластинку найкраще приготувати з целулоїду або відповідної пластмаси. Лінійні розміри моделей можна вибрати в межах 15—25 см при товщині пластинки 1,5—3 мм. Необхідну ортотропність можна одержати шляхом дрібного рифлення пластинки з одного її боку на стругальному верстаті. Моделюючій пластинці надається геометрична форма обрису досліджуваної області плоскої задачі з необхідними напусками по контуру для затискання їх у спеціальних штампах або в контурних затискачах [22].

На рис. 1.6 показана взірцева форма заготовки моделюючої пластинки для дослідження задачі про круглий диск, завантажений двома зосередженими силами, прикладеними по кінцях діаметра.

У тому випадку, коли на границі області плоскої задачі діють зосереджені сили, краї моделі розташовані з різних боків точки прикладання кожної сили, прикріплені у відповідних жорстких контурних затискачах, повертаються один відносно одного на деякий кут навкруги сліду вектора цієї сили [22].

На випадок дії по контуру області розподіленого навантаження варто застосовувати спеціальні спрофільовані контурні штампи.

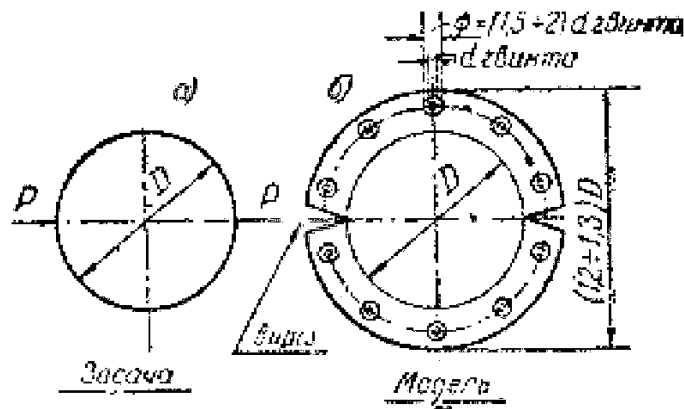


Рис. 1.6. Взірцева форма заготовки моделюючої пластинки для дослідження задачі про круглий диск

У деяких випадках розподілених навантажень є можливість отримати необхідні граничні деформації також шляхом відхилення і зміщення плоских контурних затискачів.

За наявності на контурі досліджуваної області плоскої задачі зосереджених моментів затиснені краї моделі, розташовані з різних боків точки прикладання моменту, паралельно зміщуються один відносно одного на певну величину.

Прогини вигнутої пластинки, що являють собою у певному масштабі значення моментної функції ψ , можна вимірювати звичайним індикатором або прогиновимірювачем з ціною ділення в $0,01 \div 0,002$ мм. Для вимірювання прогинів у різних точках моделі індикатор прикріплюється на компараторі, що допускає переміщення по двох координатних осях паралельно моделі. Результати вимірювань прогинів у координатних перерізах зручно представляти у вигляді відповідних кривих. Величини координатних напружень визначаються далі шляхом чисельного, графічного або механічного двократного диференціювання.

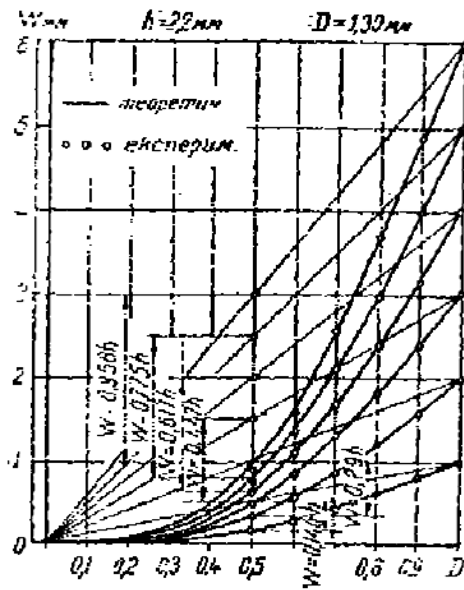


Рис. 1.7. Графіки порівняння дослідних та теоретичних величин прогинів у поперечному перерізі моделі

На рис. 1.8 зіставлені дослідні й теоретичні величини прогинів у поперечному перерізі моделі вказаної вище задачі про круглий диск для різних кутів відхилення контурних плоских затискачів [22].

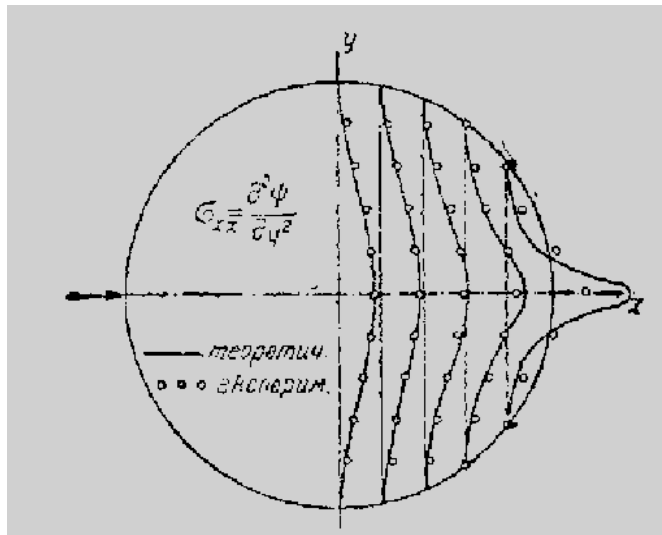


Рис. 1.8. Порівняння результатів теоретичного та експериментального визначення напружень σ_{xx} круглого диску

Для зменшення загальних поздовжніх напружень, що виникають у пластинці, яку вигинають, і впливають на результати експерименту, слід не допустити максимальні прогини більш за 0,6—0,8 товщини пластини. З цією ж метою слід затискувати краї моделі у контурні затискачі не до, а після того, як останні будуть відповідним чином встановлені [22].

На рис. 1.8 зіставлені результати теоретичного та експериментального визначення напружень σ_{xx} для того ж випадку круглого диска.

В зазначених вище наукових публікаціях розглядаються лише частні випадки встановлення аналогії між плоскою задачею та задачею вигину пластин: так у роботі розглядається аналогія між задачею про круглий диск, завантажений двома зосередженими силами, прикладеними по кінцях діаметра, та моделюючою пластинкою, краї якої, розташовані з різних боків точки прикладання кожної сили, прикріплені у відповідних жорстких контурних затискачах і повертаються один відносно одного на деякий кут навкруги сліду вектора цієї сили; у роботі [22] пропонується аналогія між плоскою задачею та поперечним згином лише прямокутної пластинки, поперечний згин котрої здійснюється поперечними навантаженнями, прикладеними по опорному контуру пластини, випадок прикладення навантаження по поверхні пластин в цій роботі не розглядається.

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз плоскої задачі теорії пружності, плоского напруженого стану та плоскої деформації. Наведено основні рівняння плоскої задачі.

2. Розглянуто теорію згину пластини, а саме, що згин пластини виникає від навантаження, нормальної до серединної поверхні пластини, наведені рисунки.

3. Метод «пластинчатої аналогії» має у порівнянні з оптичним

методом велику перевагу щодо простоти апаратури і техніки експерименту.

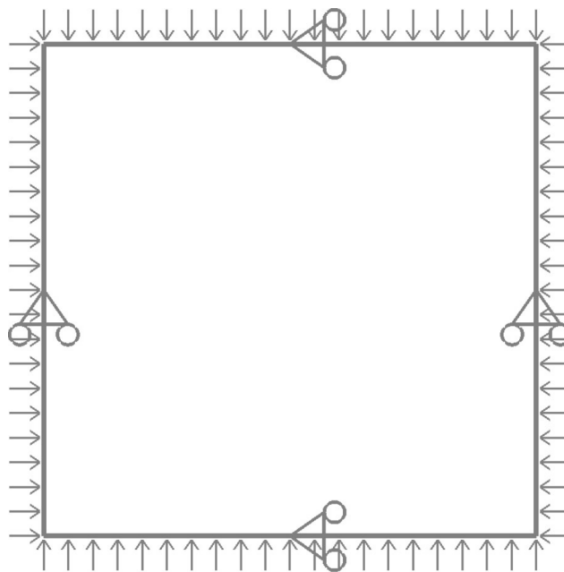
4. Метод «пластинчатої аналогії» дозволяє визначити всі компоненти напружень в результаті безпосередньої обробки результатів експерименту.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПЛИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

2.1. Аналогія між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією різних видів навантажень

Для визначення аналогії між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією різних видів навантажень, необхідно окремо розв'язати ці дві задачі, а потім співставити їх рішення і визначити коефіцієнт переходу (коефіцієнт аналогії) від рішення однієї задачі до рішення іншої, при цьому цей коефіцієнт аналогії повинен бути однаковим для всіх типів задач згину тонкої квадратної пластини.

Розглянемо квадратну пластину зі стороною a , що рівномірно стиснена по контуру зусиллям P^* (рис. 2.1), товщина пластини – δ .



P^*

Рис. 2.1. Схема квадратної пластини стисненої по контуру зусиллям P^*

Рівняння сумісності у випадку симетричного розподілу напружень:

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0.$$

Функція напружень φ у вигляді багаточлена другого ступеня має наступний вигляд:

$$\varphi = \frac{1}{2} c_1 y^2 + c_2 xy + \frac{1}{2} c_3 x^2.$$

При $x=0$, φ та похідні кінцеві: $c_2 = c_3 = 0$,

$$\varphi = \frac{1}{2} c_1 y^2;$$

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = c_1.$$

При $y=a/2$ та $\sigma_x = -\frac{P^* a}{\delta a} = -\frac{P^*}{\delta}$, тоді $c_1 = -P^*/\delta$

$$\varphi = -\frac{P^*}{2\delta} y^2.$$

Тоді

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -\frac{P^*}{\delta}.$$

Введемо поняття моментної функції $\psi = \varphi$, тоді

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \sigma_x = \sigma_y = -\frac{P^*}{\delta}. \quad (2.1)$$

Розглянемо три задачі згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, і встановимо аналогію з плоскою задачею.

1) Тонка квадратна пластина зі стороною a , що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією навантаження q рівномірно розподіленого по всій її поверхні (рис. 2.2) [25].

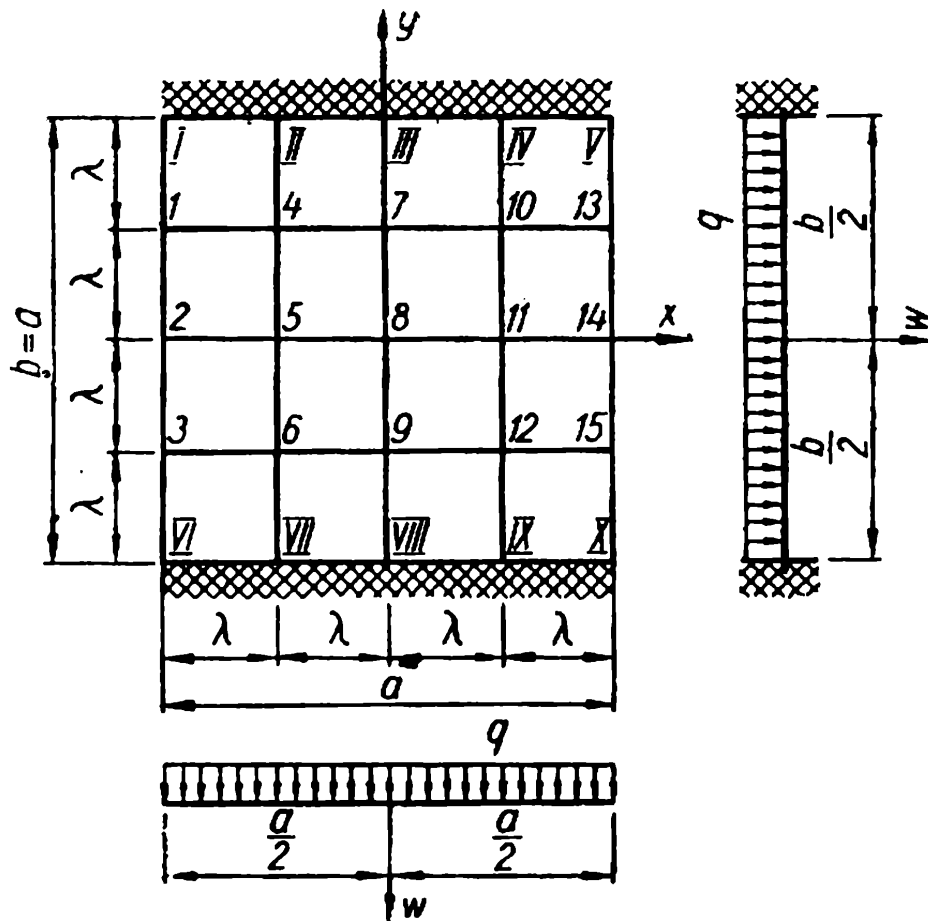


Рис. 2.2. Тонка квадратна пластина, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією рівномірно розподіленого навантаження

Рівняння Софі Жермен для тонкої пластини має вигляд:

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \frac{q_0}{D}.$$

Для квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, рівняння вигнутої поверхні має вигляд:

$$\omega = \frac{16 q a^2}{\pi^6 D} (a^2 - 2ax + x^2),$$

де D – циліндрична жорсткість, яка визначається за формулою

$$D = \frac{E \delta^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (2.2)$$

де δ – товщина пластини, м;

E – модуль пружності матеріалу пластини при розтягу, кН/м²;

μ – коефіцієнт Пуассона.

Для квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, значення згинальних моментів у центрі пластини визначаються за формулою [25]:

$$M_{\max} = 0,033 q a^2 (1 + \mu).$$

Введемо поняття моментної функції

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \frac{M}{D};$$

$$\psi = M;$$

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \frac{32 q a^2}{\pi^6 D};$$

$$\psi = \frac{32 q a^2 D}{\pi^6 D}. \quad (2.3)$$

Прирівняємо вирази (2.1) та (2.3)

$$-\frac{P^*}{\delta} = \frac{32 qa^2 D}{\pi^6 D},$$

скоротимо циліндричну жорсткість D

$$-\frac{P^*}{\delta} = \frac{32qa^2}{\pi^6} \quad (2.4)$$

оскільки $\sigma_x = \sigma_y = \frac{P^*}{\delta}$, то прийmemo, що $\sigma = \frac{P^*}{\delta}$ (σ – нормальне напруження у плоскій задачі), тоді

$$\sigma = -\frac{32}{\pi^6} qa^2,$$

з урахуванням значення числа «пі»

$$\sigma = -0,0333qa^2. \quad (2.5)$$

Максимальне напруження у центрі квадратної пластини визначається за формулою [25]

$$\sigma_{\max} = 0,2 \frac{qa^2(1+\mu)}{\delta^2}, \quad (2.6)$$

Якщо вираз (2.5) поділити на $\left[-\frac{\delta^2}{6(1+\mu)} \right]$, то отримуємо вираз (2.6) в точності.

Вираз $\left[-\frac{\delta^2}{6(1+\mu)} \right]$ назвемо коефіцієнтом “пластинчатої аналогії” і надалі для скорочення запису будемо позначати k_A .

Коефіцієнт “пластинчатої аналогії”

$$k_A = -\frac{\delta^2}{6(1+\mu)}. \quad (2.7)$$

Таким чином, напруження у центрі тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома

іншими, можна знаходити, поділивши напруження у плоскій задачі теорії пружності σ на коефіцієнт “пластинчатої аналогії”:

$$\sigma_c = \frac{\sigma}{k_A}. \quad (2.8)$$

Вираз (2.8) назвемо формулою пластинчатої аналогії для центру тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, і знаходиться під дією рівномірно розподіленого навантаження.

Для опорної зони: напруження в зоні опори визначається за формулою

$$\sigma_o = -\frac{0,45(1+\mu)qa^2}{\delta^2}, \quad (2.9)$$

таким чином, якщо вираз (2.5) поділити на $\left[\frac{\delta^2}{13,5(1+\mu)} \right]$, то отримуємо вираз (2.9) в точності, вираз $\left[\frac{\delta^2}{13,5(1+\mu)} \right]$ у 2,25 рази менше коефіцієнта “пластинчатої аналогії” k_A , тоді:

$$\sigma_o = -2,25 \frac{\sigma}{k_A}. \quad (2.10)$$

Формулу (2.10) назвемо формулою пластинчатої аналогії опори для рівномірно розподіленого навантаження на тонкій квадратній пластині, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими.

Зв’язок між розподіленим навантаженням P^* у плоскій задачі та рівномірно розподіленим навантаженням q на поверхні пластини встановлюється на основі виразу (2.4), без знаку «-»,

$$\frac{P^*}{\delta} = \frac{32qa^2}{\pi^6},$$

$$\frac{P^*}{\delta} = 0,0333qa^2, \quad (2.11)$$

$$P^* = \frac{qa^2\delta}{30}. \quad (2.12)$$

2) Тонка квадратна пластина зі стороною a , що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією зосередженого навантаження, прикладеного у центрі (рис. 2.3) [25].

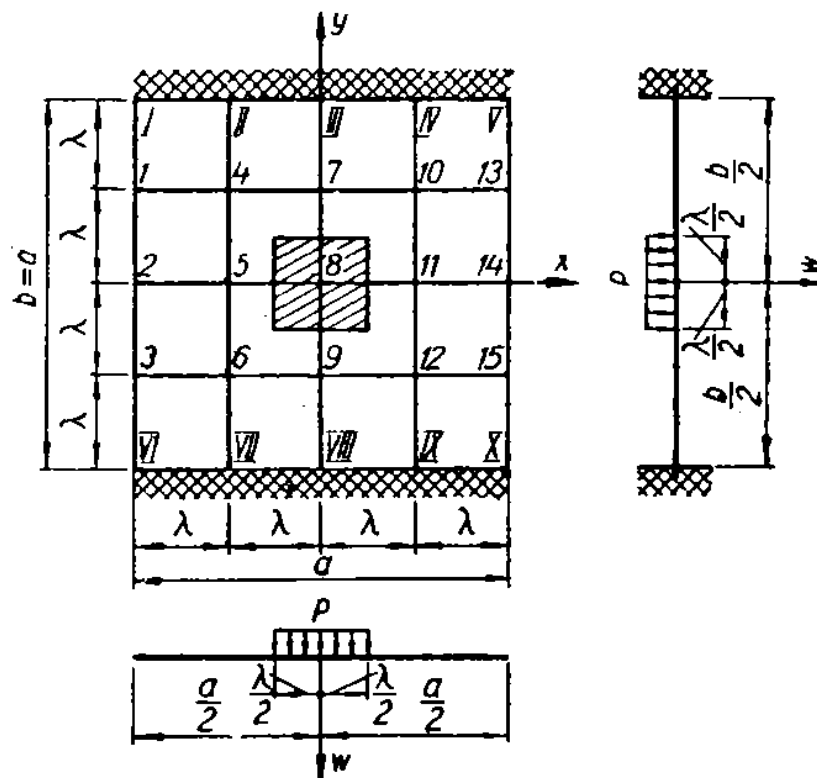


Рис. 2.3. Тонка квадратна пластина під дією центрального зосередженого навантаження

В цьому розрахунковому випадку рівняння вигнутої поверхні має вигляд [25]:

$$\omega = \frac{16}{\pi^6 D} P(a^2 - 2ax + x^2),$$

де P – рівнодіюча навантаження, кН ($P = q\lambda^2$).

Введемо поняття моментної функції, як і в плоскій задачі

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \frac{M}{D};$$

$$\psi = M;$$

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \frac{32}{\pi^6 D} P;$$

$$\psi = \frac{32}{\pi^6 D} PD \quad (2.13)$$

Прирівняємо вирази (2.1) та (2.13)

$$-\frac{P^*}{\delta} = \frac{32}{\pi^6 D} PD,$$

$$\sigma = -0,0333P. \quad (2.14)$$

Максимальне напруження у центрі пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, визначається за наступною формулою [25]

$$\sigma_{\max} = \frac{1,04(1 + \mu)P}{\delta^2}, \quad (2.15)$$

Таким чином, якщо вираз (2.14) поділити на $\left[-\frac{\delta^2}{31,2(1 + \mu)}\right]$, то отримуємо вираз (2.15) в точності.

Вираз $\left[-\frac{\delta^2}{31,2(1 + \mu)}\right]$ у 5,2 рази менше коефіцієнта “пластинчатої аналогії” k_A

Таким чином, напруження в тонкій квадратній пластині, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, можна знаходити, поділивши σ на k_A

$$\sigma_{\max} = \frac{5,2\sigma}{k_A}. \quad (2.16)$$

Формулу (2.16) назвемо формулою пластинчатої аналогії для центрально зосередженого навантаження.

Для опорної зони: напруження визначається за формулою

$$\sigma_o = -\frac{P(1 + \mu)}{\delta^2}, \quad (2.17)$$

таким чином, якщо вираз (2.5) поділити на $\left[\frac{\delta^2}{30(1 + \mu)}\right]$, то отримуємо вираз (2.17) в точності, вираз $\left[\frac{\delta^2}{30(1 + \mu)}\right]$ у 5 раз менше коефіцієнта “пластинчатої аналогії” k_A , тоді:

$$\sigma_o = -5 \frac{\sigma}{k_A}. \quad (2.18)$$

Формулу (2.18) назвемо формулою пластинчатої аналогії опори для центрального зосередженого навантаження на тонкій квадратній пластині,

що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими.

Зв'язок між рівномірно розподіленим навантаженням P^* у плоскій задачі та зосередженим навантаженням $P = q\lambda^2$ на тонку квадратну пластину, встановлюється за допомогою виразу

$$P^* = \frac{q\lambda^2\delta}{30}.$$

3) Тонка квадратна пластина, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією зосередженого навантаження прикладеного посередині незакріпленої сторони (рис. 2.4) [25].

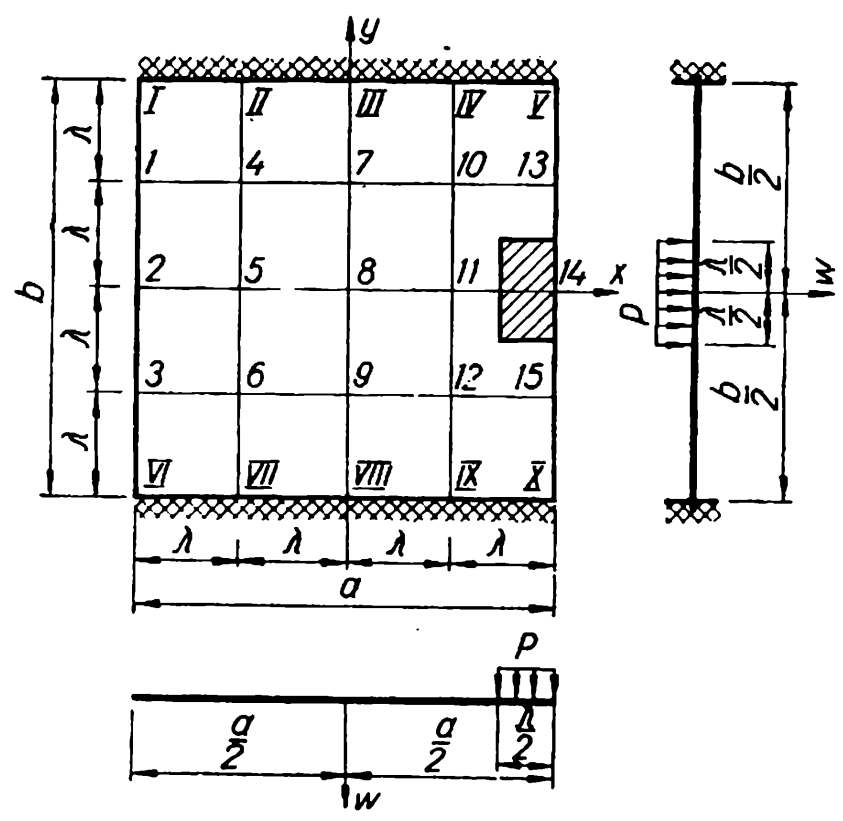


Рис. 2.4. Квадратна пластина під дією зосередженого навантаження, прикладеного посередині незакріпленої сторони

Для квадратної пластини рівняння вигнутої поверхні має вигляд:

$$\omega = \frac{16 P}{\pi^6 D} (a^2 - 2ax + x^2),$$

де P – рівнодіюча навантаження, кН ($P = q\lambda^2 / 2$).

D - циліндрична жорсткість, яка визначається за формулою

$$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)},$$

де δ – товщина пластини, м;

E – модуль пружності матеріалу пластини при розтягу, кН/м²;

μ – коефіцієнт Пуассона.

Введемо поняття моментної функції, як і в плоскій задачі

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \frac{M}{D};$$

$$\psi = M;$$

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \frac{32 P}{\pi^6 D};$$

$$\psi = \frac{32 PD}{\pi^6 D}. \quad (2.18)$$

Прирівняємо вирази (2.1) та (2.18)

$$-\frac{P^*}{\delta} = \frac{32 PD}{\pi^6 D},$$

скоротимо циліндричну жорсткість D

$$-\frac{P^*}{\delta} = \frac{32P}{\pi^6} \quad (2.19)$$

оскільки $\sigma_x = \sigma_y = \frac{P^*}{\delta}$, то прийmemo, що $\sigma = \frac{P^*}{\delta}$ (σ – нормальне напруження у плоскій задачі), тоді

$$\sigma = -\frac{32}{\pi^6} P,$$

з урахуванням значення числа «пі»

$$\sigma = -0,0333P. \quad (2.20)$$

Максимальне напруження для тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, визначається за наступною формулою [25]

$$\sigma_{\max} = \frac{2,22P(1+\mu)}{\delta^2}, \quad (2.21)$$

Таким чином, якщо вираз (2.20) поділити на $\left[-\frac{\delta^2}{66,7(1+\mu)}\right]$, то отримуємо вираз (2.21) в точності.

Вираз $\left[-\frac{\delta^2}{66,7(1+\mu)}\right]$ у 11,1 раз менше коефіцієнта “пластинчатої аналогії”.

Таким чином, напруження в тонкій квадратній пластині, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, можна знаходити, поділивши σ на k_A :

$$\sigma_{\max} = 11,1 \frac{\sigma}{k_A}. \quad (2.22)$$

Формулу (2.22) назвемо формулою пластинчатої аналогії для тонкої квадратної пластини під дією зосередженого навантаження, прикладеного посередині незакріпленої сторони.

Для опорної зони: напруження визначається за формулою

$$\sigma_o = -\frac{2,6P(1+\mu)}{\delta^2}, \quad (2.23)$$

таким чином, якщо вираз (2.5) поділити на $\left[\frac{\delta^2}{78(1+\mu)} \right]$, то отримуємо вираз (2.23) в точності, вираз $\left[\frac{\delta^2}{78(1+\mu)} \right]$ у 13 раз менше коефіцієнта “пластинчатої аналогії” k_A , тоді:

$$\sigma_o = -13 \frac{\sigma}{k_A}. \quad (2.24)$$

Формулу (2.24) назвемо формулою пластинчатої аналогії опори для центрального зосередженого навантаження.

Зв'язок між розподіленим навантаженням P^* у плоскій задачі та навантаженням P на пластину

$$\frac{P^*}{\delta} = \frac{32q\lambda^2}{2\pi^6},$$

$$\frac{P^*}{\delta} = 0,0166q\lambda^2,$$

$$P^* = \frac{q\lambda^2\delta}{60}.$$

Проведено тестовий розрахунок для вихідних даних, наведених у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Вихідні дані для тестового розрахунку

№	Модуль пружності бетону, ГПа	Товщина плити, м	Квадратна пластина зі стороною a , м	Навантаження q , кН/м ²	λ , м	Коефіцієнт Пуасона
1	29	0,2	6	8	-	0,15
2	29	0,2	6	10000	0,1	0,15
3	29	0,2	6	10000	0,1	0,15

Результати тестового розрахунку наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Результати тестового розрахунку

№	Плоска задача: максимальне напруження, кПа	Напруження у пластині, кПа					
		За формулою теорії пружності		За формулою пластинчастої аналогії		Розбіжність, %	
		центр	опора	центр	опора	центр	опора
1	-9,60	1656,0	-3726,0	1656,0	-3726,0	0,0	0,0
2	-3,33	2990,0	-2875,0	2987,0	-2875,0	0,1	0,0
3	-1,67	3191,3	-3737,5	3191,0	-3737,0	0,1	0,1

Розбіжність у межах 0,1% (див. табл. 2.2).

2.2. Моделювання тонкої квадратної пластини методом скінченних елементів у ПК ЛІРА-САПР

1) Тонка квадратна пластинка зі стороною a , що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією навантаження $q=8$ кН/м² рівномірно розподіленого по всій її поверхні.

Розрахунок проведено за допомогою скінченно-елементного програмного комплексу ЛІРА-САПР. Результат наведено на рис. 2.5.

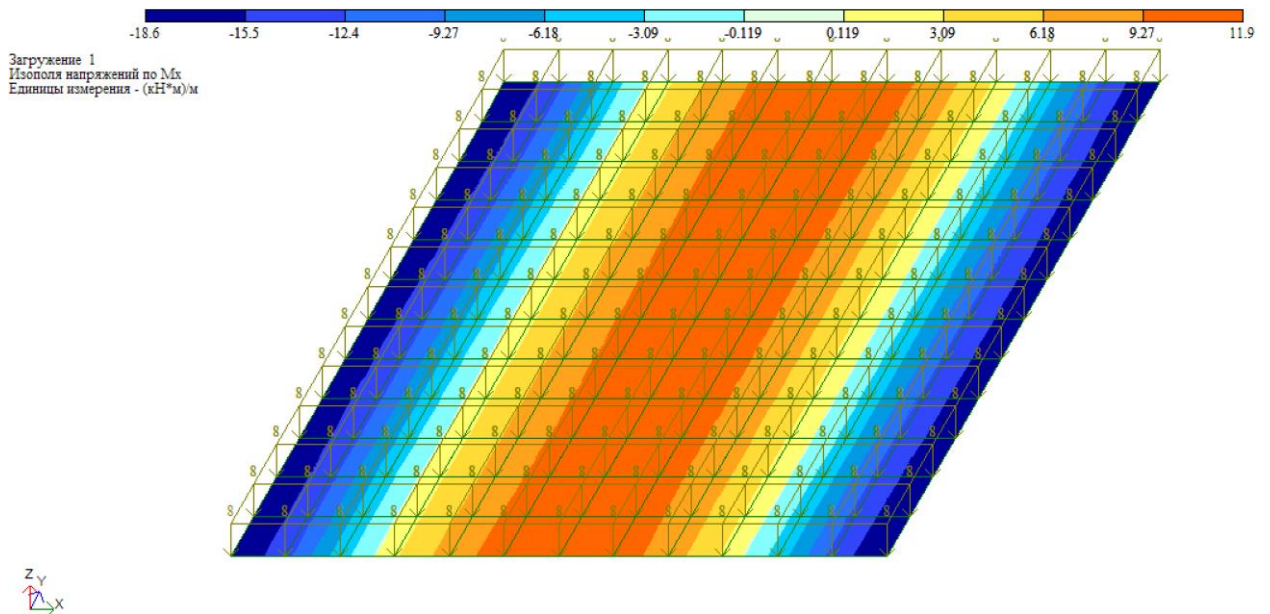


Рис. 2.5. Результати скінченно-елементного розрахунку для квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією навантаження рівномірно розподіленого по всій її поверхні

Розрахунок навантаження для плоскої задачі рис. 2.6:

$$P^* = \frac{qa^2\delta}{30} = \frac{8 \cdot 6^2 \cdot 0,2}{30} = 1,92 \text{ (кН / м)},$$

- для середнього вузла скінченно-елементної моделі $P^*=0,96$ кН/м;
- для крайнього вузла скінченно-елементної моделі $P^*=0,48$ кН/м.

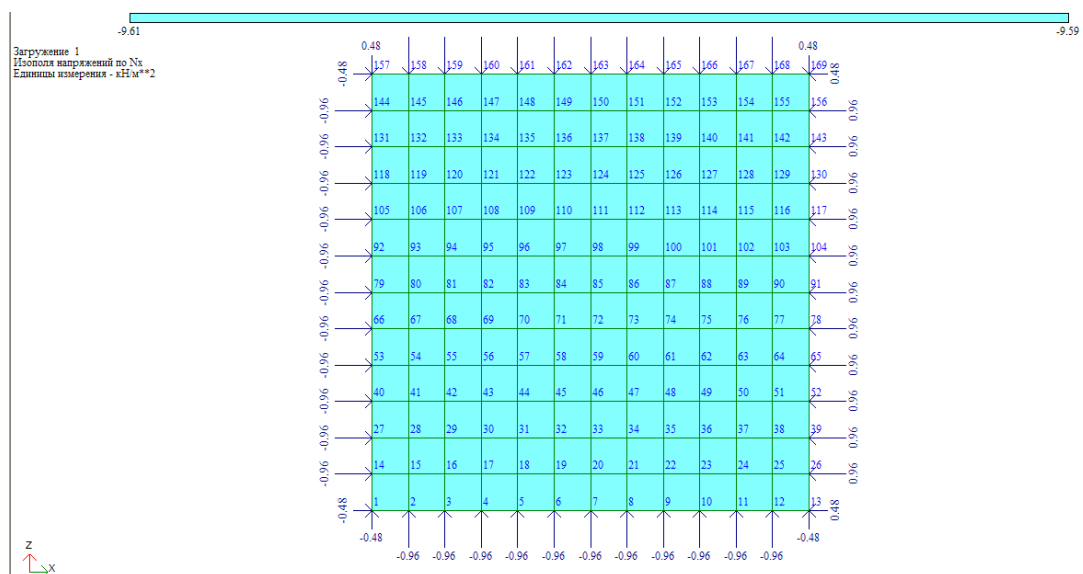


Рис. 2.7. Плоска задача в ПК ЛИРА-САПР

2) Тонка квадратна пластина зі стороною b м, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією зосередженого навантаження, прикладеного у центрі (рис. 2.7).

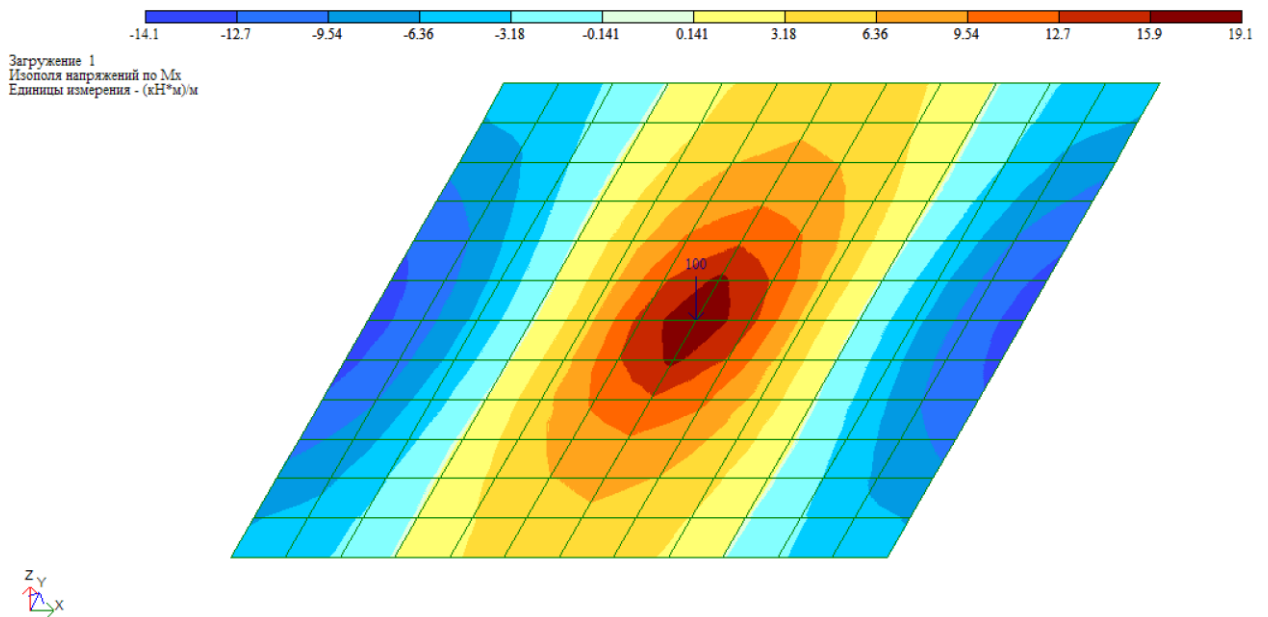


Рис. 2.7. Результати скінченно-елементного розрахунку для тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією зосередженого навантаження, прикладеного у центрі

Розрахунок навантаження для плоскої задачі (крок триангуляції 0,5 м):

$$P^* = \frac{q \lambda^2 \delta}{30} = \frac{10000 \cdot 0,1^2 \cdot 0,2}{30} = 0,666 \text{ (кН / м)},$$

- для середнього вузла скінченно-елементної моделі $P^* = 0,333$ кН;
- для крайнього вузла скінченно-елементної моделі $P^* = 0,166$ кН.

Результати розрахунку для плоскої задачі наведено на рис. 2.8.

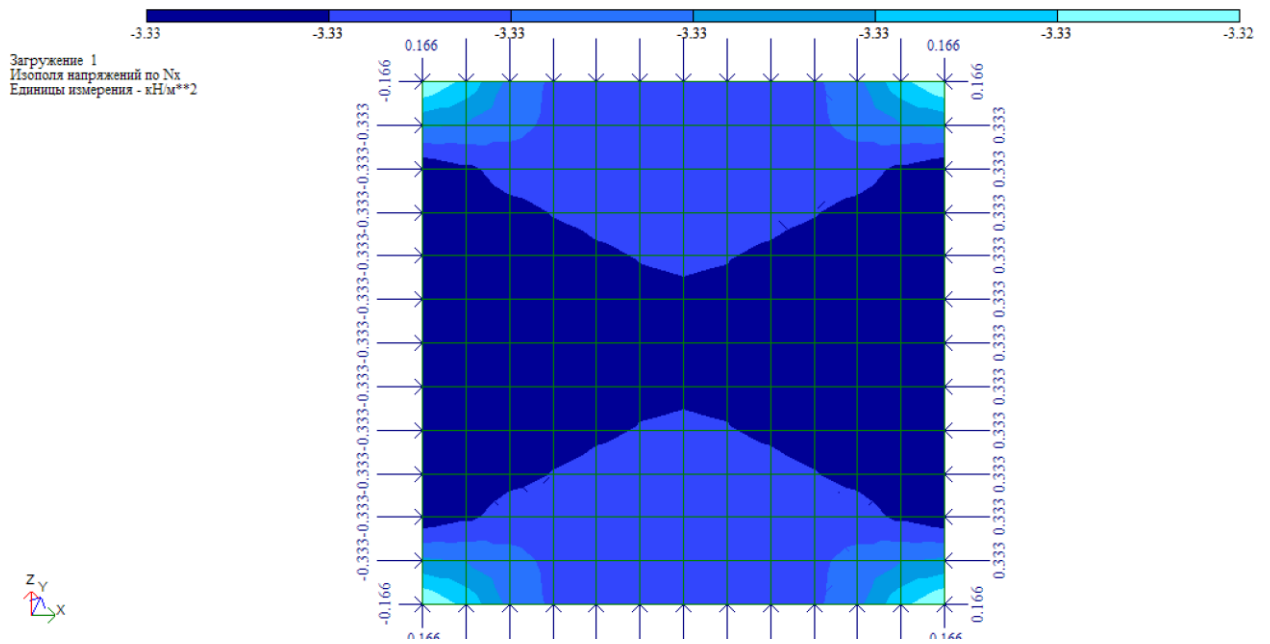


Рис. 2.8. Скінченно-елементна модель для плоскої задачі

3) Тонка квадратна пластина, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією зосередженого навантаження прикладеного посередині незакріпленої сторони (рис. 2.9).

Розрахунок навантаження для плоскої задачі (крок триангуляції 0,5 м)

$$P^* = \frac{q \lambda^2 \delta}{60} = \frac{10000 \cdot 0,1^2 \cdot 0,2}{60} = 0,333 \text{ (кН / м)},$$

- для середнього вузла скінченно-елементної моделі $P^* = 0,166$ кН;
- для крайнього вузла скінченно-елементної моделі $P^* = 0,083$ кН.

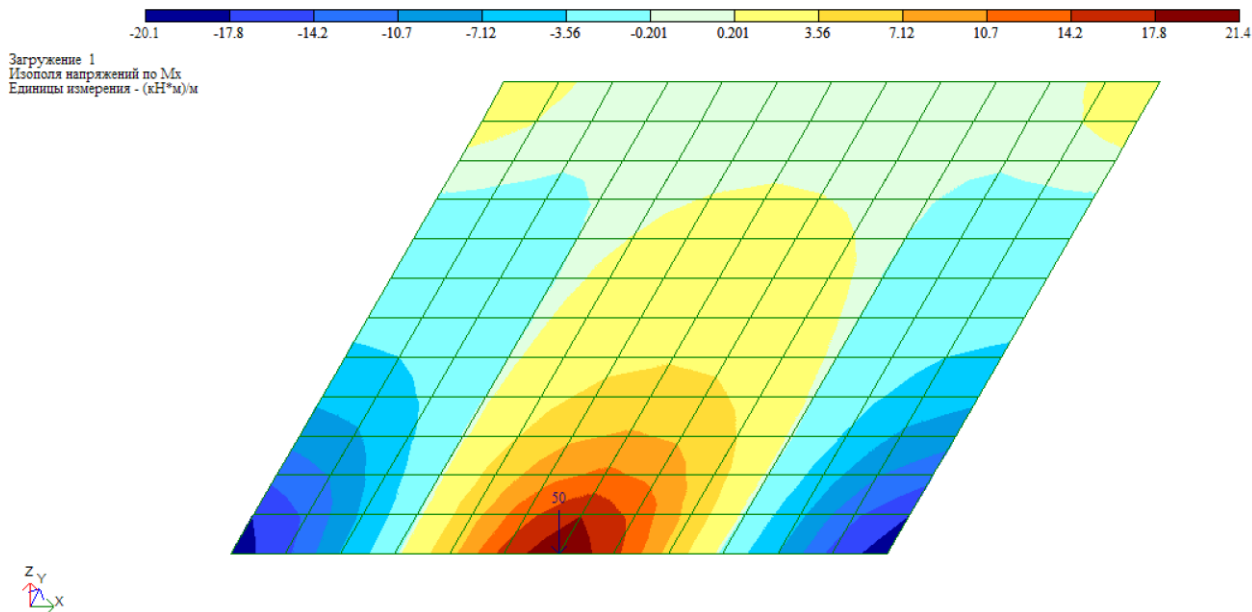


Рис. 2.9. Результати скінченно-елементного розрахунку для тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією зосередженого навантаження прикладеного посередині незакріпленої сторони

Результати скінченно-елементного розрахунку (див. рис. 2.5-2.9) наведено у табл. 2.3. У табл. 2.3 наведено нормальні напруження для пластини, що було визначено за формулою теорії пружності:

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{b},$$

де M_{\max} – максимальний згинальний момент у пластині, визначений у ПК ЛИРА-САПР.

Таблиця 2.3

Результати тестового скінченно-елементного розрахунку

№	Плоска задача: максимальне напруження, кПа		Максимальне нормальне напруження у пластині, кПа		
	Аналітична формула	ПК ЛИРА- САПР	ПК ЛИРА- САПР	За формулою пластинчатої аналогії	Розбіжність, %
1	-9,60	-9,60	1735,5	1656,0	4,6
2	-3,33	-3,33	2862,6	2987,0	4,3
3	-1,67	-1,67	3205,2	3191,0	0,4

Розбіжність у межах 5% (див. табл. 2.3).

Кількість рівнянь методу скінченних елементів для плоскої задачі теорії пружності та тонкої квадратної пластини під дією різних видів навантаження наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Порівняння кількості рівнянь

Задача	Кількість рівнянь МСЕ
Плоска задача теорії пружності	334
Задача згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією різних видів навантаження:	
1	715
2	715
3	715
4	715

Кількість рівнянь методу скінченних елементів для плоскої задачі теорії пружності менше на 53,3%, ніж для задачі згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією різних видів зовнішнього навантаження. Таким чином, швидкість рішення плоскої задачі теорії пружності методом скінченних елементів є на 114% більшою, ніж рішення задачі згину тонкої квадратної пластини. Як результат, замість рішення задачі згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, можна розв'язати плоску задачу теорії пружності та отримати нормальне напруження у тонкій

квадратній пластині, що працює на згин, за допомогою використання коефіцієнту аналогії.

Висновки до розділу 2

1. Використання аналогії між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, зменшує обсяг та час розрахунків залізобетонних плит перекриття багатоповерхових монолітно-каркасних будинків.

2. Отримано формулу для визначення коефіцієнту аналогії.

3. Встановлено зв'язок між навантаженням у плоскій задачі теорії пружності та навантаженнями, що діють на тонку квадратну пластину, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими.

4. Розглядаючи аналогію між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої пластини, було зроблено висновок, що використання аналогії між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонких квадратичних пластин зменшує обсяг та час розрахунків плит перекриття.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ

3.1. Проектування багатоповерхового будинку

3.1.1 Об'ємно-планувальні рішення

1. На ділянці відведеній під проектування запроектовано 20 поверховий будинок у м. Херсон. Будівля має просту в плані форму з розмірами в крайніх осях (по основній сітці колон) 24.60x29.70 м. Висота типового поверху в будинку має 3 м. Висота технічного поверху 2.4 м. Товщина монолітного перекриття 0.2 м. Матеріали: клас бетону C25/30; клас робочої арматури А400С. Відмітка підшви фундаментної плити у системі координат моделі ґрунту 106.6 м

3.1.2 Зовнішнє і внутрішнє опорядження приміщень

•Оскільки утеплення конструкції стіни проектом передбачено з боку приміщення, то фасад виконаний з керамічної цегли під внутрішню розшивку. Проектом передбачено облицювання цокольної частини будинку фасадними плитами з природного каменю.

•Зовнішні сходи будинку влаштовуються з бетону

•Віконні та дверні блоки проектом передбачені з дерева і фарбуються емалевими фарбами коричневого кольору.

•Для відведення з даху будинку атмосферних опадів у вигляді дощу чи талого снігу, виконується організоване зовнішнє водовідведення.

•Навколо будинку влаштовується вимощення завширшки 1000 мм.

•В середині будинку запроектовано поклейка шпалер в житлових кімнатах. У гардеробах, санвузлах стіни запроектовані з білої керамічної плитки, у кухні робоча зона також виконанна з плитки, а в їдальні стіни пофарбовані у жовтий колір. В гаражі стіни поштукатурені і пофарбованні у синій колір. У всіх приміщеннях стеля з гіпсокартону пофарбована у білий

колір, що візуально розширює простір. Підлога в санвузлах та на кухні виконана з плитки ПВХ червоного кольору. А в житлових приміщеннях влаштована паркетна підлога. Після укладки ошліфована, та покрита шаром лаку, у холі запроектована підлога з лінолеуму, візерунок якого відтворює паркетну підлогу У всіх приміщеннях використовувались екологічні та безпечні матеріали, згідно.

•Будинок має естетичний інтер'єр та екстер'єр досить функціональний та відповідає всім вимогам

3.1.3.Конструктивні рішення

Таблиця 3.1

Специфікація колони Км1_1

Поз.	Найменування	Кількість	Маса од., кг	Примітка
	Деталі			
1	ф16А400С l=3320	24	5,2	
2	ф8А400С l=1930	45	0,8	
	Матеріали			
	Бетон класу С25/30			2,3 м ³

Арматура класу А400С згідно з ДСТУ 3760-98

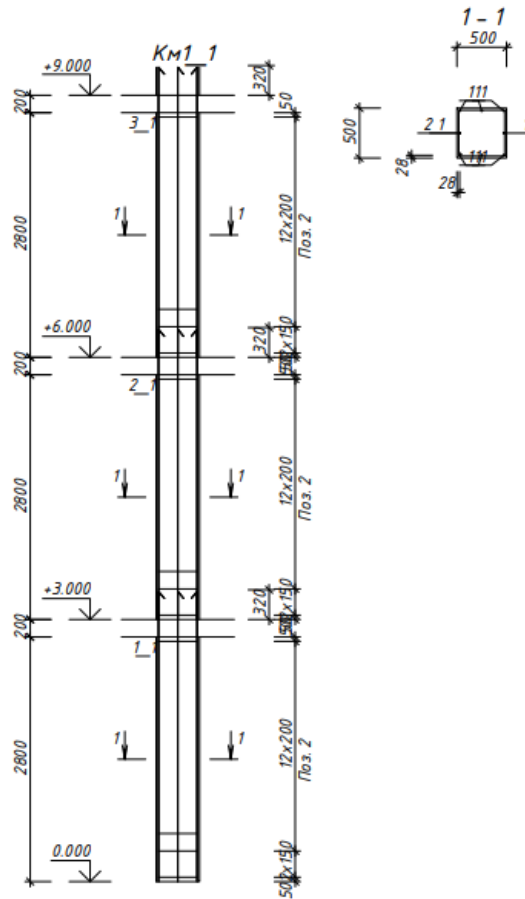


Рис. 3.1. Колона1_1

Таблиця 3.2

Специфікація стіни

Поз.	Найменування	Кількість	Маса од., кг	Примітка
	Скалдні одиниці			
	Деталі			
1	ф16 А400С l=8990	15	14,2	
2	ф10 А400С l=1500	90	1,0	

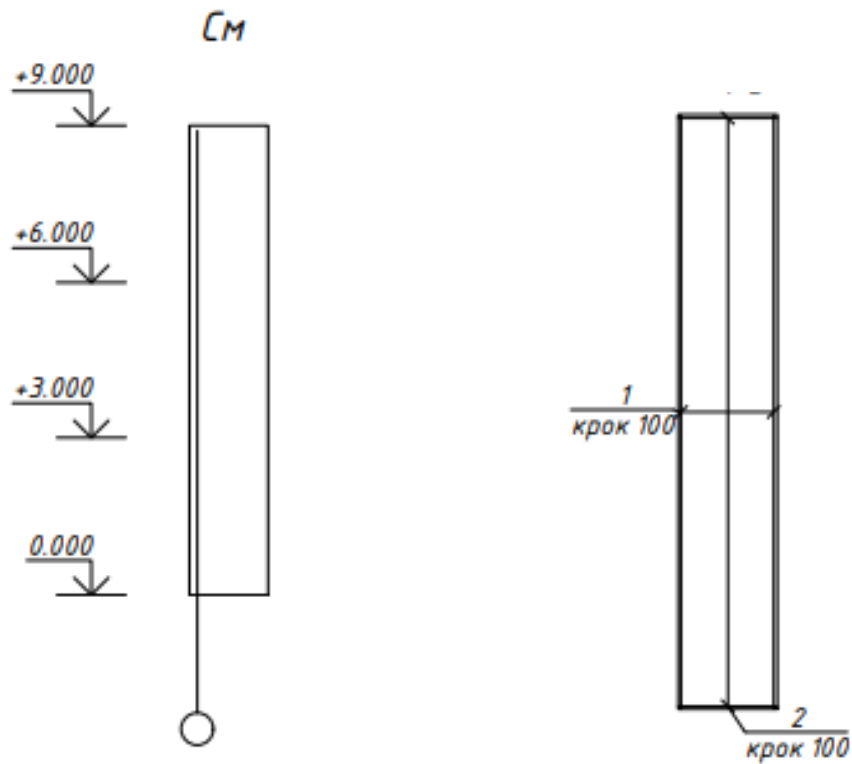


Рис. 3.2. Стіна

Таблиця 3.3

Специфікація плити Пм1_1

Поз	Найменування	Кільк	Маса од., кг	Примітка
	Складальні одиниці			
	Деталі			
1	Ø20 А400С L _{пм} =3854		2,5	
2	Ø16 А400С L _{пм} =3860		1,6	
3	Ø10 А400С L _{пм} =3854		0,6	
4	Ø10 А400С L _{пм} =3860		0,6	
5	Ø10 А400С L _{пм} =3854		0,6	
6	Ø10 А400С L _{пм} =3860		0,6	
7	Ø10 А400С L _{пм} =3854		0,6	
8	Ø10 А400С L _{пм} =3860		0,6	
9	Ø10 А400С L _{пм} =3854		0,6	
10	Ø10 А400С L _{пм} =3860		0,6	
11	Ø20 А400С L _{пм} =3854		2,5	
12	Ø20 А400С L _{пм} =3860		2,5	
	Матеріали			
	Бетон класу С30			134,0 м ³

Арматура класу А400С згідно ДСТУ 3760:2006

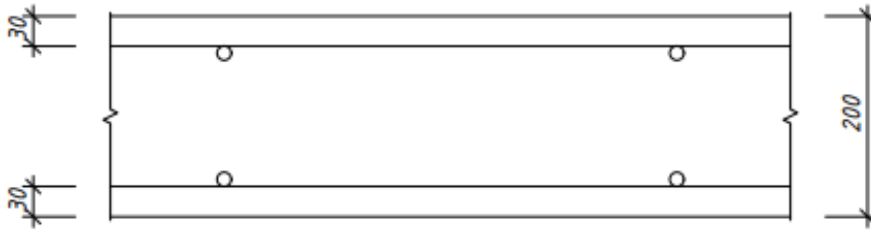


Рис. 3.3. Плита Пм1_1

3.2. Розрахунок багатоповерхового будинку

Перед створенням та розрахунком будівлі потрібно взяти свою схему відповідно до варіанту. Після форматування і невеликого редагування схеми в програмі AutoCAD, схема імпортується в програму Компонівка. Там відбувається побудова тривимірної моделі будівлі і подальший розрахунок.

3.2.1. Аналіз ґрунтової основи ділянки під будівництво

В першу чергу перед створенням моделі будівлі в програмі Компонівка було створено модель ґрунту згідно з завданням.

Абсолютні відмітки поверхні землі змінюються від 102.4 м до 107.4 м. В геологічній будові території забудови до глибини 16.5 м беруть сухі не водоносні ґрунти участь. Гідрогеологічні умови території забудови характеризуються наявністю підземних вод в супіску жовтовато-сірому пластичному та піску дрібному щільному, що утворюють постійний водоносний горизонт. Абсолютні відмітки рівня підземних вод у різних частинах території забудови коливаються від 30 до 16.5 м.

Задані шари ґрунту показані на Рис. 3.4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Номер	Усл.	Наименование	Цвет	Модуль	Коефициент	Удельный	Коефициент	Природная	Показатель	Вода	Коефициент	Удельное	Угол
2	ИГЭ	обозн.	грунта		деформации,	Пуассона	вес грунта,	перехода	влажность,	текучести		пористости	сцепление,	внутреннего
3					тс/м**2		тс/м**3	ко 2 модулю	доли				тс/м**2	трения, °
4								деформации						
5														
6	1		Супісок (насіпни)		1550	0.3	1.8	5	0.2	0.2		0.67	1.5	24
7	2		Суглинок середн		2100	0.3	1.7	5	0.19	0.75		0.75	1.9	21
8	3		Глина бура напіє		2100	0.35	1.85	5	0.24	0.75		0.73	3.3	17
9	4		Супісок жовтуват		900	0.3	2	5	0.23	1.05	W	0.7	0.9	19
10	5		Пісок дрібний щі		3400	0.3	1.8	5	0.05	0	W	0.5	3.1	30

Рис. 3.4. Таблиця шарів ґрунту

Після створення шарів ґрунту були задані сведловини та їх параметри. Схема розташування свердловин та розріз масиву ґрунту показано на рис. 3.5 та рис .3.6. відповідно.

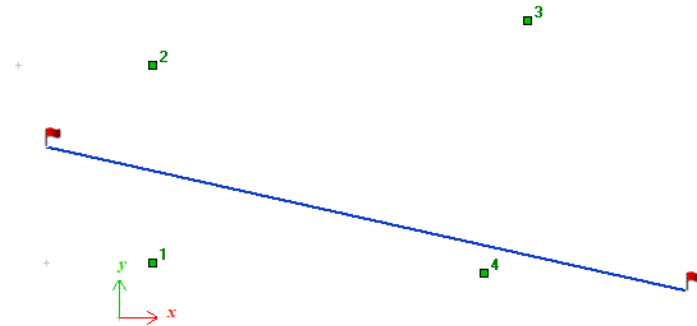


Рис. 3.5. Схема розташування свердловин

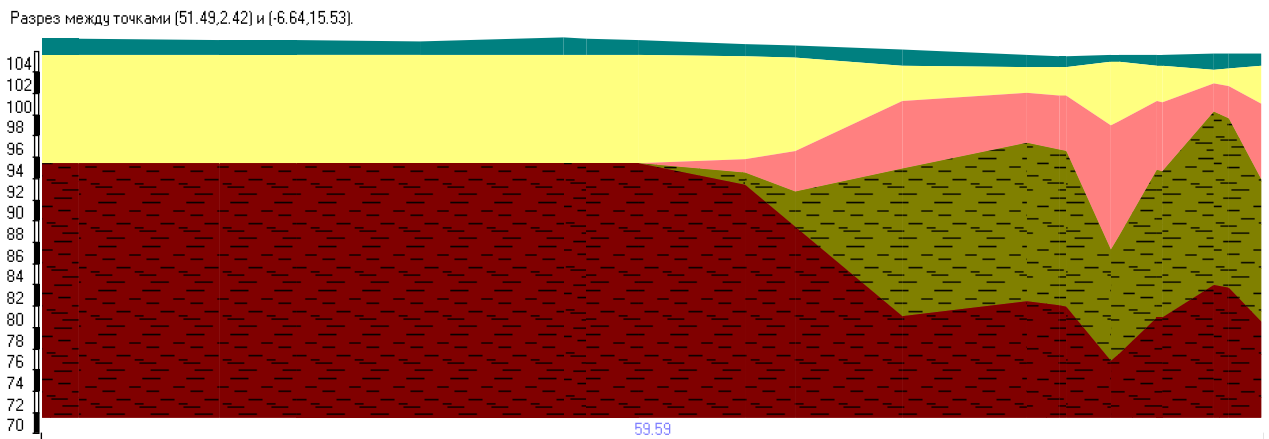


Рис. 3.6. Розріз ґрунту між свердловинами 1 та 3

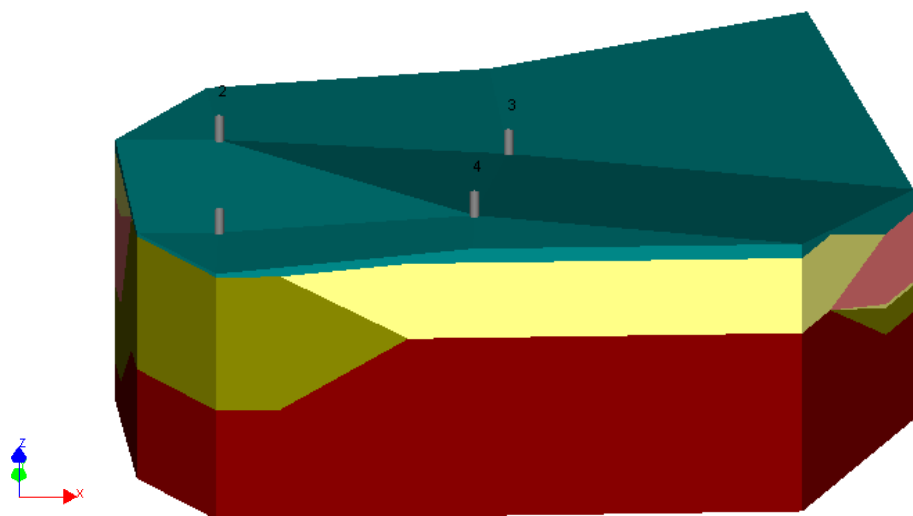


Рис. 3.7. Тривимірна модель ґрунтової основи

Після створення моделі ґрунту вона зберігається для подальшого використання в програмі Компоновка.

Збір навантажень для перекриття виконувався в програмі Компоновка. Спочатку було задано параметри плити перекриття: товщина 200 мм, постійне навантаження – 0.3 тс/м², тимчасове довготривале навантаження – 0.035 тс/м², тимчасове короткочасне навантаження – 0.15 тс/м².

Також було додатково задано навантаження на плиту перекриття в ліфтовому холі: тимчасове довготривале навантаження – 0.065 тс/м², тимчасове короткочасне навантаження – 0.15 тс/м². Також було додано навантаження на балкони, лоджії та еркери. Значення навантажень для довготривалого і короткочасного відповідно дорівнюють: 0.05 тс/м² та 0.5 тс/м².

На плиту верхнього поверху та технічного поверху було додано снігове навантаження, яке вираховувалось за формулою:

$$S_p = (0.4S_0 - \bar{S})C \quad (3.1)$$

де $\bar{S} = 160$ Па = 0.016 тс/м²; $C = 1$; S_0 – характеристичне значення снігового навантаження, що для м. Херсон дорівнює 800 Па.

Отже, довготривале снігове навантаження на плиту покриття дорівнює 0.016 тс/м².

Короткочасне снігове навантаження розраховується за формулою:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C \quad (3.2)$$

Отже, короткочасне снігове навантаження на плиту покриття дорівнює 0.08 тс/м².

Вітрові навантаження задавалися відповідно до вітрового району будівництва. Сейсмічні навантаження задаються аналогічно з вітровими.

3.2.2 Модель будинку у програмі «КОМПОНОВКА»

Побудова моделі будівлі виконується на основі схеми отриманої з програми AutoCAD. Спочатку створюється типовий поверх, додаються перегородки та задаються навантаження. Потім цей поверх копіюється на потрібну кількість поверхів, відповідно до завдання (в моєму випадку 21 поверх). В кінці додається технічний поверх, висота якого 2.8 м.

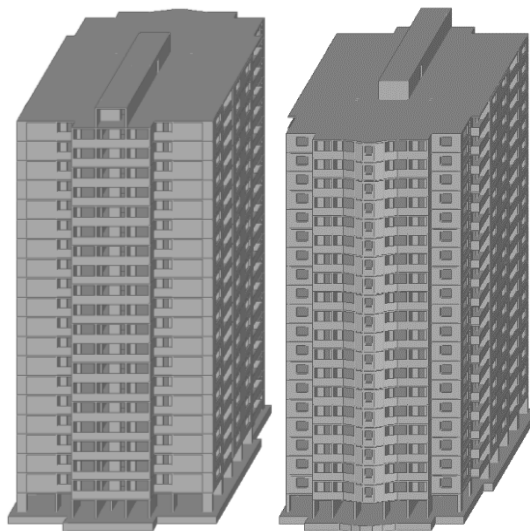


Рис. 3.8. Тривимірна модель будівлі з двох видів

Після виконання проектування, програмними засобами створюється скінченно-елементна модель будівлі (рис. 3.9.), на основі якої виконується обрахунок.

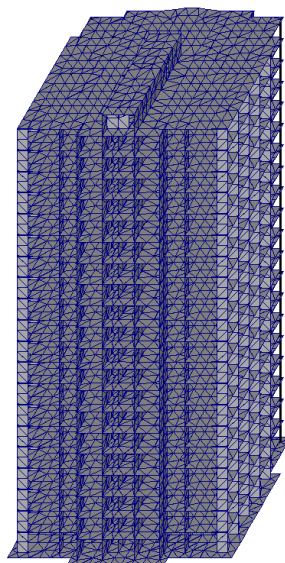


Рис. 3.9. Скінченно-елементна модель будівлі

3.2.3. Результати розрахунку у програмі «КОМПОНОВКА»

Після розрахунку будівлі в програмі Компонівка відбувається перегляд та аналіз результатів розрахунку, а саме епюр зусиль, мозаїок переміщень та напружень.

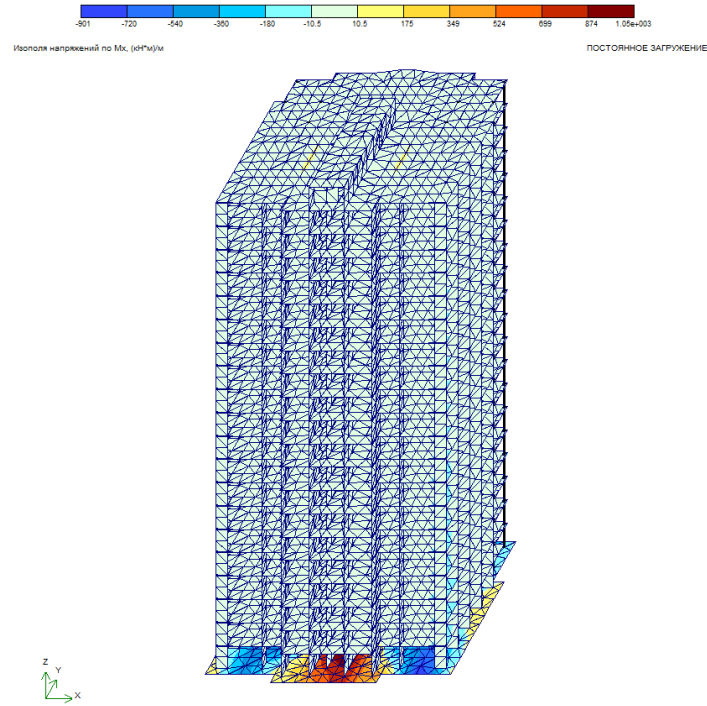


Рис 3.10. Изополя напруження в будівлі по M_x

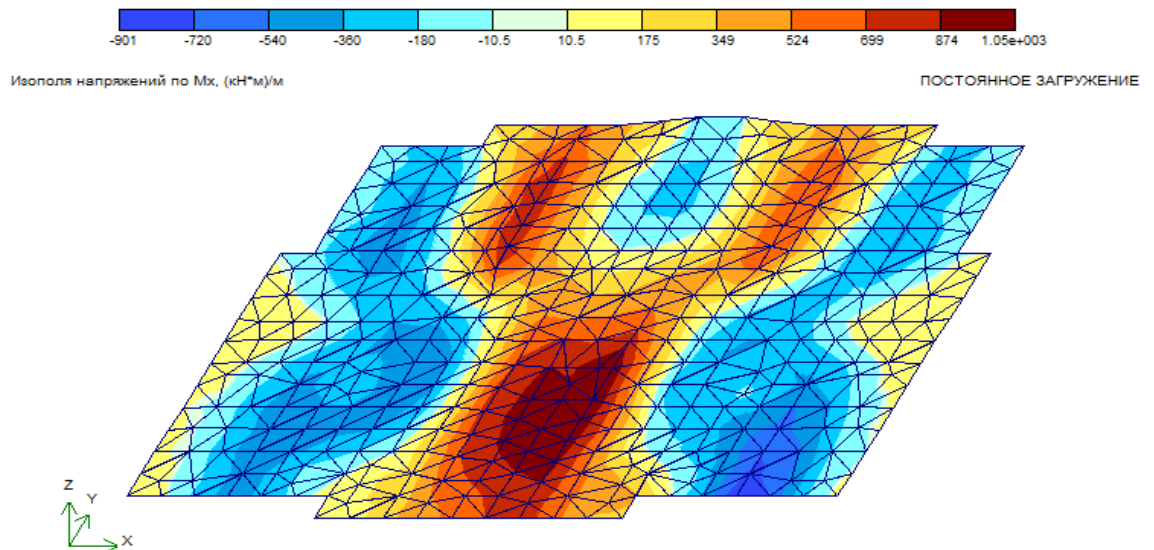


Рис 3.11. Изополя напруження в фундаментній плиті по M_x

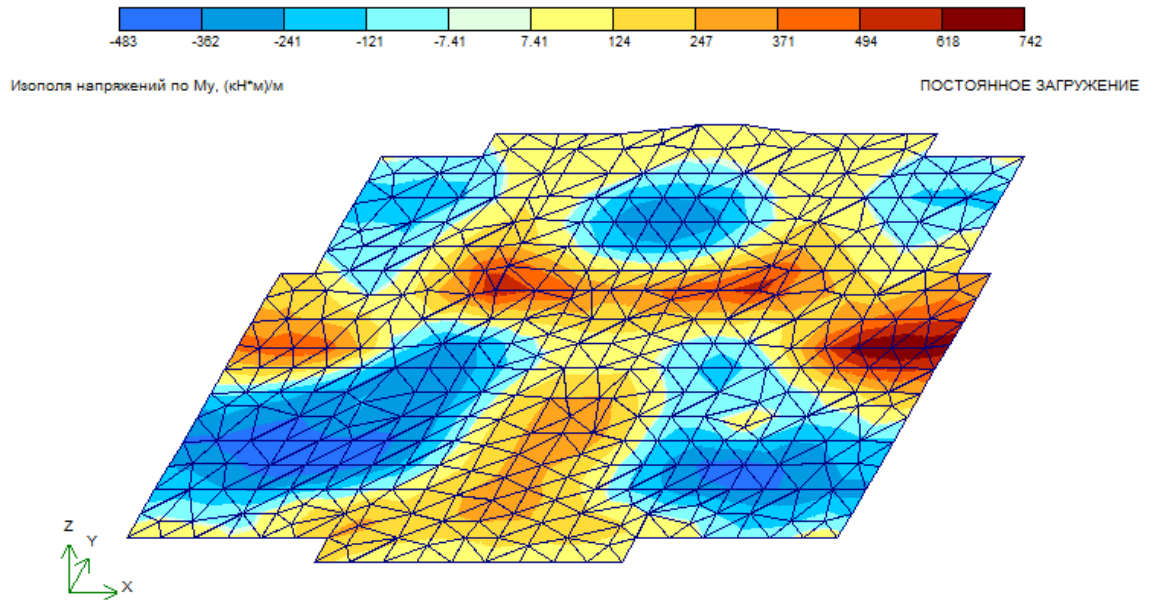


Рис 3.12. Изополя напряження в фундаментній плиті по M_y

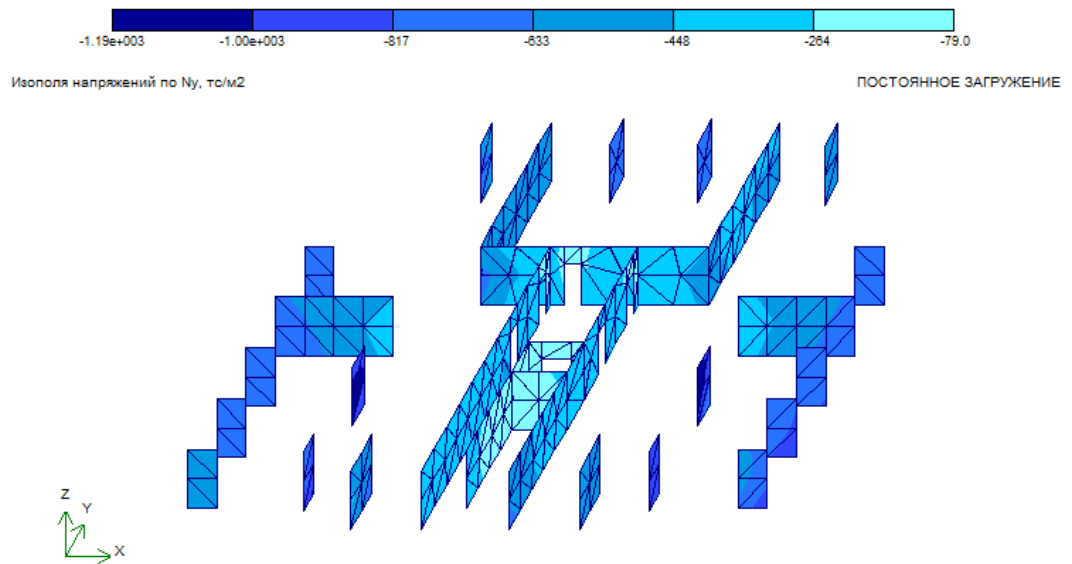


Рис 3.13. Изополя напряження в несущих стінах першого поверху по N_y



Рис 3.14. Епюри повздовжніх зусиль N в колонах першого поверху

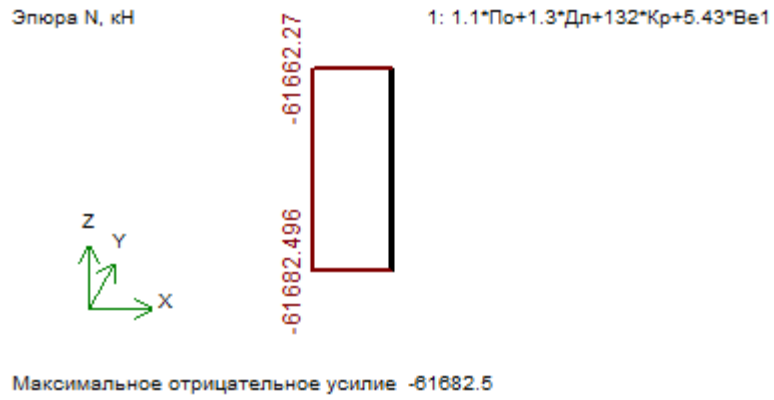


Рис 3.15. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по першому сполученню зусиль

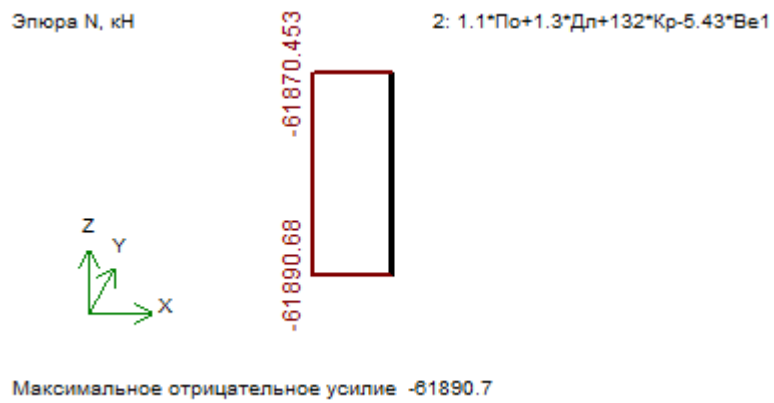


Рис 3.16. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по другому сполученню зусиль



Рис 3.17. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по третьому сполученню зусиль

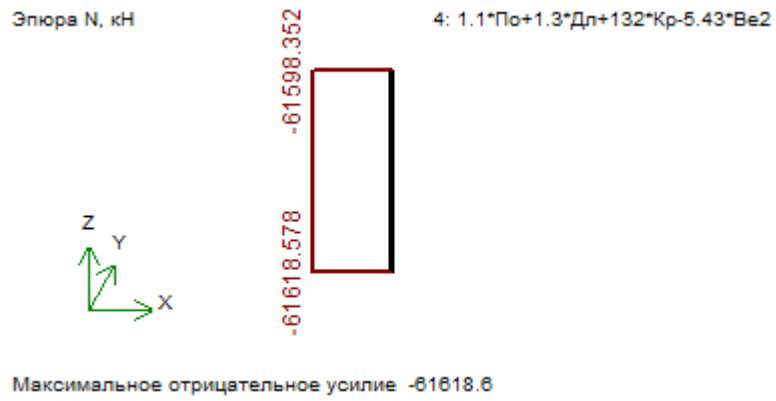


Рис 3.18. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по четвертому сполученню зусиль



Рис 3.19. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по п'ятому сполученню зусиль



Рис 3.20. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по шостому сполученню зусиль

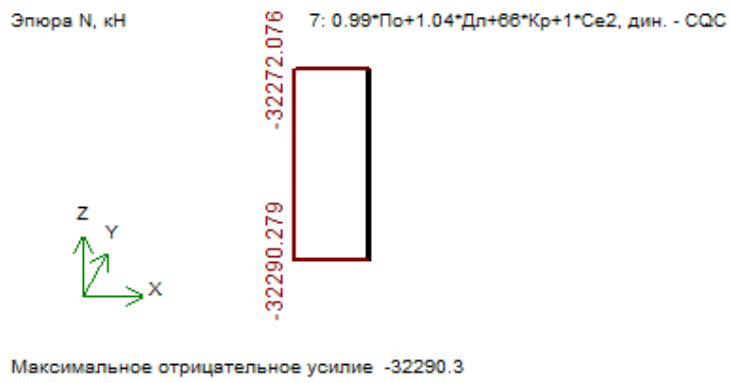


Рис 3.21. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по сьомому сполученню зусиль



Рис 3.22. Епюра повздовжніх зусиль N в колоні 1_1 першого поверху по восьмому сполученню зусиль

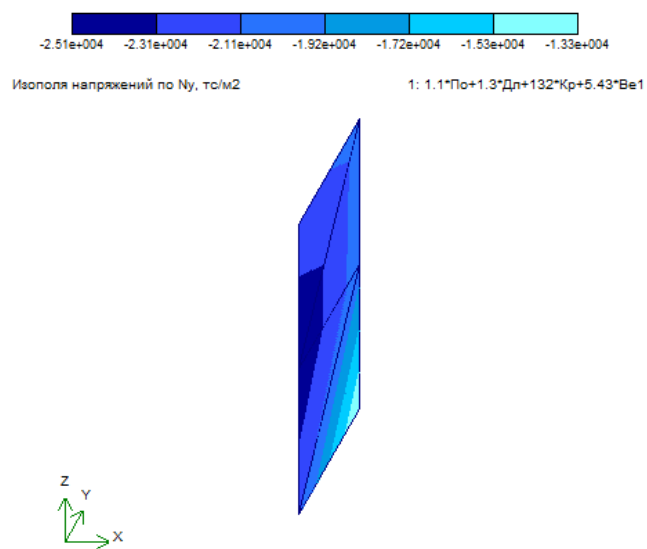


Рис 3.23. Изополя напружень по N_y в несучій стіні першого поверху по першому сполученню зусиль

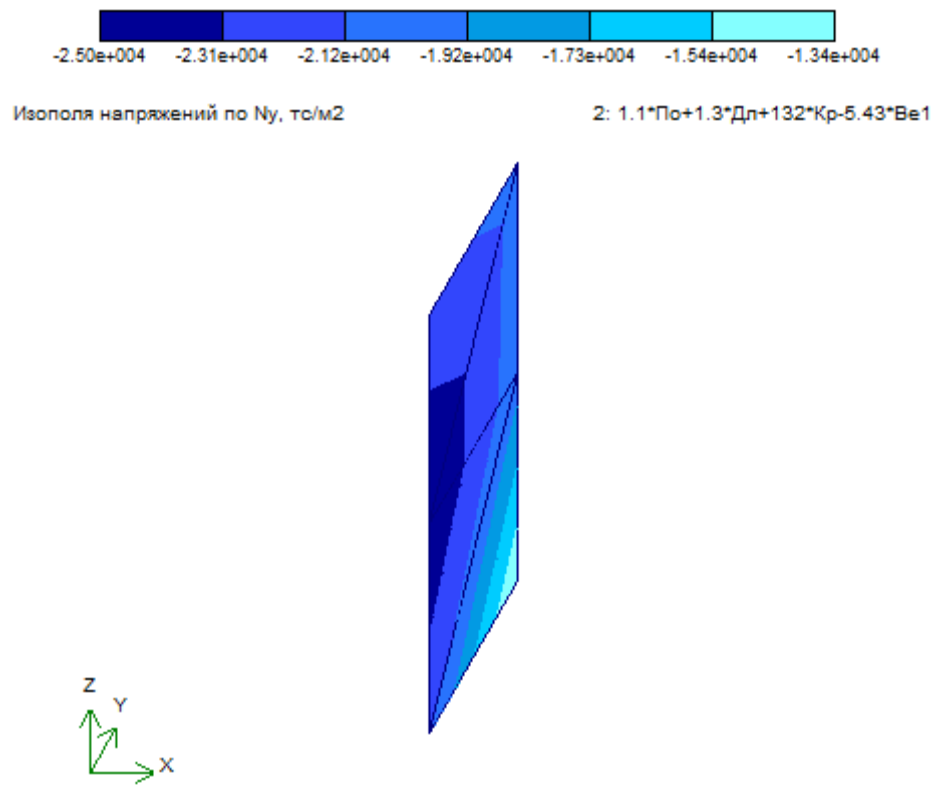


Рис 3.24. Изополю напряжень по N_y в несучій стіні першого поверху по другому сполученню зусиль

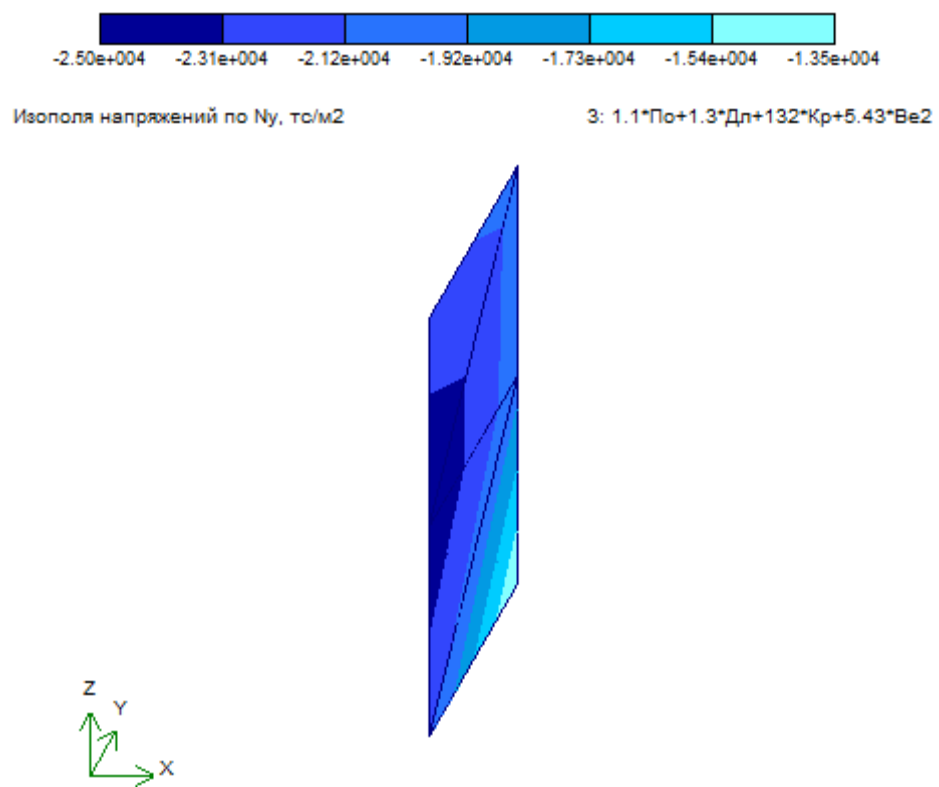


Рис 3.25. Изополю напряжень по N_y в несучій стіні першого поверху по третьому сполученню зусиль

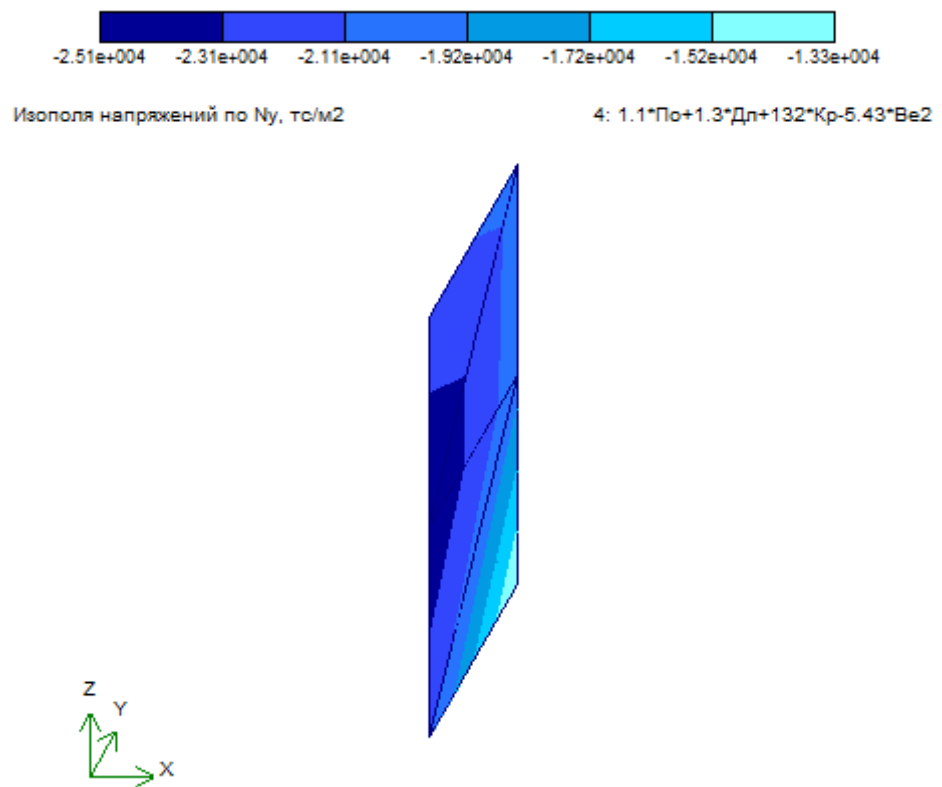


Рис 3.26. Изополю напряжень по N_y в несучій стіні першого поверху по четвертому сполученню зусиль

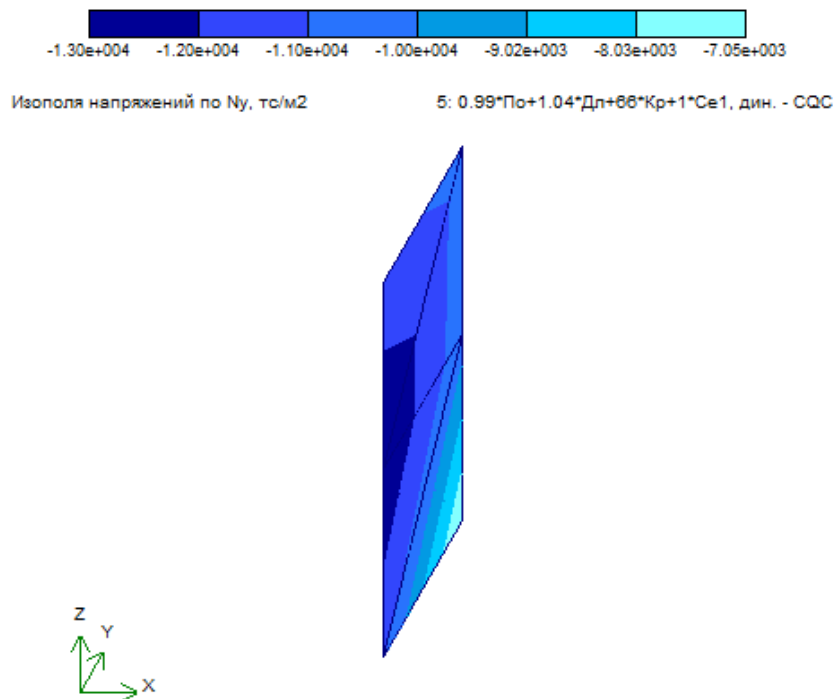


Рис 3.27. Изополю напряжень по N_y в несучій стіні першого поверху по п'ятому сполученню зусиль

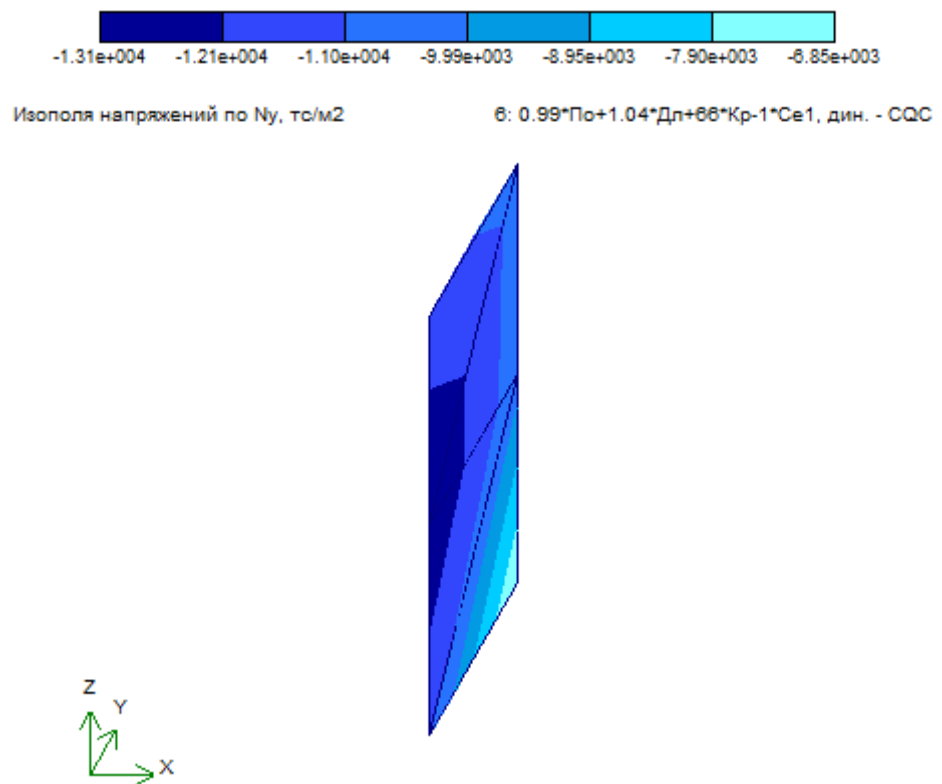


Рис 3.28. Изополю напряжень по N_y в несучій стіні першого поверху по шостому сполученню зусиль

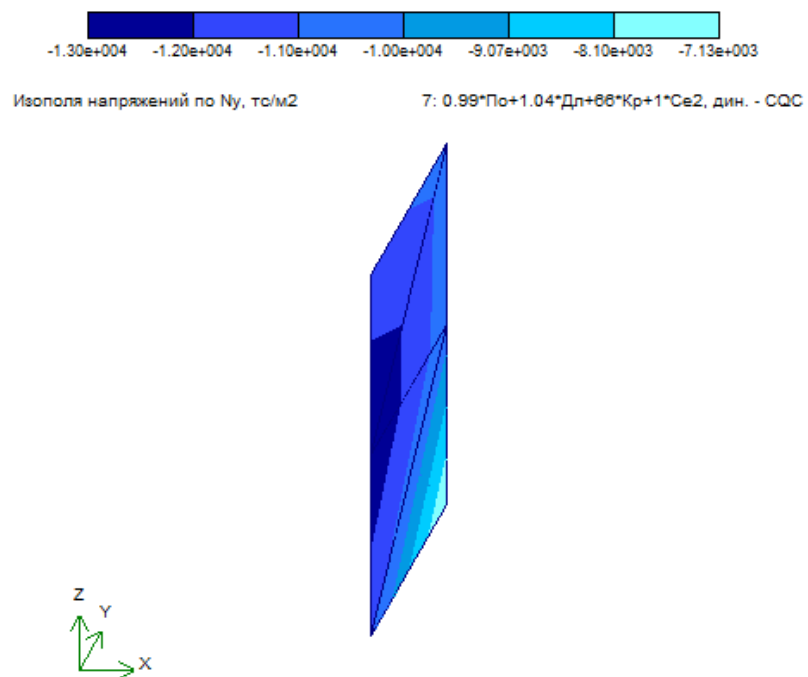


Рис 3.29. Изополю напряжень по N_y в несучій стіні першого поверху по сьомому сполученню зусиль

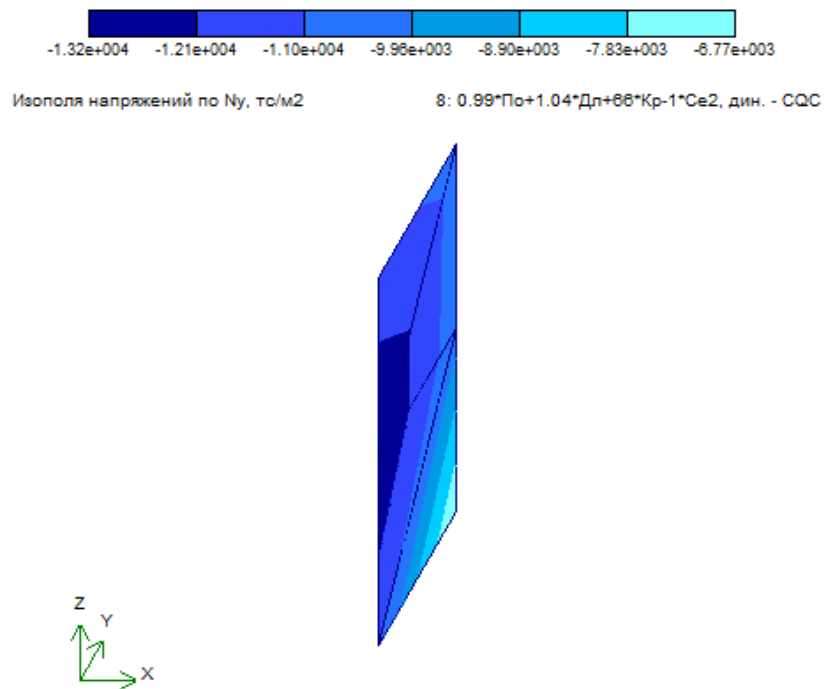


Рис 3.30. Изополю напряжений по N_y в несучій стіні першого поверху по восьмому сполученню зусиль

3.3. Эффективность метода аналогії для розрахунку плити перекрыття

Використання аналогії між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, буде зменшувати кількість невідомих та відповідно рівнянь методу скінченних елементів і при розрахунку багатоповерхової будівлі із монолітними залізобетонними перекрыттями. Однією з важливих переваг методу скінченних елементів є можливість провести дослідження збіжності, оцінити наближений розв'язок, досліджуючи тільки один тип скінченного елемента, який використовується для рішення даної задачі, абстрагуючись при цьому від контура області, навантаження, граничних умов. Варто зазначити, що досить поширеним типом скінченного елемента є прямокутний скінченний елемент для плоского напруженого стану. У кожному вузлі цього елемента вводиться по два

вузлових невідомих $qj^{(1)}$, $qj^{(2)}$ при $j = 1, 2, 3, 4$, які у фізичному сенсі відповідають лінійним переміщенням уздовж осей x і y в кожному вузлі.

Переміщення u, v незалежно апроксимуються функціями:

$$\left. \begin{aligned} u_h(x, y) &= \sum_{i=1}^4 \varphi_i q_i^{(1)}; & v_h(x, y) &= \sum_{i=1}^4 \varphi_i q_i^{(2)}; \\ \varphi_1 &= (1 - \xi)(1 - \eta); & \varphi_2 &= \xi(1 - \eta); \\ \varphi_3 &= (1 - \xi)\eta; & \varphi_4 &= \xi\eta; \end{aligned} \right\}$$

де $\xi = \frac{x}{a}$; $\eta = \frac{y}{b}$.

У неявному вигляді апроксимація виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} u_h(x, y) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy; \\ v_h(x, y) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy; \end{aligned}$$

Функції φ_j дорівнюють одиниці у вузлі j і дорівнюють нулю на сторонах, які не примикають до j вузла, змінюються за полілінійним законом на Ω і за лінійним на сторонах, що примикають до вузла j .

Система функцій лінійно незалежна. Лінійний закон зміни функцій φ_i на сторонах скінченних елементів забезпечує безперервність переміщень по області контакту скінченних елементів, а, отже, і існування напружень і деформацій, що входять до функціоналу потенційної енергії. Таким чином, система функцій належить енергетичному простору H_A .

Для плоского напруженого стану порядок диференціального оператора $2m = 2$. Тому, щоб показник ступеня p в оцінках був більше нуля, необхідно, щоб порядок апроксимації хоча б дорівнював 1, тобто $p = 1$.

Вузловими невідомими є переміщення вузлів $u(x_j, y_j)$ і $v(x_j, y_j)$, тому функціонали B_{jq} , $g = 1, 2$ мають вигляд $B_{j,1} = u(x_j, y_j)$, $B_{j,2} = v(x_j, y_j)$.

Оскільки переміщення u і v апроксимуються одними і тими ж самими функціями, тотожність виду при $p = 1$ достатньо перевірити для $B_{j,1}$. У розглянутому випадку отримуємо систему тотожностей.

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 &\equiv 1; \\ a(\varphi_2 + \varphi_4) &\equiv x; \\ b(\varphi_3 + \varphi_4) &\equiv y \end{aligned} \right\}$$

Підставляючи бачимо, що тотожності задовільняються. Таким чином, функція відповідає всім трьом вимогам. Так як $m = 1$ і $p = 1$, то на основі оцінок можна зробити висновок, що рішення сходиться за переміщенням з порядком h^2 , а по напруженням з порядком h .

Оскільки будівля, окрім плит перекриття, має стіни та колони, то корисним буде принцип фрагментації.

Під фрагментацією розуміють виділення з конструкції певної її частини в цілях подальшого включення в розрахункову схему тільки цієї виділеної частини конструкції, званої фрагментом. В нашому випадку фрагментом є плита перекриття. Ми будемо аналізувати наступну двоетапну процедуру:

- нехтуючи локальними особливостями конструктивного рішення, будується розрахункова схема повної будівельної конструкції або цілої будівлі в першому наближенні, яка дає можливість оцінити напружено-деформований стан об'єкта в цілому, і виконується її розрахунок;

- виділяється фрагмент будівлі або будівельної конструкції, до цього фрагменту прикладаються зовнішні сили, безпосередньо прикладені до виділеної частини конструкції. Повна межа фрагменту Γ утворюється об'єднанням двох частин: $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$, де Γ_1 -частина меж (границь) фрагмента (яка може бути і нульовою), що є одночасно і межею (границею) повної розрахункової схеми, тоді як Γ_2 - частина межі (границі) фрагмента, утворена при його виділенні з повної будівельної конструкції і не є межею (границею) повної конструкції.

Крайові умови фрагмента на границі Γ_1 , успадковують відповідні крайові умови повної конструкції на тій же границі. Що стосується крайових умов на Γ_2 , то тут можливі наступні три варіанти: постановка статичних крайових умов на Γ_2 , постановка кінематичних крайових умов на Γ_2 , постановка змішаних крайових умов на Γ_2 .

Якщо на Γ_2 ставляться статичні крайові умови, то це означає, що до даної границі фрагмента прикладаються в якості зовнішніх сил зусилля взаємодії між фрагментом і відкинутою частиною повної будівлі або будівельної конструкції - реакції, отримані при відкиданні решти частини конструкції або будівлі. Якщо на Γ_2 ставляться кінематичні крайові умови, то ця межа повністю закріплюється від всіх зміщень, а зовнішні впливи на фрагмент поповнюються заданими на Γ_2 переміщеннями, величини яких визначені раніше з розрахунку повної розрахункової схеми будівлі або конструкції. При змішаних крайових умовах вздовж границі фрагмента Γ_2 прикладаються частково силові, частково - кінематичні зовнішні впливи.

Далі фрагмент розраховується з використанням більш детальної розрахункової схеми, і з отриманого таким чином рішення використовується та частина, яка відноситься до точок, розташованих на деякій відстані від меж фрагмента.

Такий підхід узгоджується з практикою вибору серії розрахункових схем для аналізу різних особливостей поведінки будівлі або конструкції, але він вимагає певної інтуїції і досвіду для виключення небезпеки, пов'язаної з наявністю неусувної похибки рішення.

Зупинимось спочатку на випадку постановки статичних крайових умов на границі Γ_2 .

При розрахунку фрагмента вздовж границі Γ_2 в якості крайових умов задаються зусилля взаємодії між фрагментом і відкидаємо частину конструкції або будівлі (для спрощення міркувань, будемо вважати, що мова

йде про плоску задачу теорії пружності), тобто в якості нормальних p^n і дотичних p^t до Γ_2 зовнішніх для фрагмента сил покладемо

$$p^n(s) = \sigma^{ij} n_i n_j, p^t(s) = \sigma^{ij} n_i t_j$$

де σ^{ij} - компоненти тензора напружень в точках границі Γ_2 ,

n_i - компоненти одиничного вектора зовнішньої нормалі до границі Γ_2 (зовнішньої для фрагмента),

t_j -компоненти одиничного дотичного до Γ_2 вектора.

Якщо в якості тензора σ взяти тензор напружень σ з точного рішення повної розрахункової схеми будівлі або конструкції, то тоді при розрахунку фрагмента яким завгодно методом похибка аналізу фрагмента буде визначатися виключно похибкою обраного методу розрахунку - в нашому випадку це буде похибка, що наводиться методом скінченних елементів на сітці кроком h . Однак, тензор нам невідомий, тому при постановці статичних крайових умов на Γ_2 замість σ в приймається його наближення, в якості яких береться рішення повної задачі на крупній сітці H , тобто покладається $\sigma = \sigma_H$. У результаті вже в постановку задачі розрахунку фрагмента вноситься фатальна похибка у вигляді «шуму» по статичним крайовим умовам на Γ_2

$$\Delta p^n(S) = (\sigma_*^{ij} - \sigma_H^{ij}) n_i n_j, \Delta p^t(S) = (\sigma_*^{ij} - \sigma_H^{ij}) n_i t_j$$

Оскільки виділення фрагмента здійснюється по лініях розрізу повної конструкції або будівлі (це і є Γ_2), де не передбачаються високі градієнти напруженого стану і, отже, точність рішення в околиці Γ_2 на грубій сітці досить висока, то шум в крайових умовах буде незначним і мало вплине на рішення для фрагмента.

Для спрощення міркувань обмежимося випадком, коли Γ_2 являє собою замкнутий контур, при цьому виділяється фрагмент не закріплений від

жорстких зсувів. Оскільки контурні зусилля p_* так само як і зусилля p_H врівноважують всі зовнішні навантаження, що діють на виділений фрагмент, то звідси випливає, що компоненти «шумових» контурних сил $\Delta p^n(s)$ і $\Delta p'(s)$ задовольняють однорідним рівнянням рівноваги. Інакше кажучи, шум на контурі виділеного фрагмента самоурівноважений. Але само-врівноваженості шуму в крайових умовах у цілому на контурі Γ_2 замало, варто було б обґрунтувати його самоурівноваженість і в локальному сенсі.

З теорії методу скінченних елементів відомо, що помилки в напруженнях в межах сіткового розміру H змінюють знак (звідси, до речі кажучи, існування особливих точок напружень, названих точками Барлоу). Якщо тепер розкласти шумові зусилля в ряд Фур'є вздовж контуру Γ_2 , то нескладно здогадатися, що головним членом у цьому розкладанні буде гармоніка з довжиною напівхвилі порядку H . А ця гармоніка якраз і є самоурівноваженим навантаженням із зоною локальної самоврівноваженості довжиною $2H$.

З усього вищесказаного випливає, що при розрахунку фрагмента існує прикордонна до Γ_2 зона, напружений стан якої чутливо реагує на похибки в напруженому стані всієї конструкції або будівлі, визначеному на грубій сітці. На достатньому віддаленні від цієї зони, скажімо, на відстані δ від кордону Γ_2 , впливом цієї похибки можна знехтувати.

Успішна реалізація методу скінченних елементів, як і будь-якого числового методу, завжди буде пов'язана з досягненнями в проблемі вирішення систем рівнянь високих порядків. Та й саму появу електронних обчислювальних машин пояснено необхідністю вирішення систем з декількох десятків лінійних рівнянь для проблем ядерної фізики.

Історія проблеми вирішення систем рівнянь високих порядків в якійсь системі відображає весь драматизм численних помилок і знахідок фахівців на шляху реалізації числових методів розв'язання задач будівельної механіки і, звичайно, в першу чергу метод скінченних елементів.

В кінці 50-х рр. XX ст. з'явилися перші програми, які вирішували кілька десятків лінійних рівнянь за кількахвилин і здавалося, що проблема закрыта, так як порівняння проводилися з можливостями ручного рахунку. Дослідним шляхом було виявлено, що фахівець на клавішних автоматах з хорошою організацією перевірок може вирішити систему до 18 рівнянь. Для цього було потрібно декілька днів, а подальше збільшення кількості рівнянь призводило практично до неможливості їх вирішення через непереборно зростаючого каскаду помилок (людський фактор!).

Ейфорія швидко пройшла, так як з'явилися алгоритми складання рівнянь, і відразу ж з'явилася необхідність вирішення систем з декількох тисяч рівнянь. Для тих часів це була величезна, вражаюча враження фахівців величина, а для слабких електронних обчислювальних машин того часу це вже стало проблемою.

Відразу ж з'явилися прийоми для зменшення кількості обчислень в першу чергу використання симетрії, (прерогатива варіаційних методів) і стрічкової структури матриці.

Спочатку мінімізація ширини стрічки досягалася за рахунок використання різних рекомендацій за «ручної» нумерації вузлів. Наприклад, у випадку «витягнутої» конструкції нумерацію доцільно проводити послідовно по вузькій смузі. Потім при появі автоматичної триангуляції почали використовувати методи, що дозволяють проводити автоматично мінімізацію ширини стрічки.

Багато робіт було присвячено використанню специфіки апаратної реалізації арифметичних дій: метод обходу нулів, заснований на заміну у ряді випадків арифметичних операцій більш швидкими «логічними», мінімізація звернень до зовнішньої пам'яті, заснована на груповому виключенні невідомих тощо. Зараз, коли часто використовуються комп'ютерні моделі

конструкцій, що включають більше 1 млн. невідомих переміщень з'явилася нова проблема подолання поганої обумовленості матриці.

Для зменшення впливу поганої обумовленості існує кілька прийомів: вибір сприятливої форми скінченних елементів, виключення елементів з дуже великою або дуже маленькою жорсткостями порівняно з більшістю прийнятих елементів, послідовність нумерації вузлів. Так відомо, що при локалізованій області вузлів з накладеними зв'язками, вузли цієї області слід нумерувати останніми, тобто проводити нумерацію вузлів починаючи з найбільш «слабкого» елемента (в сенсі жорсткостей із зв'язків) до більш «жорсткого».

В даний час є багато прямих і ітераційних методів рішення систем лінійних рівнянь високих порядків (профільні, фронтальні, багато фронтальних, багатосіткових, агрегатні) в тій чи іншій мірі спрямованих на подолання проблеми поганої обумовленості матриці і великих витрат часу. Всі ці методи можна розділити на прямі (заздалегідь відомо кількість обчислень, але невідомо яка точність буде досягнута) та ітераційні (задається точність, яку треба досягти, але невідома кількість обчислень для досягнення цієї точності і взагалі немає гарантії, що ця точність буде досягнута).

Практично всі прямі методи засновані на методі виключення Гауса. Загальною ідеєю більшості ітераційних методів для вирішення рівнянь $Ku = P$ є побудова деякої позитивно певної матриці B .

У матриці B , на кожному кроці вирішується лінійна система рівнянь $BV_n = H - Ku_n$, по знайденому V_n , визначається u_{n+1} . Матриця B , повинна бути такою, щоб система $Bv = Q$ вирішувалася значно швидше вихідної.

У певному сенсі прикладом таких методів може служити метод Зейделя, добре відомий і застосовувався досить часто в докомп'ютерному періоді. Для методу Зейделя матриця B представляється діагональною, складеною з діагональних членів матриці K , а $U_{n+1} = V_n + U_n$. Процес

продовжується до тих пір, поки значення вектора V_n , буде лежати в межах заданої точності.

Для деяких нелінійних задач застосування методу Біргера (спрощений метод Ньютона) зумовлює кілька сотень прямих і зворотних ходів для стовпців вільних членів. Звичайно, в цих випадках ітераційні методи мало придатні.

Серед прямих методів, безумовно, виділяються своєю доцільністю сучасні методи вирішення розріджених матриць і класичний метод суперелементів.

У табл. 3.4 наведено кількість невідомих методу скінченних елементів при розрахунку плити перекриття у програмі ПЛИТА з кроком триангуляції 0,5 м та при розрахунку цієї ж конструкції у вигляді плоскої задачі теорії пружності.

Таблиця 3.4

Кількість невідомих для плити перекриття

Завдання	Кількість невідомих
Плити перекриття (програма ПЛИТА)	13509
Плоска задача теорії пружності	5246

У випадку плоскої задачі кількість невідомих у 2,6 рази менша, ніж для згину тонкої пластини (див. табл. 3.4).

У табл. 3.5 наведено загальну кількість невідомих методу скінченних елементів при розрахунку будівлі з кроком триангуляції для плит та стін 0,5 м у програмі КОМПОНОВКА та при розрахунку будівлі із виділенням монолітних залізобетонних плит перекриття в окремі фрагменти, які розраховуються у вигляді плоскої задачі теорії пружності.

Кількість невідомих методу скінченних елементів для варіанту розрахунку розрахунку будівлі із виділенням монолітних залізобетонних плит перекриття в окремі фрагменти, які розраховуються у вигляді плоскої задачі теорії пружності, визначалася за формулою:

$$N = N_K - nN_{sl} + n_1N_P,$$

де N_K – загальна кількість невідомих методу скінченних елементів при розрахунку будівлі з кроком триангуляції для плит та стін 0,5 м у програмі КОМПОНОВКА;

n – кількість поверхів;

N_{sl} – кількість невідомих методу скінченних елементів при розрахунку монолітної залізобетонної плити перекриття в програмі ПЛИТА;

n_1 – кількість типів плит перекриття відповідно до геометрії та/або прикладених навантажень;

N_P – кількість невідомих методу скінченних елементів при розрахунку монолітної залізобетонної плити перекриття у вигляді плоскої задачі теорії пружності.

$$N = 519377 - 20 \times 13509 + 1 \times 5246 = 100175.$$

Таблиця 3.5

Кількість невідомих для будівлі

Задача	Кількість невідомих
Будівля (програма КОМПОНОВКА)	457011
Будівля (програма КОМПОНОВКА – плити виділені у суперелементи)	245806
Будівля (плити перекриття – фрагменти плоскої задачі теорії пружності)	192077

При виділенні плит перекриття в окремі фрагменти, які розраховуються у вигляді плоскої задачі теорії пружності, загальна кількість невідомих зменшується майже у 2,4 рази у порівнянні з розрахунком у програмі КОМПОНОВКА та у 1,3 рази у порівнянні з розрахунком у програмі КОМПОНОВКА (плити виділені у суперелементи).

3.4. Технологія будівництва

3.4.1. Обґрунтування методів виробництва будівельних, монтажних та спеціальних будівельних робіт

Згідно з нормами тривалості будівництво об'єкта здійснюється у два періоди: підготовчий та основний.

Перед початком основних будівельно-монтажних робіт на будівництві необхідно провести підготовчі роботи, які включатимуть:

- вакансія будівельного майданчика для подальших робіт підготовчого періоду (розчищення території, знесення існуючих будівель тощо);
- видалення родючого шару ґрунту, зберігання його у спеціально відведених місцях для подальшого використання для меліорації земель при озелененні та озелененні;
- вертикальне планування будівельного майданчика;
- дренавання в необхідних випадках (штучне дренавання) рівня підземних вод;
- прокладка нових інженерних мереж;
- місця підключення тимчасових інженерних мереж до існуючих мереж із зазначенням джерел забезпечення будівельного майданчика електрикою, водою, освітленням, протипожежним водопостачанням, засобами

пожежогасіння, сигналізації та зв'язку з інженерних мереж, необхідних на період будівництва;

- облаштування постійних та тимчасових внутрішніх доріг, під'їздів.
- будівництво доріг, які будуть використовуватися як тимчасові, повинно забезпечувати рух будівельної техніки та транспортування максимальної ваги та габаритів будівельних навантажень;
- огороження будівельного майданчика з організацією контрольно-пропускного пункту;
- місця розташування тимчасових (інвентарних) будівель та споруд виробничого, допоміжного, санітарно-побутового та громадського призначення, облаштування складських приміщень та приміщень для матеріалів, конструкцій та обладнання;
- майданчики агрегатного складання конструкцій;

3.4.2. Організаційно – технологічна схема будівництва підприємства

В основу організаційно-технологічної схеми будівництва покладено потоковий метод організації будівництва.

- Передбачено застосувати комбіновану схему розвитку спеціалізованих потоків:
- Земляні роботи (зняття родючого шару ґрунту та влаштування інженерних мереж);
- забивка паль;
- влаштування монолітних фундаментів і зворотної їх засипки;
- зведення надземної частини: влаштування колон, монтаж конструкцій перекриття та покриття, сходових кліток;
- влаштування даху;

- виконання внутрішніх антехнічних та електромонтажних робіт;
- опоряджувальні роботи;
- благоустрій території;
- В підготовчий період необхідно виконати розбивочні геодезичні роботи у відповідності до СНиП 3.01.03-84. 7

3.4.3. Підготовка будівельного виробництва

До початку підготовчих робіт на об'єкті Замовник повинен отримати дозвіл на виконання цих робіт від Державного архітектурно-будівельного контролю, подати Будгенплан та належним чином оформлені документи, необхідні для його повного використання (якщо інше не передбачено договором).

Приступати до роботи дозволяється після підготовчих робіт, а саме:

- тимчасове огороження будівельного майданчика (охоронного, захисного та сигнального);
- забезпечення споруди пожежним водопостачанням, засобами пожежогасіння та зв'язку;
- встановлення приміщень для побутових та складських потреб. Завершення підготовчих робіт в обсязі, що забезпечує будівництво об'єкта, має бути підтверджено Актом, складеним замовником та підрядником та представниками Державного нагляду за охороною праці за формою, наведеною в ДБН А.3.1-5: 2009 " Організація будівельного виробництва "
- встановлення тимчасової огорожі навколо будівель;
- встановлення тимчасових мереж електропостачання та водопостачання.
- розробити ПВР;

3.4.4. Організація будівельного майданчика

- Організація будівельного майданчика та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці на всіх етапах робіт.

- На будівельному майданчику необхідно розмістити відповідними знаками та нанести небезпечні зони для робітників.

- Весь будівельний майданчик обгороджений суцільною огорожею заввишки 2-2,5 м (Схема представлена на бюджетному плані)

- Під'їзди до будівель повинні мати суцільні дерев'яні дахи на всю ширину входу та на відстані не менше 2 м від стіни будинку.

- Усі робочі місця та проходи до них на висоті 1,3 м і більше повинні бути огорожені тимчасовою огорожею.

- Місця виробництва робіт повинні бути забезпечені плакатами із заходами безпеки, що відповідають даному виду робіт;

- Проїзди, проїзди, місця зберігання будівельних матеріалів та виробництва робіт повинні бути очищені від будівельного сміття, взимку

- від снігу.

- У закладі необхідно виділити приміщення або місце для аптечок з ліками та надання першої допомоги постраждалим.

- Зони небезпеки повинні бути позначені знаками безпеки та написами встановленої форми.- На межах зон постійно діючих небезпечних виробничих факторів повинні бути встановлені запобіжні захисні огороження, а зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів

- сигнальні огороження або знаки безпеки.

- Будівельний майданчик обгороджений існуючим парканом, щоб виключити доступ сторонніх осіб. Конструкція огорожень повинна

відповідати вимогам ГОСТ 23407-78 "Огорожі інвентарні будівельні майданчики та ділянки виробництва будівельно-монтажних робіт". Огородження в місцях масового проходу людей потрібно обладнати безперервним захисним піком.

- Будівельний майданчик, робочі місця, під'їзні шляхи та підходи до них у темний час доби повинні бути освітлені відповідно до вимог ГОСТ 12.1.046-85 "ДСТБ. Будівництво. Норми освітлення будівельних майданчиків". Освітленість повинна бути рівномірною, без сліпучого впливу освітлювальних приладів на робітників. Виконання робіт у неосвітлених приміщеннях не дозволяється.

Підключення тимчасового живлення здійснюється від лінії електропередачі 0,4 кВ. У місці підключення (в межах будівельного майданчика) встановлюється вхідно-розподільний пристрій для обліку електроенергії, спожитої під час проведення будівельно-монтажних робіт. Прокладання мереж та з'єднань повинно відповідати вимогам ДСТУ Б А.3.2-13: 2011 "Будівництво. Електрична безпека".

- Біля входу на будівельний майданчик повинна бути встановлена схема руху транспорту. Швидкість руху транспортних засобів поблизу місця роботи не повинна перевищувати 10 км / год на прямих ділянках та 5 км / год - на поворотах.

- При від'їзді від об'єкта автотранспорту передбачена платформа для чищення (миття) коліс. - Заходи з електробезпеки на будівельному майданчику, робочих майданчиках та робочих місцях виконувати відповідно до вимог ГОСТ 12.1.013-78.

- Межі зон небезпеки поблизу місць рухомих частин та робочих органів машин визначаються відстанню 5 м, якщо інших вимог немає в паспорті виробника.

- Ширина проходів до робочих місць та робочих місць повинна бути не менше 0,6 м, а висота проходів при освітленні - не менше 1,8 м.

Для збору води з потоків вздовж доріг влаштовувати ями (див. Будгенплан), з яких виводити воду, оскільки вона наповнюється спеціалізованими водоносками.

Для тимчасового водопостачання будівельного майданчика для техніко-технологічних потреб планується прокласти тимчасовий водопровід від проектованої свердловини до місць встановлення споживачів технічної води. Для побутових потреб планується побудувати окрему тимчасову систему водопостачання від артезіанської свердловини, яка призначена до місць встановлення тимчасових побутових приміщень.

На час свердловин очікується використання імпортованої води з автоцистерн. Розведення тимчасового водопостачання на будівельному майданчику здійснюється за допомогою сталевих водопровідних і газових труб D50, прокладених в землю на глибині нижче рівня сезонних промерзань ґрунту, яка становить від 1,0 м до 1,2 м залежно від складу ґрунту та водонасичення.

На будівництві буде встановлено дві мийки біля в'їздів №1 та №2. Мийка для коліс влаштована з плит дорожнього ПДГ з нахилом у бік комбінованого лотка.

Вода скидається з колесних стоків у дренажну свердловину (вигрібну яму). У міру заповнення свердловини вона відкачується вакуумним стовбуром.

Місця стоянки колісних кранів, викладені збірним з.б. плити згідно з кресленням на загальному плані Буд і переставити автокран в процесі монтажу конструкцій каркаса.

3.4.5 Ведення монтажних робіт

Виконання БМР основного періоду рекомендується здійснювати трьома циклами:

1. Роботи нульового циклу.
2. Спорудження надземної частини споруд.
3. Впорядкування території.

Підготовчі роботи технологічно пов'язані з загальним потоком основних БМР об'єкту, забезпечують необхідний фронт робіт будівельним підрозділам, їх зв'язку в будівельному потоці, забезпечують застосування найбільш прогресивних методів виконання робіт: поточності, технологічно - можливого суміщення виконання окремих видів робіт, комплексної механізації робіт.

Висновки до розділу 3

1. Запроектовано багатоповерхову монолітно-каркасну будівлю. Прийнято об'ємно-планувальні рішення та складено специфікацію зовнішнього та внутрішнього опорядження приміщень, а також прийняті конструктивні рішення .

2. Проведено аналіз ґрунтової основи ділянки під будівництво у програмі Ґрунт (ПК МОНОМАХ-САПР). Проведено розрахунок багатоповерхового будинку за допомогою програми Компоновка (ПК МОНОМАХ-САПР).

3. Розглянуто ефективність методу аналогії для розрахунку плити перекриття.

4. Обґрунтовано методи виробництва будівельних, монтажних та спеціальних будівельних робіт.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Склад і зміст рішень з охорони праці повинні відповідати вимогам розділу ДБН А.3.2-2- 2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві", Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів, затверджених Держмісттехнаглядом, СНиП 3.07.01-85 "Механізація строительного производства. Рельсовыепутибашенныхкранов", а також правил техніки безпеки, затверджених органами державного нагляду та відповідними міністерствами та відомствами України по погодженню з Держбудом України.

Кожен працівник який бере участь у монтажу повинен:

- пройти інструктаж з техніки безпеки;
- бути забезпеченим спецодягом;
- обов'язково носити на голові каску;
- ті хто працює на висоті повинен мати пояси безпеки, яким пристібатися до попередньо змонтованої конструкції або риштування;

Заходи по техніці безпеки і охорони праці в умовах будівництва повинні бути направлені на по запобігання травм і ушкоджень робочих і ІТР будівельно-монтажних організацій, які пов'язані з будівництвом.

Перед початком будівництва увесь персонал будівельно-монтажної організації повинен пройти інструктаж (з реєстрацією в журналі) про правила безпеки на період будівництва.

Перед початком робіт на території будівництва відповідальний представник будівельної організації оформлює акт-допуск на проведення робіт, будівлі, де проходить опорядження приміщень, повинна бути огорожена і позначені. В місцях постійного проходу людей, огорожа

повинна мати суцільний захисний козирок. Попереджуючі знаки повинні бути добре помітні як в день, так і вночі. У вечірній час майданчик будівництва повинен бути добре освітлений. Майданчик обладнується спеціальним інвентарем, що гарантує безпеку робіт.

Небезпечні зони помічають знаками безпеки, відповідними написами встановленої форми. Кордони небезпечних зон встановлюються відповідно до вимог розділу ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві".

У випадку виникнення в ході робіт непередбачених ситуацій, які можуть створити небезпеку для працюючих, роботи повинні бути припинені до їх усунення, при цьому оформлюється акт.

Автомобільні та пішохідні шляхи повинні розміщуватись за межами небезпечних зон.

У випадку, коли автомобільні шляхи знаходяться у зоні переміщення вантажів краном, необхідно передбачати улаштування сигнального огороження, попереджувальних написів та дорожніх знаків про в'їзд в небезпечну зону.

Автомобільні шляхи повинні проектуватись кільцевими, за необхідності треба передбачати петльовані об'їзди або майданчики для розвороту автомобілів. Радіуси закруглення тимчасових шляхів приймаються не менше 12 м, ширина проїзної частини шляхів 3,5 м при русі транспортних засобів в одному напрямку та 6 м при русі в двох напрямках.

Освітлення будівельного майданчика і ділянок виконання проектувалось у відповідності з вимогами по проектуванню електричного освітлення будівельних майданчиків. Освітлення повинно передбачатись робочим, охоронним та аварійним.

Монтаж не можна виконувати в сутінках або при слабкій видимості.

Допускається виконання монтажних робіт при штучному освітленні при виконанні наступних умов:

- в місцях безпосереднього монтажу має бути встановлене освітлення, яке забезпечує освітленість від 50 до 100люкс.

- склади елементів монтажу повинні бути освітлені з яскравістю від 20 до 50 лк.

- вся площадка, на якій виконуються монтажні роботи, має бути освітлена не менше ніж на 20лк.

- в випадку в перерві постачання електрики роботи повинні бути припинені.

- працівники другої зміни повинні бути забезпечені ліхтариками для того щоб в такому випадку вони могли зійти з риштування та конструкцій.

Вибираючи огороження території будівельного майданчика і ділянок виконання робіт, враховували вимоги ГОСТ 23407-78. Тип огорожі відповідає характеристиці об'єкта та специфіці будівельно-монтажних робіт.

Робочі місця повинні бути добре освітлені для вантажно-розвантажувальних робіт. Ці майданчики насамперед треба очистити і розпланувати так, що їх уклін не перевищував би 5°. Майданчики обладнуються спеціальним інвентарем, що гарантує безпечність робіт.

У процесі організації будівельного майданчика, розміщення діляниць, робочих місць, проїздів будівельних машин і транспортних засобів, проходів людей визначають небезпечні для людей зони, в межах яких постійно діють, чи можуть діяти небезпечні виробничі фактори.

Перед початком земляних робіт необхідно викликати на місце представників зацікавлених служб відповідних інженерних комунікацій, що

можуть опинитися на місці будівництва і виконати вказівки цих служб по охороні комунікацій.

Земляні та інші роботи починати тільки після прийняття всіх необхідних заходів для попередження нещасних випадків, що можуть виникнути внаслідок пошкодження підземних і наземних мереж.

Ґрунт, вилучений з котловану або траншеї, необхідно розмістити на відстані не менше 0,5 м від краю виїмки. Розробка ґрунту в котлованах та траншеях "підкопом" не дозволяється.

На ділянці, де проводяться монтажні роботи, не дозволяється виконання інших робіт та знаходження сторонніх осіб.

Забороняється підйом збірних залізобетонних конструкцій, які не мають монтажних петель або міток, які б забезпечували їх правильну строповку та монтаж. Для переходу монтажників з однієї конструкції на другу, необхідно застосовувати інвентарні драбини, перехідні містки та трапи, які мають загорожу. Не допускається знаходження людей під елементами, які монтуються, конструкцій і обладнань до встановлення їх в проектне положення і закріплення.

При наявності вітру монтаж виконувати з великою обережністю відповідно до інструкцій по обслуговуванню засобів монтажу;

Особливу увагу звернути на безпеку при монтажі довгих і важких конструкцій.

Під час монтажу потрібно дотримуватися наступного:

- при швидкості вітру до 10 м/сек., монтаж виконується як звичайно;
- при швидкості вітру від 10 до 14 м/сек., вага конструкції повинна бути на 25% менше, ніж максимальна при даному вильоті стріли;

- при швидкості вітру більше 17 м/сек. монтаж припиняється, а кран приводиться в положення для транспортування. Не виконувати монтаж при великих опадах (дощ, сніг), або при тумані, який приводить до зменшення видимості.

До монтажу можна приступити після висихання або усунення наслідків опадів в районі монтажних робіт.

Допуск робітників до виконання покрівельних робіт дозволяється після огляду виконробом або майстром разом з бригадиром виправності несучих конструкцій покрівлі чи огорожі. При виконанні робіт на покрівлі з схилом більше ніж 20%, робітники повинні застосовувати запобіжні пояси. Для проходу робітників, які виконують роботу на покрівлі з схилом більше ніж 20%, а також на покрівлі з покриттям не розрахованим на навантаження від ваги працюючих, необхідно влаштовувати трапи шириною не менше ніж 0,3 м з поперечними планками для упору ніг. Трапи під час роботи повинні бути закріплені. Не допускається виконання покрівельних робіт під час ожеледиці, туману, який виключає видимість в межах фронту робіт, грози та вітру швидкістю 15 м/сек і більше.

При виконанні робіт у взаємній ув'язці з кресленнями відповідних розділів проекту і у відповідності з діючими нормами і правилами по охороні праці робота будівельників буде безпечною і не приведе до нещасних випадків.

4.1. Техніка безпеки при експлуатації будівельних машин

При роботі з машинами і механізмами робітники повинні дотримуватися правил по техніці безпеки.

Для запобігання нещасних випадків на будівництві особливу увагу необхідно приділити експлуатації вантажопідійомних машин. Правила їх експлуатації викладені в "Правилах будови і безпечна експлуатації вантажопідійомних кранів", затверджених в 2007 році, та в СНиП 3.08.01-85 "Механизация строительного производства, Рельсы и пути башенных кранов".

Розміщення будівельних машин визначається таким чином, щоб забезпечити простір, достатній для огляду робочої зони і маневрування за умови дотримання відстані безпеки поблизу незакріпленої виїмки, штабелів вантажів, устаткування.

Для забезпечення необхідної стійкості монтажний кран повинен бути встановленим на надійну і старанно вивірену основу. Кожний кран необхідно обладнати автоматичним обладнанням для обмеження вантажопідійомності, а сталеві канати його повинні періодично перевірятися.

Особи, які є відповідальними за стан машин, повинні не пізніше одного разу за 10 днів перевіряти їх технічний стан і порядок проведення огляду кожної зміни.

Адміністрація організації, яка проводить будівельно-монтажні роботи з застосуванням машин, зобов'язана назначати ІТР, які відповідають за безпекою проведення робіт. Зазначені робітники повинні призначуватися після перевірки в організації, де вони працюють, знань, правил і інструкцій по безпечному виробництву робіт з машинами, які використовуються.

До початку роботи з застосуванням машин необхідно визначити схему руху і місце встановлення машин, місця і методи заземлення машин з електроприводом, вказати методи взаємодії і сигналізації машиніста (оператора) з робочим-сигнальником, який обслуговує машину; визначити місце знаходження сигнальника, а також забезпечити освітлення робочої зони.

Значення сигналів, які подаються в процесі роботи чи переміщення машини, повинно бути пояснено всім особам, які пов'язані з роботою машини.

В зоні роботи машини повинні бути встановлені на видному місці знаки безпеки, а на машині - попереджувальні надписи.

Лишати без нагляду машини з включеним двигуном не допускається.

Переміщення, встановлення і робота машини поряд з котлованом, траншеєю тощо з не закріпленими відкосами дозволяється лише за межею призми обвалу ґрунту на відстані від основи відкосу виїмки, яка встановлюється проектом виробництва робіт.

При експлуатації машин повинні бути прийняті міри, які допоможуть попередити їх перекидання або самовільне переміщення під дією вітру чи при наявності уклону місцевості.

4.2.Заходи по пожежній безпеці

Для забезпечення протипожежної безпеки передбачаються наступні заходи:

- забезпечення доступу пожежного транспорту;
- для забезпечення пожежогасіння використовувати пожежні гідранти, (згідно будгенплану);

Забезпечення пожежної безпеки проводити в відповідності з вимогами: "Закон України "Про пожежну безпеку", НАПБ А.01.001-2007, Правила пожежної безпеки в Україні, "Вимоги пожежної безпеки під час проведення

вогневих, фарбувальних та будівельно-монтажних робіт", затверджених Міністерством внутрішніх справ України (наказ №217 від 05.03.2002 р).

Відповідальність за пожежну безпеку об'єктів, що будуються, реконструюються, технічно переоснащуються, та будівельних майданчиків, своєчасне виконання протипожежних заходів, забезпечення засобами пожежегасіння, організацію пожежної охорони та роботу добровільних протипожежних формувань несе керівник робіт від генпідрядної будівельної організації (або особа, яка його заміняє).

Відповідальність за пожежну безпеку окремих ділянок будівництва, наявність та справне утримання засобів пожежегасіння, своєчасне виконання передбачених проектом протипожежних заходів несуть (призначаються наказом) керівники робіт на цих ділянках.

При виконанні робіт субпідрядними організаціями відповідальність за дотримання заходів пожежної безпеки покладається на керівників цих організацій та керівників окремих ділянок.

Відповідальність за пожежну безпеку побутових, допоміжних та підсобних приміщень несуть посадові особи, яким підпорядковані вказані приміщення.

Споруджувані будівлі, тимчасові споруди, підсобні приміщення, а також будівельні майданчики повинні бути забезпечені первинними засобами пожежегасіння.

На території будівництва площею 5 га та більше має бути не менше двох в'їздів з протилежних боків майданчика. Дороги повинні мати покриття, придатне для проїзду пожежних автомашин будь-якої пори року, ворота для в'їзду мають бути не менше 4,5 м завширшки.

Біля в'їздів на будмайданчик треба встановлювати (вивішувати) плани з нанесенням на них будівлями та спорудами, що будуються, а також

допоміжними будівлями і спорудами, в'їздами, під'їздами, джерелами води, засобами пожежогасіння та зв'язку.

До всіх споруд, що будуються, та допоміжних споруд, у тому числі й тимчасових, місць відкритого зберігання будівельних матеріалів, конструкцій та устаткування має бути забезпечений вільний під'їзд. Улаштування під'їздів та доріг до будівель, що зводяться, необхідно завершити до початку основних будівельних робіт.

Коли будівля зводиться у три поверхи і більше, слід застосовувати металеві риштування.

Будівельні риштування споруд на кожні 40 м їх периметра необхідно обладнувати одними сходами або драбиною, але не менше ніж двома сходами (драбинами) на всю будівлю. настил та підмостки риштувань слід періодично та після закінчення робіт очищати від будівельного сміття, а в разі необхідності посипати піском.

Виконання робіт всередині будівель і споруд із застосуванням горючих речовин та будівельних матеріалів груп горючості Г3, Г4 одночасно з БМР, пов'язаними з використанням відкритого вогню (зварювання, відігрівання труб тощо), не дозволяється.

Роботи з вогнезахисту металоконструкцій з метою підвищення їх меж вогнестійкості повинні виконуватися одночасно зі зведенням будівлі.

Робота, пов'язана з монтажем конструкцій з утеплювачем з матеріалів груп горючості Г3, Г4 або із застосуванням утеплювачів з цих матеріалів, має вестися за нарядом допуском, який видається виконавцю робіт особою, відповідальною за протипожежний стан будівництва.

На місцях виконання робіт кількість утеплювачів та покрівельних рулонних матеріалів не повинна перевищувати змінної потреби.

Утеплювач з матеріалів груп горючості Г3, Г4 необхідно зберігати за межами будинку, що зводиться, в окремо розташованій споруді чи на спеціальному майданчику на відстані не менше 18 м.

Під час робіт, пов'язаних із влаштуванням гідро - та пароізоляції на покрівлі, монтажем панелей з утеплювачем із горючих матеріалів груп Г2, Г3, Г4, забороняється проводити електрогазозварювальні та інші вогневі роботи.

Усі роботи, пов'язані із застосуванням відкритого вогню, мають проводитися до початку застосування горючих та важкогорючих матеріалів.

Заправляти паливом агрегати на покрівлі слід у спеціальному місці, забезпеченому вогнегасниками та ящиком з піском. Зберігання палива для заправлення агрегатів, а також порожньої тари з-під палива на покрівлі не дозволяється.

Для опалення інвентарних будівель повинні використовуватися парові та водяні калорифери.

Сушіння одягу та взуття повинно проводитися у спеціально пристосованих для цієї мети приміщеннях з центральним водяним опаленням або із застосуванням водяних калориферів. У тимчасових побутових та адміністративних спорудах, де неможливе влаштування центрального опалення, дозволяється мати пічне опалення, яке відповідає вимогам будівельних норм.

У разі виявлення пожежі (ознак горіння) кожний громадянин зобов'язаний:

- негайно повідомити про це телефоном в пожежну охорону. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;

- вжити (по можливості) заходів до евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;

- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну конкретну посадову особу;

- у разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо).

По прибутті на пожежу пожежних підрозділів повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх на територію об'єкта. Після прибуття пожежного підрозділу адміністрація та технічний персонал будівлі зобов'язаний брати участь у консультуванні керівника гасіння про конструктивні і технологічні особливості об'єкта, де виникла пожежа, прилеглих будівель, організувати залучення до вжиття необхідних заходів, пов'язаних із ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку, сил та засобів об'єкта.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1. Будівельний майданчик потрібно певним чином обладнати перед початком будівництва.

Одною з найважливіших задач є та, що потрібно в збереженні природних властивостей земель є забезпечення земель родючим ґрунтом парники, оранжереї, теплиці та його використання на інше.

З метою рекультивації землі ведуться попередні роботи під час будівництва підземної автомобільної стоянки – для подальшого використання знімання та зберігання родючого шару ґрунту. Під час будівництва частину земель яка була використана використовують для таких речей як благоустрою територій шкіл, чагарників, для дорожнього будівництва, виготовлення будівельних матеріалів, а непотріб віддають районим аграрним господарствам при наявності згоди між сторонами.

2. Машини і механізми на будівельному майданчику.

Кожне будівництво вимагає великої кількості різних будівельних машин і механізмів, більшість з яких негативно впливає на навколишнє середовище. Шум присутній протягом всього процесу будівництва. Оскільки стоянка будується в районі мікрорайону, особливу увагу слід приділити зменшенню шуму. Забруднення транспортними засобами виходить далеко за межі будівельного майданчика (доставка до місця роботи матеріалів, конструкцій, обладнання тощо). Під час транспортування шум може виникати не тільки від самої машини, але і від недостатнього закріплення вантажу через відсутність прокладок тощо. З будівельного майданчика чути гучний шум при роботі з двигунами внутрішнього згоряння, особливо компресорами. Заходи, що застосовуються для зменшення шуму, це заміна пристроїв з двигунами внутрішнього згоряння на електропривідні (компресори, екскаватори, бульдозери). Якщо така заміна неможлива,

глушники встановлюються на вихлопних трубах автомобіля з двигунами внутрішнього згорання, що зменшує шум в середньому на 5 дБА.

Атмосферне повітря суттєво впливає під час будівництва. Розглянемо деякі найважливіші фактори його забруднення:

- розпилювання при розвантажувально-навантажувальних роботах;
- експлуатація транспортних засобів з несправними двигунами;
- простої транспорту під час вантажно-розвантажувальних робіт із увімкненими двигунами;
- неорганізовані джерела викидів (в місцях зберігання сипучих будівельних матеріалів).

Для того, щоб зменшити вплив на атмосферу під час будівництва, необхідно мінімізувати вплив усіх цих шкідливих факторів.

Ефективність капітального будівництва залежить від споріднених підприємств, які постачають сировину та продукцію, забезпечують будівництво електроенергією, водою, парою тощо.

Всі типи будівництва взаємопов'язані єдиною технологічною одиницею та джерелами сировини, що дозволяє краще вирішувати питання планування житла, будівництва доріг, переробки та переробки. Водночас сировина та матеріали раціонально використовуються, що призводить до зменшення забруднюючих викидів. Найефективнішими та найефективнішими засобами захисту повітря від викидів газу та пилу під час будівництва є технологічні заходи, що забезпечують ліквідацію викидів шкідливих речовин, що досягається вдосконаленням самого процесу та герметизацією обладнання та апаратури. Герметичність обладнання є необхідною умовою сучасного будівництва. При транспортуванні та зберіганні сипучих будівельних матеріалів та порошкових конструкцій. матеріалів вони розміщені на спеціально пристосованих складах.

Більшість будівельних машин і майже всі транспортні засоби виготовляються на двигунах внутрішнього згорання. Склад вихлопних газів залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є тип і якість палива, тип двигуна, режим роботи та навантаження, технічний стан та кваліфікація водія. Вважається, що працюючий, добре відрегульований двигун виділяє в повітря в 10 разів менше окису вуглецю, ніж несправний або некорегований. Також під час будівництва використовують механізми з дизельними двигунами замість карбюраторного бензину. Це дозволяє використовувати дешевше паливо та зменшити його витрати на 20-30%. Нові дизельні двигуни не мають диму, повільності та шуму, характерних для цього типу двигунів.

3. Значною проблемою після будівництва є утилізація відходів.

В даний час з усієї сировини, яка використовується для будівництва, лише кілька відсотків йде на відходи, а решта йде на продукцію, або використовується для будівництва доріг тощо.

Під час будівництва автостоянки, на території будівельного майданчика та поблизу нього, не допускається скидання відпрацьованих моторних масел та інших шкідливих речовин. На момент будівництва на будівельному майданчику виділяється зона санітарного обслуговування. Домашнє сміття не дозволяється закопувати або спалювати, необхідно підготувати сміттєву яму, яку після будівництва прибирають і сміття вивозять на звалище.

Після будівництва родючий шар ґрунту, який на початку будівництва після зрізу зберігався на будівельному майданчику, порізали шарами, в тій частині ділянки, де забруднення будівельними відходами неможливе, поширився на зрізаній ділянці та надлишок вивозиться на сільськогосподарські угіддя. Після завершення робіт конструкцію та облицювання будівлі необхідно очистити та очистити від будівельного сміття.

Для прикраси квітів використовують щільно стійкі види однорічних, дворічних та багаторічних квітучих рослин. Для створення газонів - рекомендуються газонні трави.

При проектуванні благоустрою місце їх розташування встановлюється за погодженням з місцевими органами санітарного нагляду, будівництва та архітектури.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи на тему «Аналогія між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими» були виконані наступні розділи: аналітичний огляд, теоретичні основи вдосконалення розрахунку плитних конструкцій багатоповерхових будівель, практичні основи для вдосконалення розрахунку плит перекриття, охорона праці, охорона навколишнього середовища.

В розділі аналітичний огляд було визначено плоский напружений стан і плоску деформацію, після чого було застосовано теорію згину пластин, а потім проведено аналогію між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої пластини.

У розділі теоретичні основи вдосконалення розрахунку плитних конструкцій багатоповерхових будівель я визначив аналогію між плоскою задачею теорії пружності та задачею згину тонкої квадратної пластини, що жорстко закріплена двома протилежними сторонами та незакріплена двома іншими, під дією різних видів навантажень. Наведено основні рівняння теорії пружності. Моделювання тонкої квадратної пластини методом скінченних елементів у ПК ЛІРА-САПР.

У розділі практичні основи для вдосконалення розрахунку плит перекриття було запроєктовано багатоповерхову будівлю, проведеній її розрахунок, форматування і невеликого редагування схеми в програмі AutoCAD, схема імпортується в програму Компонівка. Також розроблено технологію будівництва будівлі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б А.2.4-7:2009 Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень
2. ДСТУ Б А.2.4-2:2009 Умовні позначки і графічні зображення елементів генеральних планів та споруд транспорту.
3. Бойченко С. В., Іванова Т. В., Іванченко О. В., Слободян О. П. Положення про дипломні роботи (проекти) випускників національного авіаційного університету. – 2017. – 82с.
4. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2.-2:2006 [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с. – (Національні стандарти України).
5. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві"
6. Кузнецова Е.В. Изгиб пластин: Учебное-методическое пособие к решению задач и лабораторному практикуму по исследованию прогибов при нагружении прямоугольных и круглых пластин / Перм. Гос. Техн. ун-т. Пермь, 2006. – 32 с.
7. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 635 с.
8. Колмогоров Г.Л., Мельникова Т.Е., Кулиев В.Р. Вариационные методы в теории пластин и оболочек. / учебное пособие ПГТУ, Пермь, 2000. – 36 с.
9. Писаренко Г.С. Агарев В.А. и др. Сопротивление материалов. – К.: Вища школа 1979. - 696 с.
10. Щербо, А. Г. Основы теории упругости и пластичности : учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / А.Г. Щербо. – Новополюцк : ПГУ, 2008. – 240 с.
11. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М: Высш. шк., 1990. – 398 с.
12. Терещушко, О.И. Основы теории упругости и пластичности / О.И. Терещушко. – М: Наука, 1984. – 320 с.

13. Киселев, В.А. Плоская задача теории упругости / В.А. Киселев. – М.: Высш. шк. – 151 с.
14. Тимошенко, С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
15. Безухов Н.І. Основи теорії впругості, пластичності та ползучесті. – М. : Вища школа, 1968. – 512 с.
16. В.П. Кожушко Расчет прямоугольной пластины, две смежные стороны которой защемлены, а две другие смежные стороны шарнирно оперты. – Вестник ХНАДУ, вып. 67, 2014.
17. Кончковский З. Плиты. Статические расчеты / З. Кончковский; пер. с польск. – М. : Стройиздат, 1984. – 480 с.
18. Масленников А.М. Расчет строительных конструкций численными методами: учебн. пособие / А.М. Масленников. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. – 224 с.
19. Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек. Ч.1 / А.В. Александров, Б.Я. Лашенков, Н.Н. Шапошников, В.А. Смирнов. – М. : Стройиздат, 1976. – 248 с.
20. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела: учебн. пособие / Ю.Н. Работнов. – М.: Гл. ред. физ.-мат. л-ры, 1979. – 744 с.
21. Толоконников Л.А. Механика деформируемого твердого тела: учебн. пособие для вузов / Л.А. Толоконников. – М.: Высш. шк., 1979. – 318 с.
22. Блох В.І., Асс І.М. Метод аналізу аналогій між плоскою задачею теорій пружності і завданням вигину тонких пластиків // Доповіді Академії наук Української РСР. – 1950. – № 3. – С. 229-233.
23. Шадурский В.П. Таблицы для расчета упругих прямоугольных плит: справочное пособие / В.П. Шадурский. – М.: Стройиздат, 1976. – 152 с.
24. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений (расчетно-теоретический) / под. ред. А.А. Уманского. – М.: Гос- стройиздат, 1961. – 1940 с.

25. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Пластины, диски, балки-стенки. – К.: Гостехиздат УССР, 1959. – 1049 с.
26. Кожушко В.П. Расчет пролетных строений балочных мостов разрезной системы / В.П. Кожушко // Сопротивление материалов и теория сооружений. – 1980. – Вып. 36. – С. 118–122.
27. Кожушко В.П. До розрахунку балочно-консольних прогінних будов на тимчасове навантаження / В.П. Кожушко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1985. – Вип. 37. – С. 56–60.
28. Кожушко В.П. До розрахунку балочно-консольних прогінних будов на тимчасове навантаження / В.П. Кожушко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1985. – Вип. 37. – С. 56–60.
29. Островидов А.М. Таблицы для проектирования мостов: справочник / А.М. Островидов, И.А. Кузнецов. – М.: Авто-трансиздат, 1959. – 536 с.
30. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – К.: Наукова думка, 1975. – 702 с.
31. Кожушко В.П. Розрахунок нескінченних консольних смуг / В.П. Кожушко, С.А. Біндюг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2002. – Вип. 64. – С. 125–127.

ДОДАТОК А
КРЕСЛЕННЯ