

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних конструкцій

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівельних конструкцій

/...../

підпис

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

**На тему: «Дослідження роботи перекриття житлового будинку в
м. Суми»**

Виконав (ла)

(підпис)

Гопка В. С.

(Прізвище, ініціали)

Група

(Науковий)

керівник

(підпис)

Срібняк Н.М.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівельних конструкцій

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гопка Валентин Сергійович

Тема роботи: Дослідження роботи перекриття житлового будинку в м. Суми

Затверджено наказом по університету № _____ від "___" _____ 2025р.

Строк здачі студентом закінченої роботи: "___" _____ 2025 р.

Вихідні дані до роботи:

Об'ємо-планувальне та конструктивне рішення безкаркасної житлової будівлі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Виконати огляд джерел щодо розрахунків залізобетонних конструкцій з урахуванням тріщиноутворення (в пластичній стадії роботи конструкцій). Проаналізувати результати статичного розрахунку СЕ стержньової схеми фрагменту диска перекриття із збірних плит із жорсткостіми стержнів в 3-х варантах: пружній жорсткості, пониженій в 4 рази жорсткості лише на вигин, пониженій жорсткості в 4 рази як на вигин, так і на кручення. Сформулювати висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)

Мультимедійна презентація в форматі Microsoft PowerPoint

Керівник :


(підпис)

Н.М. Срібняк
(Прізвище, ініціали)

Консультант


(підпис)

В.М. Луцьковський
(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

В.С. Гопка
(Прізвище, ініціали)

Анотація

Гопка Валентин Сергійович. Дослідження роботи перекриття житлового будинку в м.Суми – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами досліджень та формулювань висновків із досліджень (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Результати досліджень:

- оцінити напружено-деформований стан фрагменту диска перекриття в лінійній постановці (при інженерному розрахунку);
- визначити напружено-деформований стан диска перекриття з урахуванням тріщиноутворення (нормальних тріщин від вигину) шляхом зниження початкового модуля пружності та модуля зсуву в кілька разів, що моделює виникнення тріщин;
- порівняти результати розрахунку напружено-деформованого стану при зміні лише жорсткості на вигин та при зміні обох жорсткостей – на вигин і кручення;
- отримати підтвердження важливості врахування в розрахунках не тільки жорсткості на вигин, а й жорсткості на кручення.

Аналіз публікацій та досліджень встановив, що дослідження сумісної роботи будівельних систем і їхніх елементів у пластичній стадії залишається актуальною науковою проблемою, якою займалися різні автори упродовж часу.

У процесі розрахунку конструкцій урахування їхньої спільної роботи є вкрай важливим, оскільки це дозволяє більш точно визначити зусилля та деформації елементів. У статично невизначуваних системах взаємодія елементів спричиняє перерозподіл зусиль як на етапі до утворення тріщин, так і в пластичній стадії роботи матеріалу, зокрема бетону.

Утворення тріщин послаблює переріз і знижує його жорсткісні характеристики. Як відомо, у статично невизначуваних системах перерозподіл зусиль залежить від жорсткості їхніх елементів.

В **основній частині** зазначено, що за допомогою методу скінченних елементів та програмного комплексу Ліра-САПР 2024 створено скінченоелементну модель фрагменту диску перекриття, сформованої з багатопорожнистих плит покриття. Скінченоелементна модель прийнята стержньовою, так як така апроксимація якомога краще здатна реалізувати задачі та мету дослідження.

Відомо, що навіть при рівномірному (симетричному) навантаженні на диск перекриття у його крайових елементах виникають крутні моменти, які можуть досягати значних значень. . Спільна робота збірних плит у складі диска перекриття забезпечується завдяки замонолічуванню шпоночних плитних швів. У такому випадку під навантаженням залучаються всі плити, що складають диск перекриття, і відбувається перерозподіл навантаження між ними. Шпоночні шви змодельовані через об'єднання переміщень уздовж осі Z вузлів сусідніх стержнів з підвищеною жорсткістю

СЕ модель фрагменту диска із збірних плит планується дослідити (отримати параметри НДС) за різних типів її жорсткостей – пружних (лінійних)

та понижених (внаслідок утворення тріщин в пластичній стадії роботи перекриття).

Так, на першому етапі планується виконати статичний розрахунок системи із пружними жорсткостями всіх її елементів. Далі обчислюється значення моменту вигину, при якому в конструкції почнуть з'являтися тріщини – тобто момент тріщиноутворення M_{crc} . Далі, на 2-му етапі розрахунку, на ділянках, де з'являються нормальні від вигину тріщини (тобто $M_{max} > M_{crc}$) понизимо жорсткість на вигин в 4 рази. Виконаємо статичний розрахунок системи з пониженими лише на вигин жорсткостями на певних ділянках. На наступному етапі на ділянках, де $M_{max} \geq M_{crc}$ понижуюмо в 4 рази жорсткості як при вигині, так і при крученні. Виконаємо статичний розрахунок 3-ї розрахункової моделі.

В подальшому було проаналізовано напружено-деформований стан елементів моделей диску перекриття та сформульовано висновки.

У **висновках** встановлено, що на простому прикладі продемонстровано важливість урахування при статичному розрахунку залізобетонної системи із збірних плит у пластичній стадії роботи не тільки пониженої жорсткості на вигин унаслідок виникнення тріщин, але й зниження жорсткості на кручення.

Ключові слова: диск перекриття, нормальні тріщини, жорсткість на вигин, жорсткість на кручення, крутний момент, момент згину, багатопорожниста плита

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

Срібняк Н.М., Галушка С.А., Гопка В.С., Рябоконт Ю.М. Дослідження роботи будівельних систем на прикладі диска перекриття із збірних плит. Міжнародна науково-практична конференція «GLOBAL TRENDS IN SCIENCE AND EDUCATION» 10-12.03.2025 року Київ, Україна

В **додатках** наведено: тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 40 сторінках, у тому числі 6 таблиць, 31 рисунка. Текст роботи містить 7 розділів, що включають загальну характеристику роботи й висновки, список з 22 джерел, 2 додатків на 38 сторінках. Графічна частина складається з 26 слайдів мультимедійної презентації.

Abstract

Нопка Valentyn Serhiiovych. Study of the behaviour of the floor of a residential building in Sumy – Master's qualification work with manuscript rights.

Master's qualification work in specialty 192 "Construction and civil engineering". – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The manuscript consists of the *table of contents, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the chosen topic, sections of the main part, conclusions based on the results of research and formulation of conclusions from research* (in Ukrainian and English).

The **goal, tasks, object and subject of research, methods of scientific research** are formulated.

Research results:

- to evaluate the stress-strain state of a fragment of the floor disc in a linear formulation (for engineering design);
- to determine the stress-strain state of the floor disc taking into account crack formation (normal bending cracks) by reducing the initial elastic modulus and shear modulus several times, which simulates the occurrence of cracks;

- to compare the results of analysis of the stress-strain state when only the bending stiffness is changed and when both the bending and torsional stiffnesses are changed;

- to confirm the importance of taking into account not only bending stiffness but also torsional stiffness in analyses.

The **analysis of publications and research** has established that the study of the joint operation of building systems and their elements in the plastic stage remains an urgent scientific problem that has been addressed by various authors over time.

In the process of designing structures, taking into account their joint operation is extremely important, as it allows for a more accurate determination of the forces and deformations of the elements. In statically indeterminate systems, the interaction of elements causes a redistribution of forces both at the stage before crack formation and in the plastic stage of the material, in particular concrete.

The formation of cracks weakens the section and reduces its stiffness characteristics. It is known that in statically indeterminate systems, the redistribution of forces depends on the stiffness of their elements.

In the **main part**, it is stated that a finite element model of a fragment of a floor disc formed from multi-cavity slabs was created using the finite element method and the Lira-CAD 2024 software package. The finite element model was adopted as a core model, since such an approximation is best able to implement the objectives and purpose of the study.

It is known that even under a uniform (symmetrical) load on a slab disc, torques occur in its edge elements, which can reach significant values. The joint operation of precast slabs as part of a floor disc is ensured by the grouting of the slab key joints. In this case, all the slabs that make up the floor disc are subjected to load, and the load is redistributed among them. The keyway joints are modelled by combining the displacements along the Z-axis of the nodes of neighbouring stiffened bars

The FE model of a precast slab disc fragment is planned to be investigated (to obtain the stress-strain state parameters) at different types of its stiffnesses - elastic (linear) and reduced (due to crack formation in the plastic stage of the slab).

Thus, at the first stage, it is planned to perform a static analysis of the system with elastic stiffnesses of all its elements. Next, the value of the bending moment at which cracks will begin to appear in the structure is calculated - that is, the cracking moment M_{crc} . Then, at the 2nd stage of the calculation, in the areas where cracks normal to bending appear (i.e. $M_{max} > M_{crc}$), we reduce the bending stiffness by a factor of 4. Perform a static analysis of the system with reduced bending stiffness in certain areas. At the next stage, in the areas where ($M_{max} \geq M_{crc}$), reduce the stiffnesses in both bending and torsion by a factor of 4. Let's perform a static analysis of the 3rd design model.

Subsequently, we analysed the stress-strain state of the elements of the floor disc models and formulated conclusions.

The **conclusions** demonstrate the importance of taking into account not only the reduced bending stiffness due to cracks, but also the reduced torsional stiffness in the static analysis of a precast concrete system in the plastic stage of operation.

Keywords: slab disc, normal cracks, bending stiffness, torsional stiffness, torque, bending moment, multi-cavity slab.

List of publications and/or presentations at student's conferences:

Sribniak N.M., Halushka S.A., Hopka V.S., Riabokon Yu.M. Study of the behaviour of building systems on the example of a floor disc made of precast slabs. International scientific and practical conference 'GLOBAL TRENDS IN SCIENCE AND EDUCATION' 10-12.03.2025 Kyiv, Ukraine

In the **appendices** you can find: conference abstracts, slide album of multimedia presentation.

Structure of the manuscript. The manuscript consists of the main text on 40 pages, including 6 tables and 31 figures. The text of the paper contains 7 chapters, including a general description of the **manuscript** and conclusions, a list of 22 references, 2 appendices on 38 pages. The graphic part consists of 26 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

<i>Завдання</i>	
<i>Анотація</i>	
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ	
1.1 Актуальність теми.....	
РОЗДІЛ 2. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ	
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	
РОЗДІЛ.4 ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ БУДІВЛІ	
4.1 Об'ємно-планувальне рішення.....	
4.2 Архітектурно-конструктивне рішення.....	
РОЗДІЛ.5 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ЯЧЕЙКИ З ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ	
5.1 Розрахункова модель фрагменту диска перекриття з плит.....	
РОЗДІЛ 6. АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ	
6.1 Крок 1. Пружний статичний розрахунок системи.....	
6.2 Крок 2. Напружений стан моделей, що досліджуються.....	
6.3 Крок 3 На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$ утворюються тріщини та знижуємо лише EJ в 4 рази.....	
6.4 Крок 4. Виконуємо статичний розрахунок при зниженій жорсткості лише на вигин.....	
6.5 Крок 5. На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$, де виникають нормальні тріщини, знижуємо як EJ , так GJ_k в 4 рази.....	
6.6 Крок 6. Виконуємо статичний розрахунок при понижених EJ та GJ_k	
РОЗДІЛ 7. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ ВАРІАНТІВ МОДЕЛІ З ДИСКУ ЗБІРНИХ ПЛИТ	

Крок 7. Аналіз статичних розрахунків комірки плит, що мають понижено
жорсткість (порівнюємо результати етапи «4» та «6»).....

7.1 Аналіз деформативності варіантів.....

7.2 Аналіз напружено-деформованого стану згідно варіантів.....

ВИСНОВКИ.....

Література.....

Додатки.....

Додаток 1. Графічний матеріал (презентація)

Додаток 2 Апробація результатів дослідження

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1 Актуальність теми

Дослідження сумісної роботи будівельних систем і їхніх елементів у пластичній стадії залишається актуальною науковою проблемою, якою займалися різні автори упродовж часу.

У процесі розрахунку конструкцій урахування їхньої спільної роботи є вкрай важливим, оскільки це дозволяє більш точно визначити зусилля та деформації елементів. У статично невизначуваних системах взаємодія елементів спричиняє перерозподіл зусиль як на етапі до утворення тріщин, так і в пластичній стадії роботи матеріалу, зокрема бетону.

Утворення тріщин послаблює переріз і знижує його жорсткісні характеристики. Як відомо, у статично невизначуваних системах перерозподіл зусиль залежить від жорсткості їхніх елементів.

Мета роботи. У роботі проведено аналіз напружено-деформованого стану плитних елементів комірки, складеної з багатопорожнистих збірних плит, за умови зміни лише жорсткості на вигин, а також одночасного зниження жорсткості на вигин і кручення.

Задачі дослідження:

- аналіз літературних джерел щодо методів скінченоелементного моделювання багатопорожнистих плит;
- генерація скінченоелементної моделі комірки перекриття з урахуванням спільної роботи плит;
- проведення статичного розрахунку моделі в лінійній (пружній) постановці;
- статичний розрахунок моделі за умови зниження жорсткості на вигин у плитах, де утворюються тріщини від навантаження;
- статичний розрахунок моделі зі зниженими жорсткостями як на вигин, так і на кручення в плитах із тріщинами;

- аналіз отриманих результатів статичного розрахунку.

Об'єкт дослідження – скінченоелементна модель комірки перекриття, сформована із збірних багатопорожнистих плит у проєктованій будівлі.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан елементів моделі комірки перекриття.

Методи дослідження – скінченоелементне моделювання та проведення числового експерименту.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати досліджень дають змогу:

- оцінити напружено-деформований стан фрагменту диска перекриття в лінійній постановці (при інженерному розрахунку);
- визначити напружено-деформований стан диска перекриття з урахуванням тріщиноутворення (нормальних тріщин від вигину) шляхом зниження початкового модуля пружності та модуля зсуву в кілька разів, що моделює виникнення тріщин;
- порівняти результати розрахунку напружено-деформованого стану при зміні лише жорсткості на вигин та при зміні обох жорсткостей – на вигин і кручення;
- отримати підтвердження важливості врахування в розрахунках не тільки жорсткості на вигин, а й жорсткості на кручення.

Апробація результатів дослідження

Публікація в рамках проведення конференції:

Срібняк Н.М., Галушка С.А., Гопка В.С., Рябоконт Ю.М. Дослідження роботи будівельних систем на прикладі диска перекриття із збірних плит. Міжнародна науково-практична конференція «GLOBAL TRENDS IN SCIENCE AND EDUCATION» 10-12.03.2025 року Київ, Україна

РОЗДІЛ 2

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

Перекриття та покриття є одними з найбільш відповідальних і матеріаломістких елементів будівель, що виконують важливі функції. Зазвичай перекриття розраховуються за методами теорії тонких плит. Тонкими плитами вважаються такі, у яких товщина значно менша за найменший розмір у плані. Для розрахунку таких плит використовуються програмні комплекси, такі як Ansys, Scad, Lira та інші, які реалізують метод скінченних елементів [1].

Незважаючи на досить високі можливості цих програмних комплексів як це описують Гуревич А.Л., Карпенко Н.І., Ярин Л.І. в роботі «Про способи розрахунку залізобетонних плит на ЕОМ з урахуванням процесу тріщиноутворення», їх використання має певний недолік — проектувальник не може «втручатися» в програму. Це може бути необхідно, наприклад, коли досліднику потрібно змінити нелінійні властивості матеріалів, яких немає в програмному комплексі, або змінити жорсткість через тріщиноутворення на основі власних досліджень та інших факторів [1].

Дослідженням розрахунку залізобетонних плит займався М.І. Карпенко, проте не всі аспекти його методики були інтегровані в програмні комплекси для аналізу залізобетонних плит. Розрахунку перекриттів і мостових конструкцій за методами сил і переміщень присвячені праці Б.Є. Улицького та Т.Н. Азізова [4]. У цих дослідженнях розглядаються дискретно-континуальні моделі, однак у них не враховано всі фактори, що впливають на напружено-деформований стан просторово деформованих систем [1]. У дослідженні [2] зазначено, що при розрахунку залізобетонних перекриттів з урахуванням тріщиноутворення доцільно застосовувати метод стрижневої апроксимації. Це обумовлено тим, що вплив різних тріщин на згинальну та крутильну жорсткості залізобетонних стрижневих елементів вивчено досить детально.

У роботі [1] крутильна жорсткість стрижнів, що моделюють поведінку плити, визначена наближено на основі розрахунків у програмних комплексах. При значеннях коефіцієнта Пуассона, відмінних від $\mu = 0.25$, похибка збільшується. Крім того, у дослідженні відсутній метод розрахунку плит, опертих по кутах. У «будівельній механіці» А.Р. Ржаніцина представлено стрижневу апроксимацію плити у вигляді горизонтальних, вертикальних і діагональних стрижнів, що працюють без урахування кручення. Проте в цій роботі розглянуто лише окремий випадок, коли коефіцієнт Пуассона дорівнює $1/3$. Крім того, у залізобетонних плитах після утворення тріщин крутильна і вигинна жорсткості змінюються по-різному, що ускладнює застосування цієї методики [1].

В [1] наведено розроблений метод розрахунку плит за допомогою стержневої апроксимації з усуненням недоліків, що мають місце в роботах, які розглянуті вище.

В результаті дослідження [1] сформульовано наступні висновки:

- 1) Для розрахунку суцільної плити методом апроксимації перехресною системою стрижнів, розташованих у взаємно перпендикулярних напрямках, було отримано формулу для визначення коефіцієнта, що дозволяє встановити крутильну жорсткість стрижнів, за якої така система стає еквівалентною суцільній плиті.
- 2) Перевірка формули шляхом чисельної реалізації методики в програмі Ліра-САПР 2024 продемонструвала майже повний збіг прогинів плити, апроксимованої перехресною стрижневою системою, з прогинами суцільної плити. Водночас значення крутних моментів мають дещо більшу похибку.
- 3) Застосування стрижневої апроксимації значно спрощує врахування утворення тріщин у залізобетонних плитах. У подальшому планується пошук методів, що дозволять зменшити похибку

значень крутних моментів у перехресно-стрижневій системі порівняно із суцільною плитою, без необхідності зменшення кроку сітки стрижнів [1].

Концепція моделювання плитних конструкцій, зокрема ребристих, багатопорожнистих та плит із суцільним перерізом, представлена в роботах Т.Н. Азізова [3,4].

Збірне перекриття, виконане із суцільних або багатопорожнистих плит, може бути подане у вигляді схеми, зображеної на рис. 2.1 [4].

Моделювання такого перекриття у вигляді перехресно-стержневої системи представлено на рис. 3.1 та 5.2.

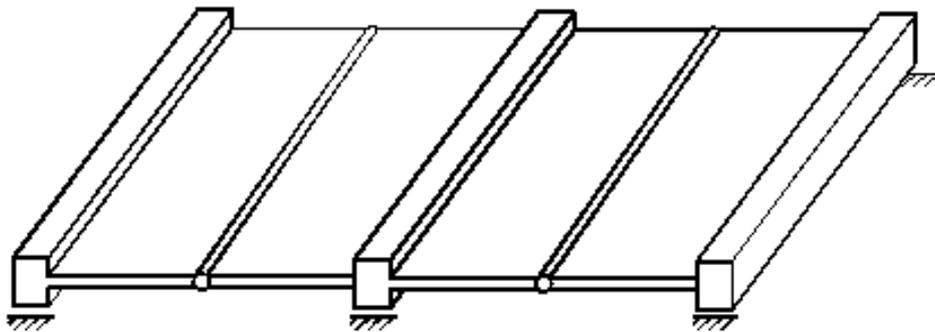


Рис. 2.1 Подання збірного пустотного перекриття у вигляді ребристої системи [4]

У роботі [4] зазначено, що порівняння розрахунків суцільної плити, змодельованої виключно пластинчастими (плоскими) скінченими елементами, з розрахунками у вигляді шарнірно-стержньової перехресної системи (згідно з рис. 2.1) продемонструвало високий рівень збігу результатів.

Враховуючи це, для подальшого зіставлення теоретичних даних із результатами числових розрахунків методом скінченних елементів було обрано перехресно-стержньові системи.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи, використані в цьому дослідженні, були визначені відповідно до його мети та поставлених завдань.

Метод 1. Аналітичний метод.

Оцінка даних про способи й методи моделювання диску із збірних елементів (багатопорожнистих, ребристих плит чи плит суцільного перерізу). Аналіз результатів розрахунків конструкцій збірних залізобетонних перекриттів у програмних комплексах, що реалізують метод скінчених елементів, а також за методами, що є методами аналітичної будівельної механіки. Виконана оцінка цих методів, виявлені недоліки методів.

Метод 2. Метод скінчених елементів у будівельній механіці

Метод скінчених елементів (МСЕ) — це числовий підхід до розрахунку напружено-деформованого стану будівельних конструкцій. Він полягає в поділі складної конструкції на невеликі, простіші за формою елементи (скінченні елементи), для яких записуються рівняння рівноваги. Далі ці рівняння об'єднуються в загальну систему, що дозволяє визначити напруження, деформації та переміщення всієї конструкції.

МСЕ широко використовується для аналізу плит, балок, каркасних і оболонкових конструкцій у будівництві. Він реалізований у програмних комплексах, таких як Ansys, Lira, SCAD, Abaqus, що дає змогу моделювати реальну поведінку споруд з урахуванням нелінійних властивостей матеріалів, тріщиноутворення та інших факторів.

Метод 3. Метод стержньової апроксимації при розрахунку залізобетонних плит.

Автором методу є Т.Н. Азізов [1]. Методика розрахунку суцільних плит базується на апроксимації системою стрижнів, розташованих у взаємно перпендикулярних напрямках. У ній представлено типові рядки системи

диференціальних рівнянь для аналізу такої моделі. Показано, що кількість невідомих у цій системі значно менша, ніж при використанні методу скінченних елементів. Крім того, метод включає процедуру визначення крутильних жорсткостей стрижневої моделі.

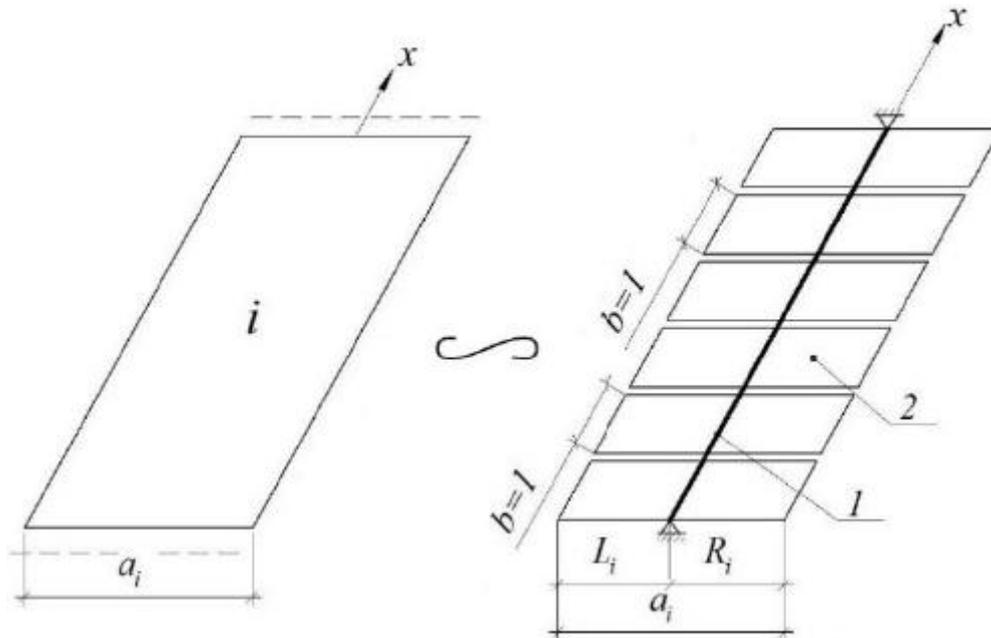


Рис.3.1 Представлення суцільної i -ї смуги системою поздовжніх і поперечних стрижнів

Метод 4. Аналітична обробка результатів розрахунку

Аналіз та обробка результатів розрахунків є важливою складовою етапу проектування та інженерних досліджень. Для цих цілей широко використовується програмне забезпечення Microsoft Excel. Завдяки потужним вбудованим функціям, таким як математичні та статистичні обчислення, обробка великих обсягів даних та автоматизація процесів, Excel дозволяє ефективно обробляти отримані результати. За допомогою таблиць, формул та макросів можна здійснювати складні розрахунки, аналізувати їх, а також створювати графіки та діаграми для наочного представлення результатів. Крім того, можливість експорту даних та інтеграції з іншими програмами робить Excel незамінним інструментом для точного та

швидкого аналізу у багатьох сферах інженерії та наукових досліджень.

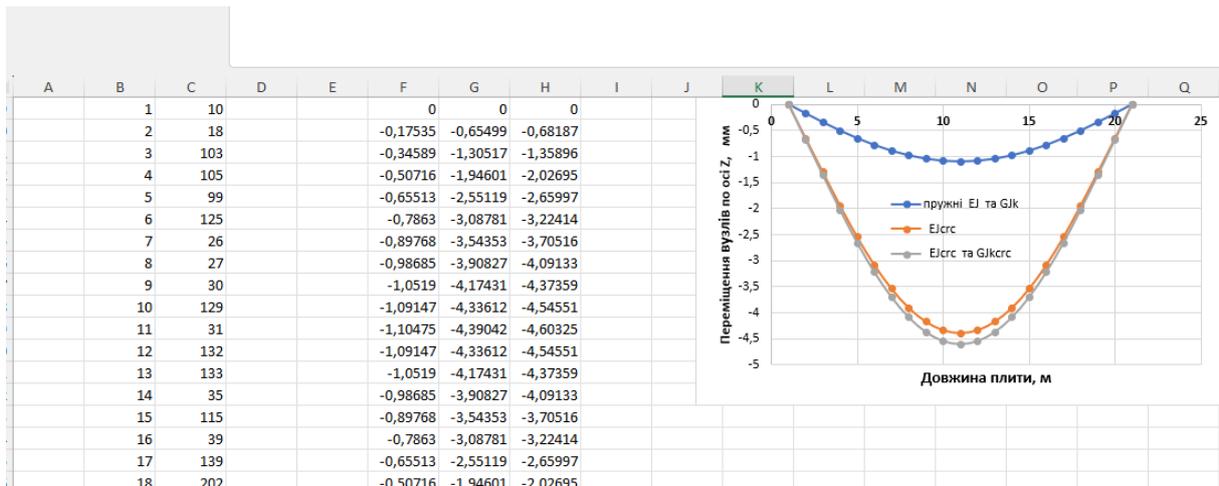


Рис. 3.2 Скрін із поля ПК Microsoft Excel, де відбувається побудова графіків прогинів різних SE моделей ячейки з плит, що досліджується

РОЗДІЛ 4

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ БУДІВЛІ

4.1 Об'ємно-планувальне рішення

Адміністративна будівля заводу нестандартизованого обладнання, площею 2,5 тис. м², розташована в місті Черкаси, виконує функції заводоуправління. Проектована будівля є частиною комплексу виробничих споруд (цехів) заводу нестандартизованого обладнання і розміщена на Хімселищі в Черкасах.



Рис.4.1 Фасад 1-8 будівлі

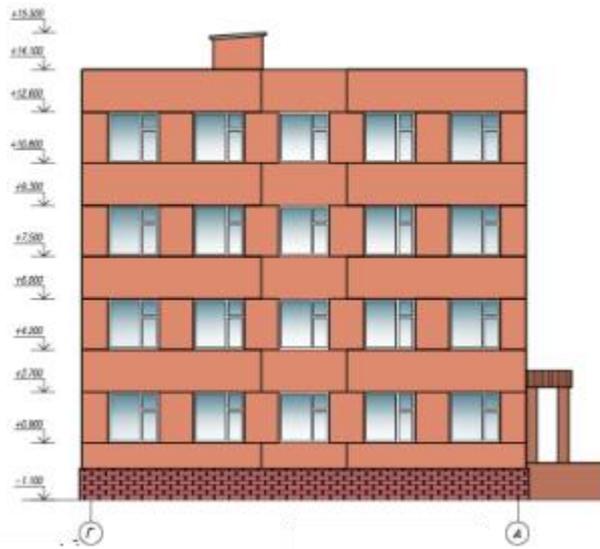


Рис.4.2 Фасад Г-А будівлі

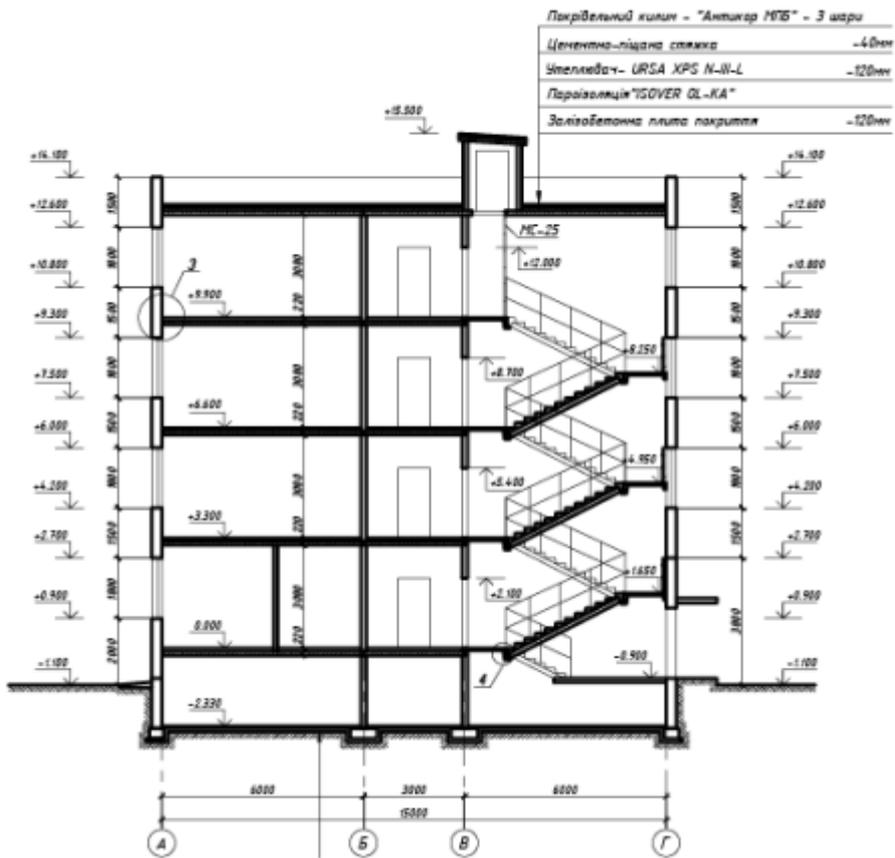


Рис.4.3 Розріз 1-1 будівлі

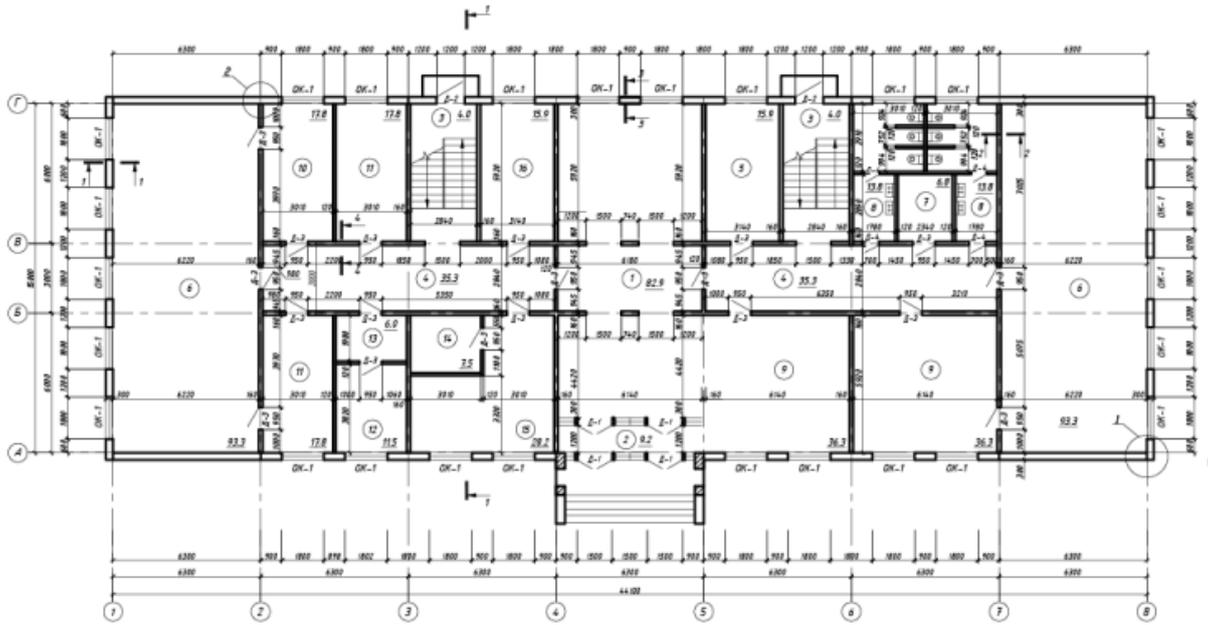


Рис.4.4 План на відм. 0,000

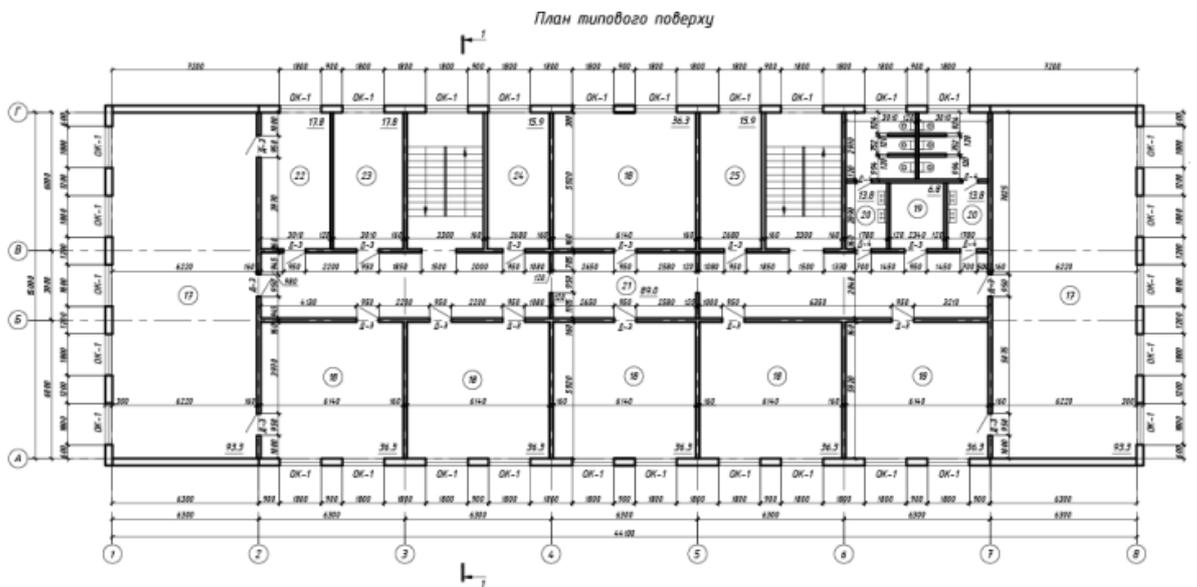


Рис.4.5 План типового поверху

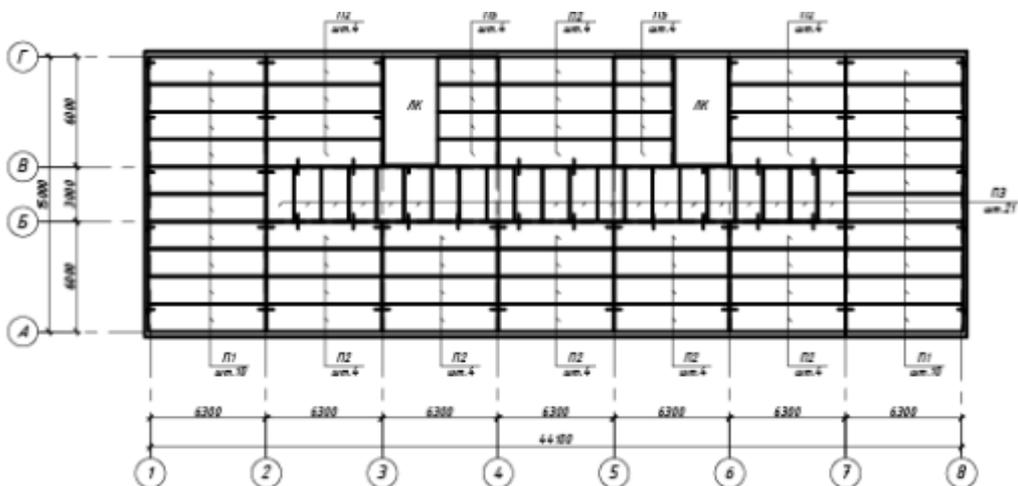


Рис.4.6 План перекриття типового поверху

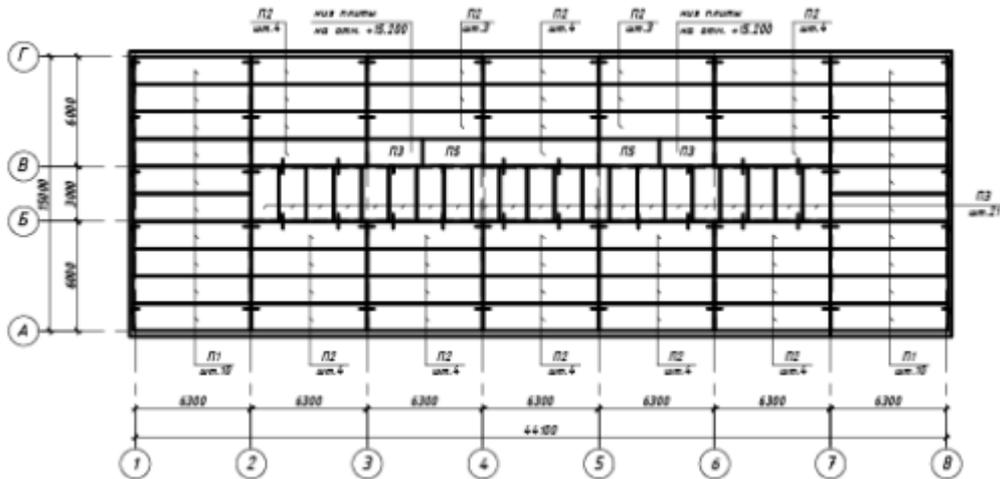


Рис.4.7 План покриття

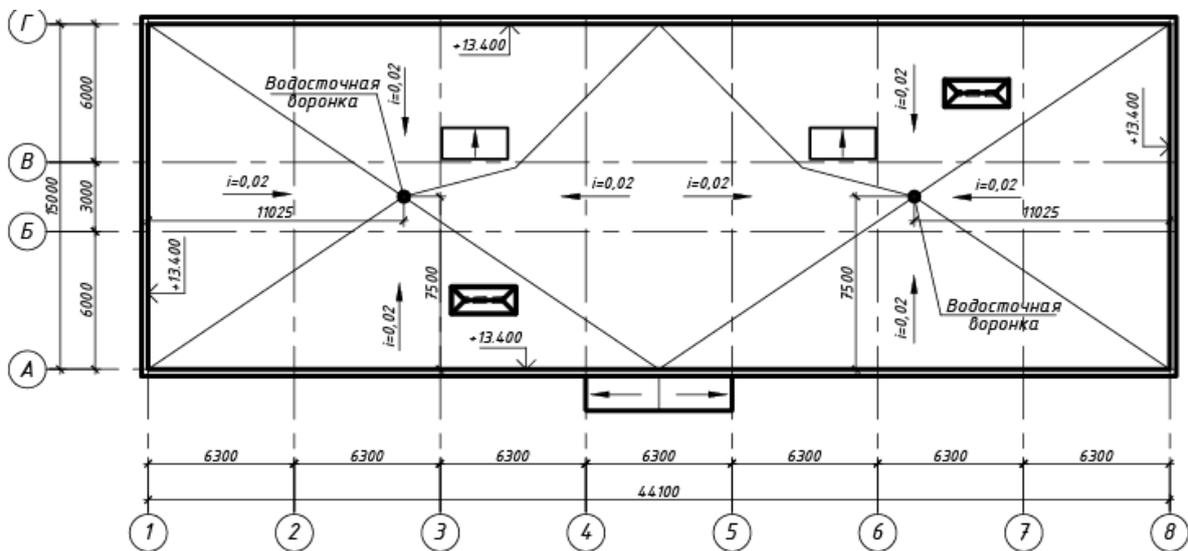


Рис. 4.8 План покрівлі

Проектована будівля має прямокутну форму в плані з розмірами 15×44,1 м. За ступенем довговічності, згідно з [5,9], будівля належить до IV класу. Вона складається з трьох прольотів та оснащена мережею інженерного і санітарно-технологічного обладнання.

4.2 Архітектурно-конструктивне рішення

Прийнято безкаркасну конструкцію будівлі з несучими поздовжніми та поперечними стінами. Загальні розміри будівлі в плані становлять 15,0 м на 44,10 м. Абсолютна висота підлоги першого поверху – 66,800 м. У проекті передбачено чотири надземних поверхи, з висотою кожного поверху 3,3 м

від рівня чистої підлоги нижчого поверху до рівня чистої підлоги верхнього поверху. Будівля має просту, майже кубічну форму з металопластиковими вікнами, вмонтованими в її конструкцію. Вітражні елементи виконують функціональну роль і акцентують головний вхід. Фасади будівлі заводууправління прості, з великою кількістю вікон. Стінові огороження виготовлені із залізобетонних панелей. Покрівля плоска з внутрішнім водостоком і ухилом не більше 2%.

Для стін передбачено *стрічкові залізобетонні фундаменти*, монолітні, з бетону класу С 12/15. Ширина фундаментної плити (подушки) під зовнішні стіни складає 1000 мм, а під внутрішні стіни – 1500 мм. Розрахункове навантаження на фундамент становить в середньому 150,0 кН/м.

Перекрыття спроектоване із збірних залізобетонних плит з круглими порожнинами товщиною 220 мм за серією 1.137.1-9 вип.1. У горизонтальній площині середні (внутрішні) стіни панелей перекрыття з'єднуються за допомогою двох анкерів. Анкери приварюються до монтажних петель і між собою також зварюються. На крайніх (зовнішніх) стінах плити з'єднуються між собою аналогічними анкерами. Один кінець анкера розташовується в шві між кладкою, а інший приварюється до монтажної петлі. Анкерування панелей перекрыття здійснюється таким чином. Після монтажу анкерів монтажні петлі відгинаються. Для захисту від корозії анкери покривають цементним розчином марки М 100.

Покриття спроектовано з збірних залізобетонних плит товщиною з круглими порожнинами за серією.

Покрівля виконана за допомогою бітумно-полімерної самозатвердіваючої мастики «Антикор МПБ».

Зовнішні стіни виконані з тришарових залізобетонних панелей з утеплювачем загальною товщиною 300 мм. Теплоізоляція складається з універсальних плит, виготовлених зі скловолокна, паропроникних,

стиснутих в об'ємі. Це легкий і пружний матеріал, призначений для використання в перегородках та каркасних стінах.

Внутрішні стіни складаються з залізобетонних панелей товщиною 160 мм.

РОЗДІЛ 5

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ЯЧЕЙКИ З ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ

5.1 Розрахункова модель фрагменту диска перекриття з плит

За допомогою методу скінченних елементів та програмного комплексу Ліра-САПР 2024 створено скінченоелементну модель фрагменту диска перекриття, сформованої з багатопорожнистих плит покриття. На рис.5.1 представлено фрагмент (комірку) диска перекриття, утвореного збірними плитами. Даний фрагмент планується дослідити числовим методом.

Вибір способу моделювання розрахункової схеми визначається, перш за все, метою, поставленою в конкретній задачі. Точність отриманих результатів статичного розрахунку значною мірою залежить від правильності побудови розрахункової схеми, яка має відповідати специфіці дослідження. Крім того, дискретизація моделі на скінчені елементи також впливає на точність розрахункових результатів.

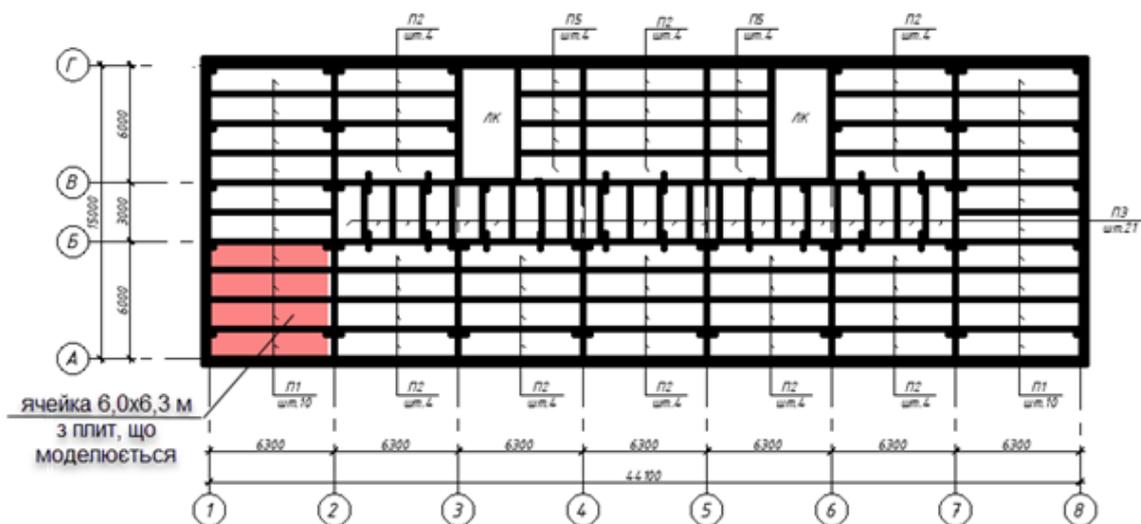


Рис.5.1 Схема розташування елементів перекриття з багатопорожнистих плит

У роботах [3,4] продемонстровано можливість моделювання збірного диска перекриття за допомогою стержневої системи, зображеної на рис. 5.2.

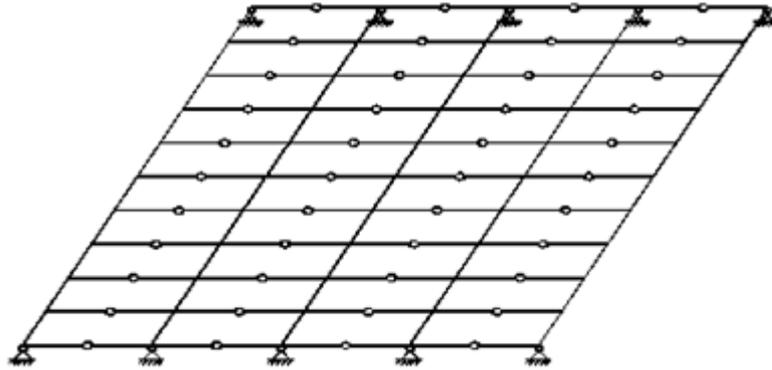


Рис. 5.2 Розрахункова схема збірного перекриття в вигляді перехресно-стержневої системи [4]

Відомо, що навіть при рівномірному (симетричному) навантаженні на диск перекриття у його крайових елементах виникають крутні моменти, які можуть досягати значних значень.

Ефект виникнення крутних моментів стає ще більш помітним при нерівномірному або локальному (як розподіленому по лінії, так і сконцентрованому на площі) навантаженні плитної системи. Цю схему можна застосувати при розрахунку дискової системи плит, що спираються на опори (стіни) торцевими сторонами. Спільна робота збірних плит у складі диска перекриття забезпечується завдяки замонолічуванню шпоночних плитних швів. У такому випадку під навантаженням залучаються всі плити, що складають диск перекриття, і відбувається перерозподіл навантаження між ними. Шпоночні шви змодельовані через об'єднання переміщень уздовж осі Z вузлів сусідніх стержнів з підвищеною жорсткістю. З урахуванням важливості методики моделювання збірних плит за допомогою стержневих скінчених елементів (СЕ) згідно з [4], буде створена скінченоелементна розрахункова модель комірки перекриття, як показано на рис. 5.3.

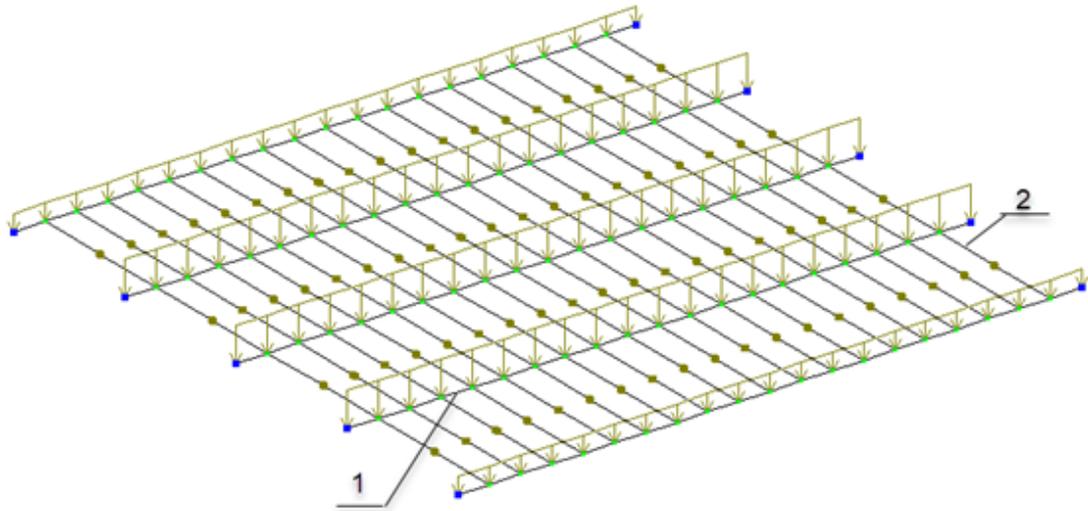


Рис. 5.3 Скінченоелементна розрахункова схема збірних залізобетонних багатопорожнистих плит: стержень з приведеним поперечним перерізом багатопорожнистої плити-1; стержень з підвищеною жорсткістю-2

Комірка змодельована з 4-х багатопорожнистих плит розмірами 1,5 x 6,0 м і висотою перетину 220 мм. Плити обрані за серією 1.137.1-9 вип.1 (рис. 5.4).

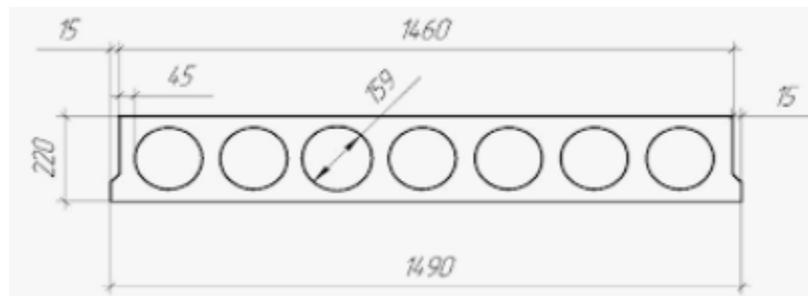
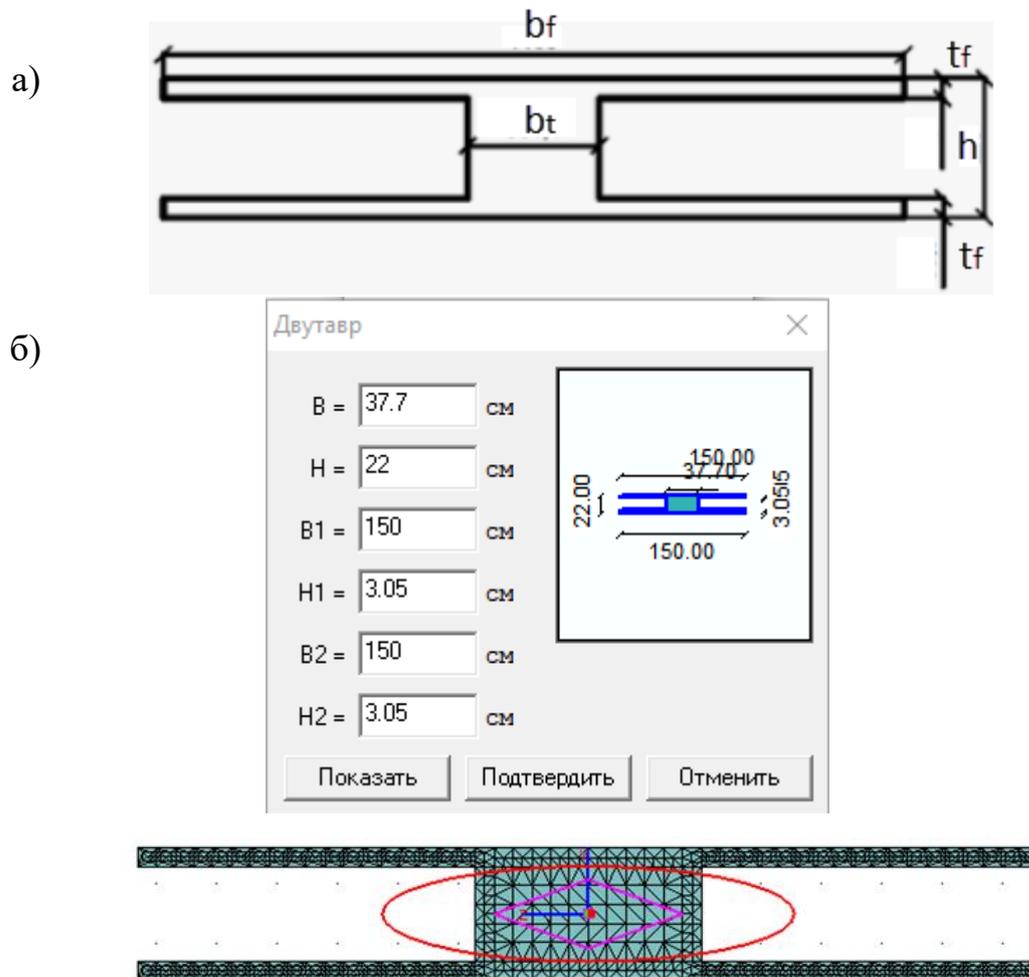


Рис. 5.4 Переріз збірної багатопорожнистої плити за серією 1.137.1-9 вип.1

Бетон плит має клас С20/25 з наступними характеристиками [8]:

$$f_{cd} = 14,5 \text{ МПа}, f_{ctk,0,05} = 1,5 \text{ МПа} = 0,15 \text{ кН/см}^2, E_{cd} = 23 \text{ ГПа} = 2,3 \cdot 10^4 \text{ МПа} = 2\,300 \text{ кН/см}^2$$

Для визначення жорсткісних характеристик стержневого скінченого елемента необхідно перетворити переріз, зображений на рис. 5.4, на тавровий та обчислити його характеристики жорсткості за допомогою розрахункового модуля «Конструктор перерізів» (рис.5.5).



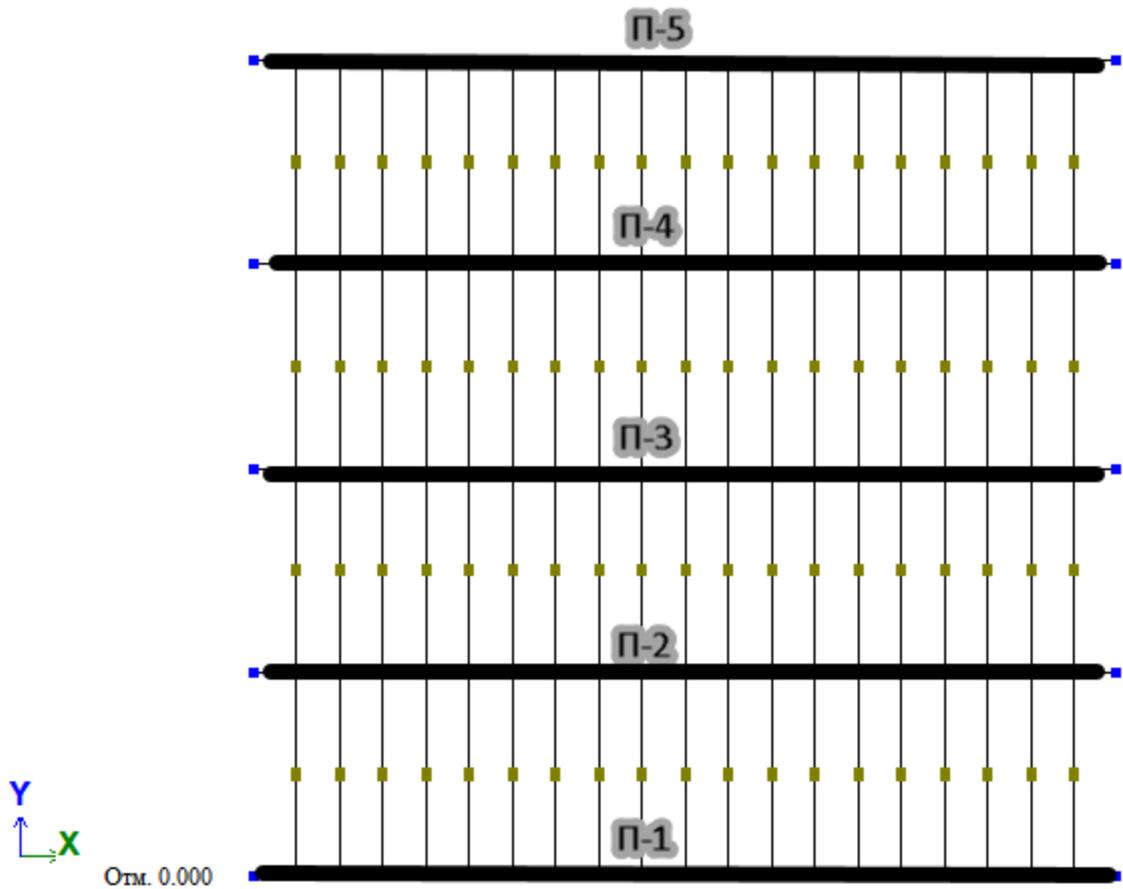


Рис. 5.6 Плити (П1, П2, П3, П4, П5), напружено-деформований стан яких підлягає аналізу

Жорсткісні характеристики приведенного перерізу плити представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Пружні характеристики жорсткості приведенного таврового перерізу (тип жорсткості №1 для елементів П1-П5)

№ з/п	Назва параметру	Позначення	Значення величини	Одиниця виміру
1	Модуль пружності матеріалу	E	2.34455e+006	т/м ²
2	Коефіцієнт Пуассона матеріалу	v	0.2	
3	Модуль зсуву матеріалу	G	976896	т/м ²

4	Щільність матеріалу	Ro	2.5	т/м ³
5	Момент опору вигину щодо осі Y (Z+)	Wy+	23821.6	см ³
6	Момент опору вигину щодо осі Y (Z-)	Wy-	23821.6	см ³
7	Пластичний момент опору щодо осі Y'	Wy,pl	39962.1	см ³
8	Осьова жорсткість	EF	355066	т
9	Згинальна жорсткість щодо осі Y	Ely	41888.2	т·м ²
10	Жорсткість на крутіння	GI	866.49	т·м ²

Як з'єднувальні елементи обрані стержні прямокутного перерізу 31,5 х 22,0 см, з модулем пружності, збільшеним у 10 разів порівняно з початковим модулем пружності бетону. Жорсткісні характеристики для стержневих елементів другого типу наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Характеристики жорсткості стержневих СЕ другого типу

№ з/п	Назва параметру	Позначення	Значення величини	Одиниця виміру
1	Модуль пружності матеріалу	E	2.34455e+007	т/м ²
2	Коефіцієнт Пуассона матеріалу	v	0.2	
3	Ширина перерізу	B	31,5	см
4	Висота перерізу	Ro	22	см

Граничні умови: для скінченоелементної схеми: плити шарнірно спираються на стіни з обох торцевих сторін.

Навантаження, яке перераховане з рівномірно розподіленого по площі ячейки перекриття в осях 1-2 та А-Б на погонне, становить: 0,705 т/м для середніх плит і $q_1 = 0,352$ т/м для крайніх плит (рис. 5.7) [9].

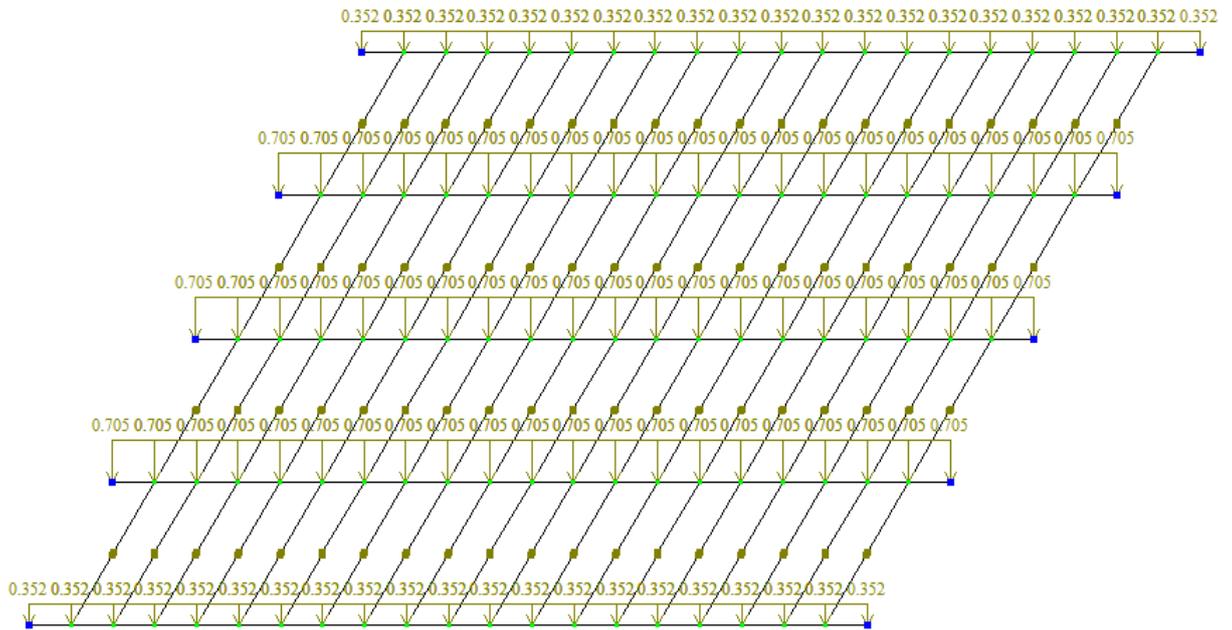


Рис. 5.7 Завантаження рівномірно-розподіленим навантаженням СЕ схеми

РОЗДІЛ 6

АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Алгоритм реалізації числового дослідження (експерименту) наведено в роботі [11].

Таблиця 6.1 Алгоритм виконання числового експерименту для схеми за рис.5.7

Крок 1	Пружній статичний розрахунок системи
Крок 2	обчислення M_{crc} - моменту утворення тріщин
Крок 3	На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{crc}$ утворюються тріщини й понижуємо лише EJ в 4 рази
Крок 4	Виконуємо статичний розрахунок при пониженій лише EJ

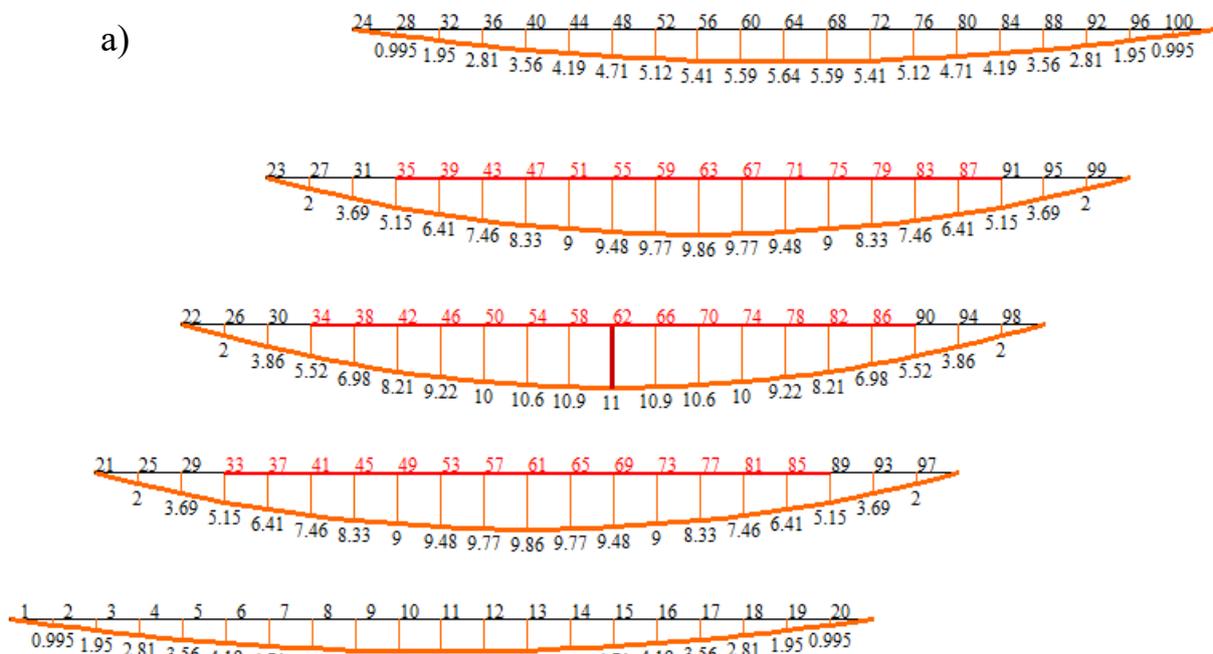
Крок 5	На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{crс}$ утворюються нормальні тріщини тоді понижуємо як EJ , так GJ_k в 4 рази
Крок 6	Виконуємо статичний розрахунок при понижених EJ та GJ_k
Крок 7	Порівнюємо результати кроків «4» та «6»

Згідно з алгоритмом, представленим у таблиці 6.1, детально опишемо всі етапи числового експерименту.

Крок 1. Пружний статичний розрахунок системи

Цей розрахунок дозволяє визначити максимальні моменти вигину, що виникають в плитах, і порівняти їх з моментом, при якому відбувається тріщиноутворення.

На рис. 6.1 представлені епюри внутрішніх зусиль у плитах під час розрахунку системи з пружними жорсткостями.



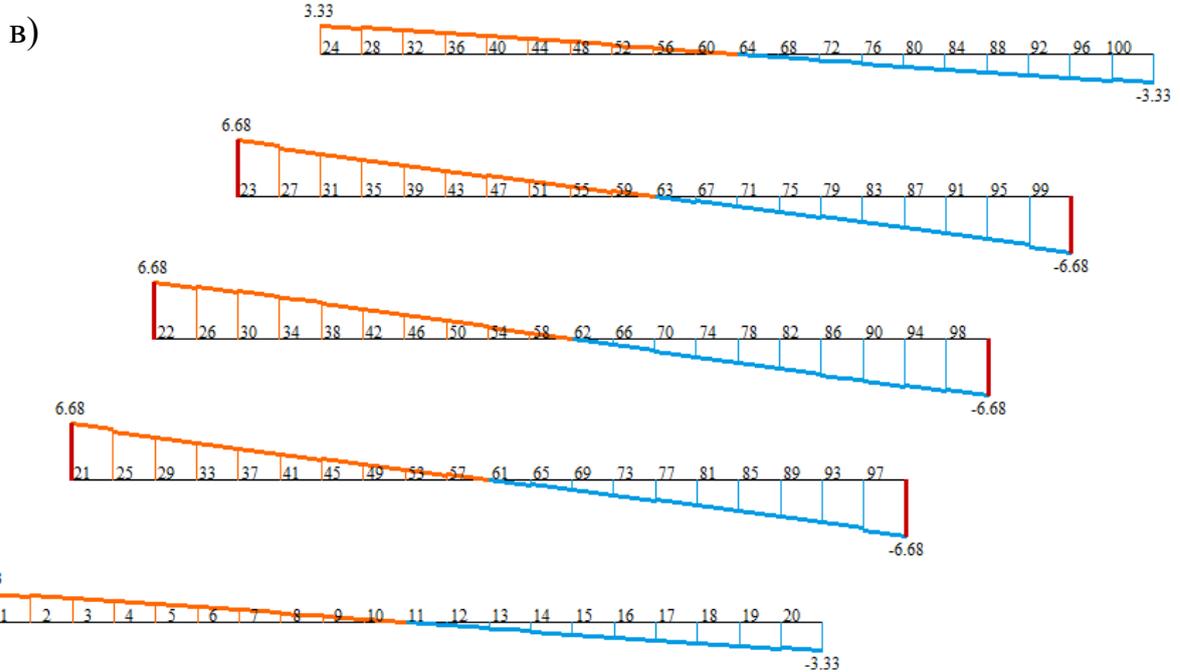
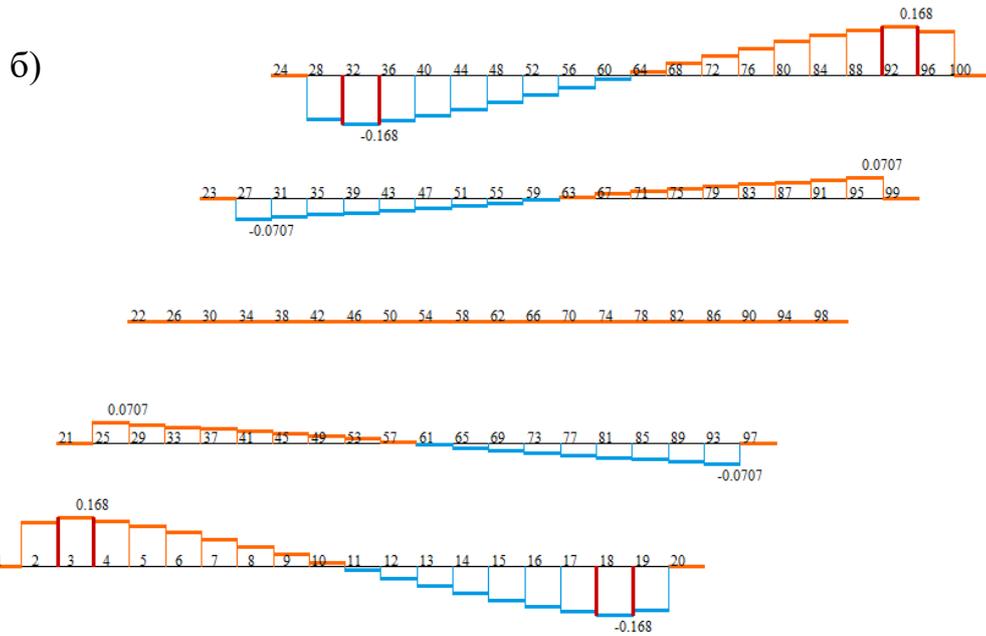


Рис.6.1 Внутрішні зусилля в плитах вигину при пружних жорсткостях: епюри моментів вигину при EJ – а; епюри крутних моментів вигину при GJ_k – б; епюри поперечних сил при EJ – в; СЕ в яких $M_{max} > M_{crc}$ інвертовано червоним –а

Крок 2- обчислення M_{crc} - моменту утворення тріщин

Момент тріщиноутворення визначимо згідно формули 6.1:

$$M_{crc} = f_{ctk} \cdot W_{pl} \quad (6.1)$$

де W_{pl} – момент опору перерізу під час роботи конструкції в пластичній стадії деформації:

$$W_{pl} = W_{upr} \cdot 1,5 \quad (6.2)$$

Момент опору перерізу W_{upr} для пружної стадії роботи конструкції можна визначити за формулою (6.3) або прийняти згідно таблиці 2.1:

$$W_{upr} = \frac{J}{h/2} \quad (6.3)$$

Визначимо момент тріщиноутворення для даної системи M_{crc} :

$$M_{crc} = f_{ctk} \cdot W_{pl} = 0,15 \cdot 39506,1 = 5925,92 \text{ кН}\cdot\text{см} = 59,26 \text{ кН}\cdot\text{м} = 6,04 \text{ тм}$$

Отже, аналізуючи епюри моментів $M_{y,upr}$ (рис. 6.1,а), можна визначити ділянки плит, у перерізах яких максимальний момент вигину від зовнішнього навантаження перевищує допустимий. На рис. 6.1,а відрізки плит, позначені інвертованим червоним кольором, мають моменти вигину від зовнішнього навантаження, що перевищують момент тріщиноутворення.

Крок 3 На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$ утворюються тріщини та знижуємо лише EI в 4 рази

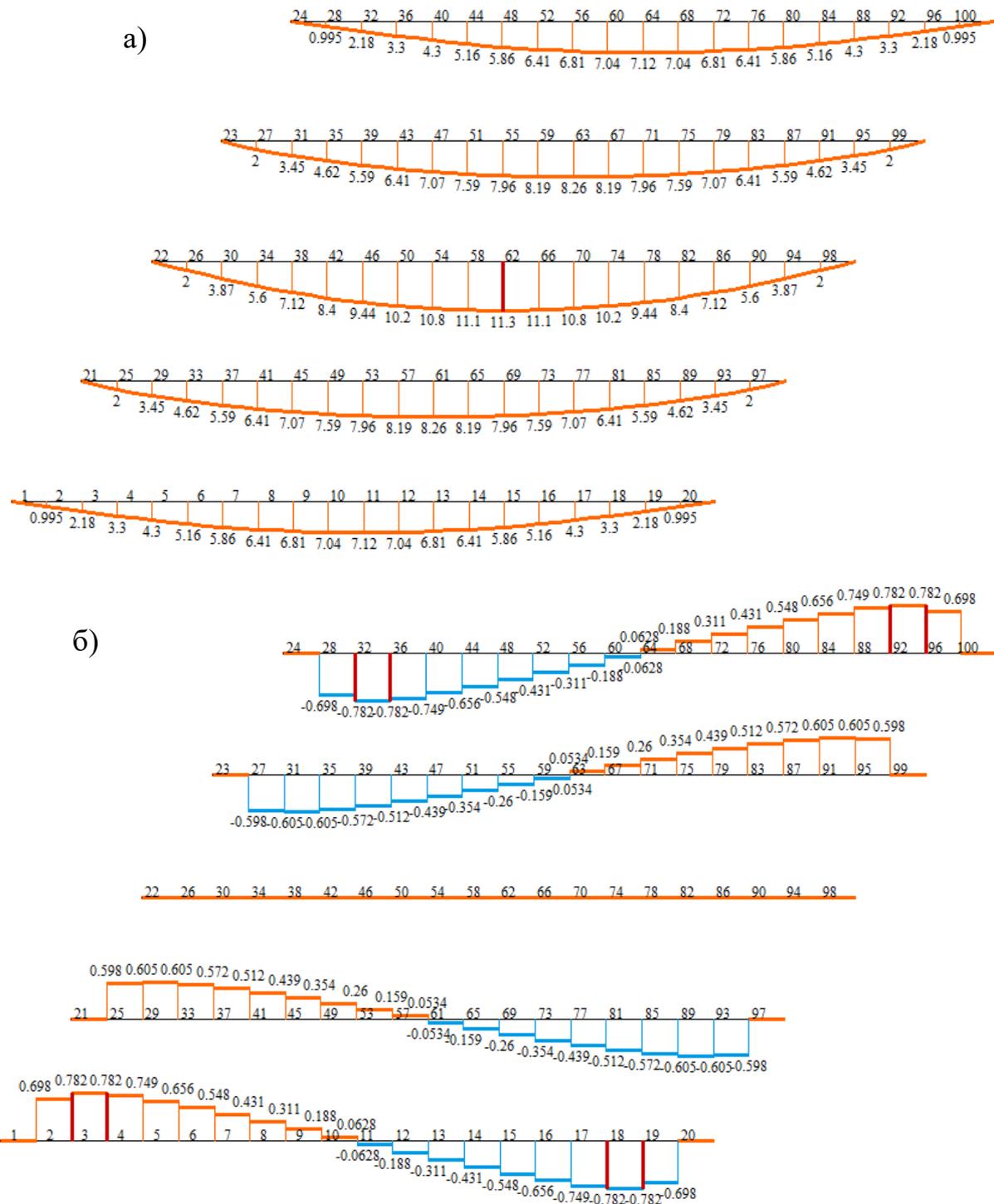
Отже, відповідно до схеми, де виникають моменти $M_{y,max}$, що перевищують значення M_{crc} , зменшимо величину жорсткості на вигин $EI_y = 41888,2$, знизивши значення $\text{т}\cdot\text{м}^2$ в 4 рази для елементів, де виконуються відповідні умови:

$$M_{y,max} > M_{crc} \quad (6.4)$$

Призначимо нові величини жорсткосних параметрів при вигині для елементів, що виділено червоним за рис.6.1, а.

Крок 4 - Виконуємо статичний розрахунок при зниженій жорсткості лише на вигин

Виконуємо статичний розрахунок для системи з пониженою жорсткістю на вигин, що виникає через тріщиноутворення. Результати статичного розрахунку представлені на рис. 6.2.



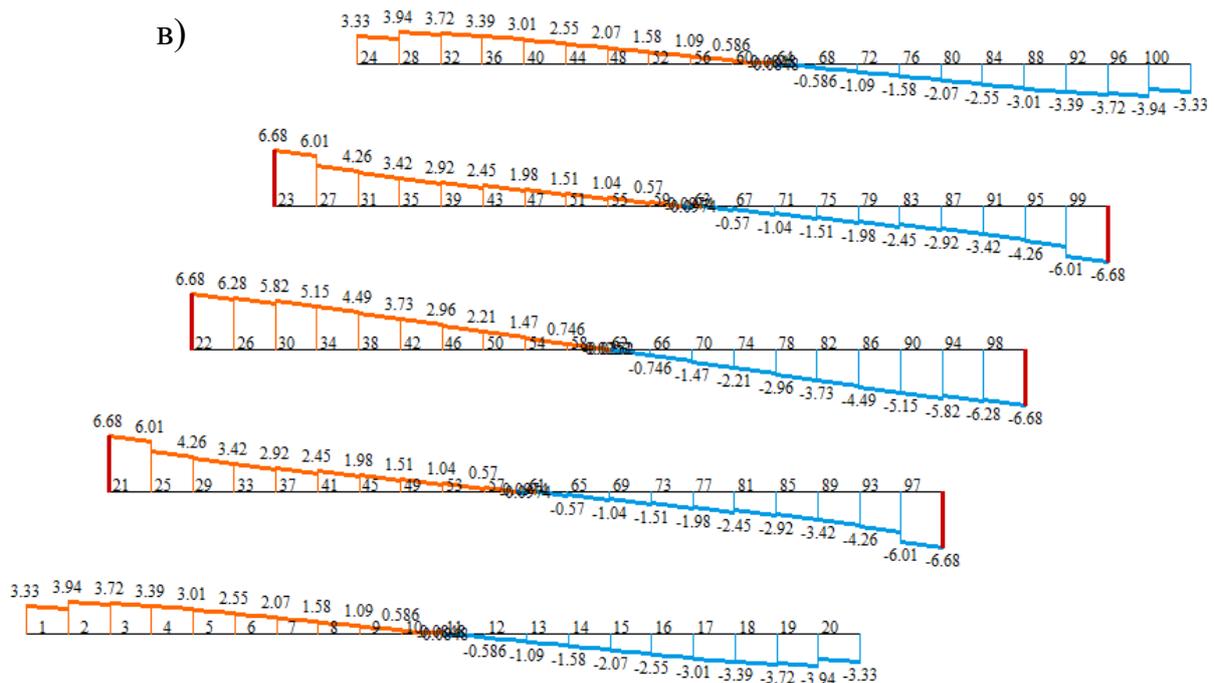


Рис. 6.2 Внутрішні зусилля в плитах вигину після **пониження в 4 рази тільки жорсткості при вигині EJ** : епюри моментів вигину EJ – а; епюри крутних моментів вигину GJ_k – б; епюри поперечних сил – в

Крок 5. На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$, де виникають нормальні тріщини, знижуємо як EJ , так GJ_k в 4 рази

Отже, за схемою виникнення $M_{y,max}$, які є більшими за величину M_{crc} . Зменшимо величину жорсткості на вигин, понизивши значення $EI_y = 41888,2 \text{ тм}^2$ та $GJ_k = 866,49 \text{ тм}^2$ в 4 рази, для стержнів, де виконується умови:

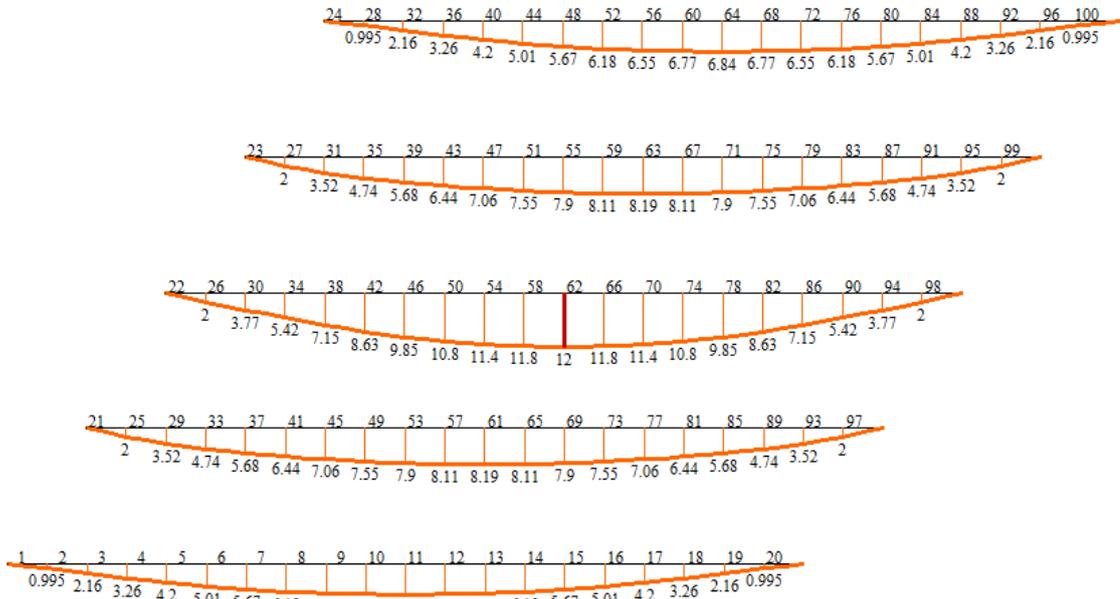
$$M_{y,max} > M_{crc} \quad (6.5)$$

Присвоїмо нове значення жорсткості при вигині та при крученні для стержнів, що виділено червоним за рис.6.1, а.

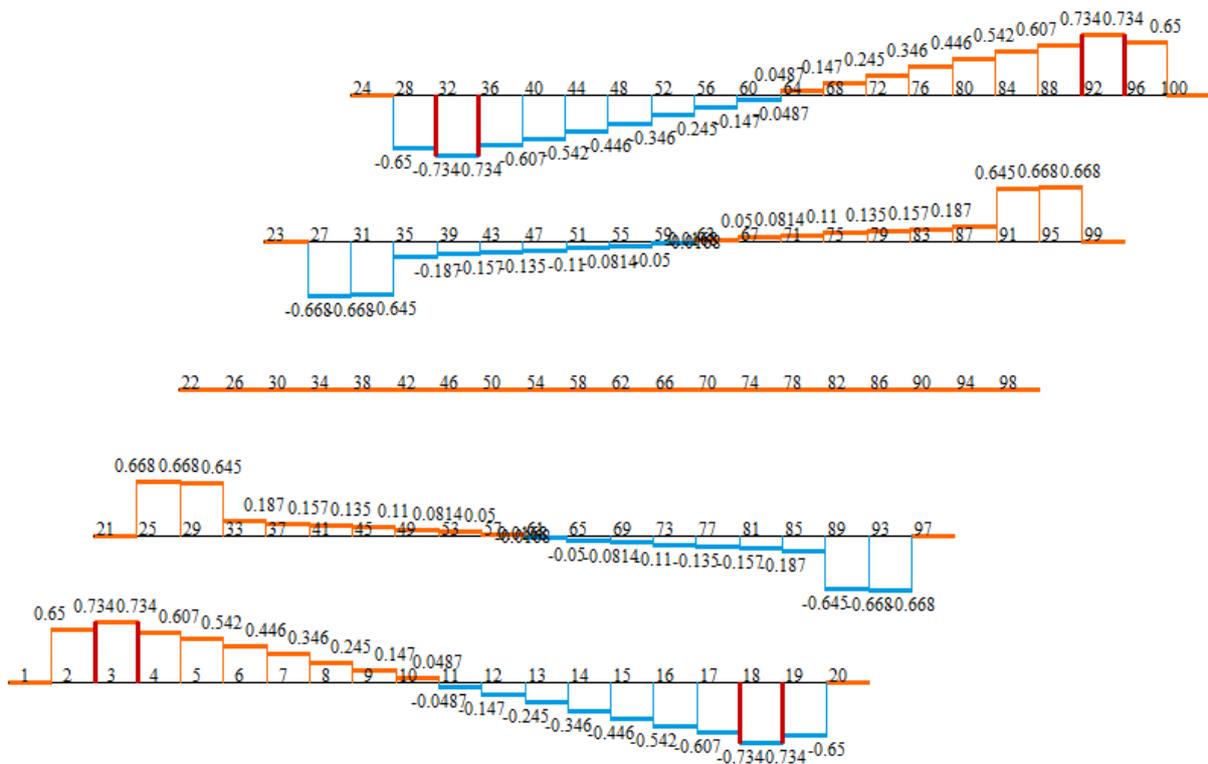
Крок 6. Виконуємо статичний розрахунок при понижених EJ та GJ_k

Проведемо статичний розрахунок для розрахункових моделей із зменшеними в результаті утворення тріщин обома типами жорсткостей – як

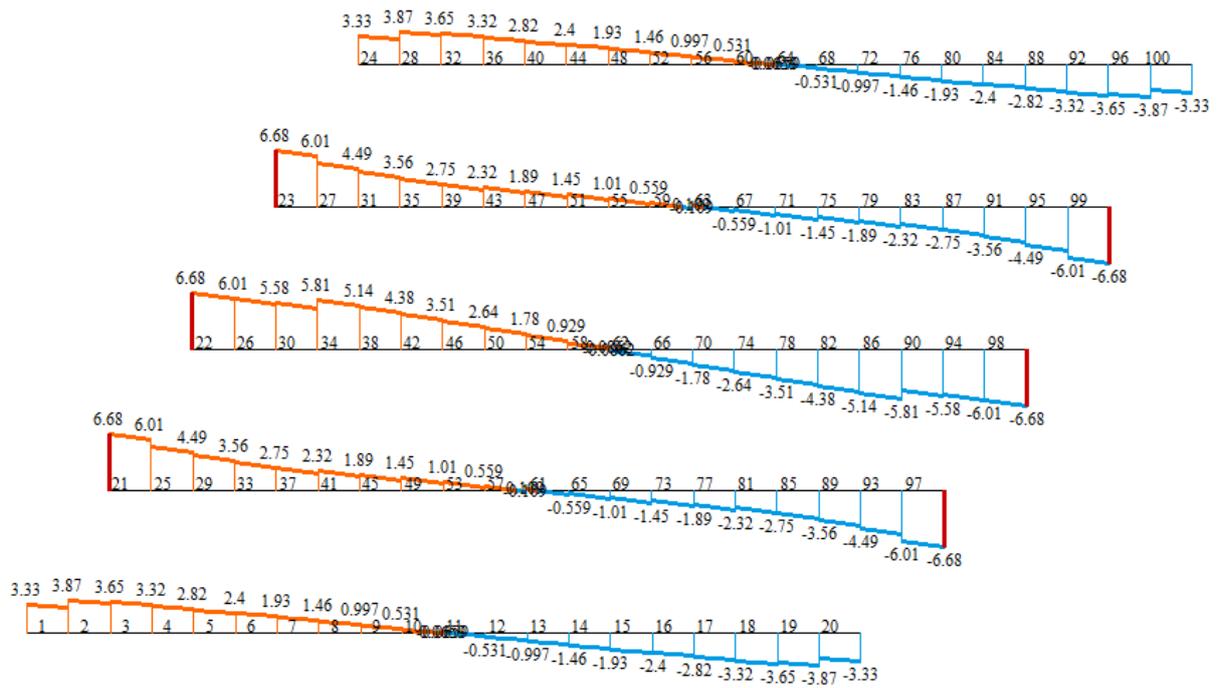
при жорсткості на вигин EJ так й при жорсткості на кручення GJ_k . Дані статичного розрахунку приведено на рис. 6.3.



a)



b)



в)

Рис.6.3 Внутрішні зусилля в плитах вигину після пониження в 4 рази жорсткості при вигині EJ та при крученні GJ_t : епюри моментів вигину EJ - а; епюри крутних моментів вигину GJ_k – б; епюри поперечних сил – в

РОЗДІЛ 7

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ ВАРІАНТІВ МОДЕЛІ З ДИСКУ ЗБІРНИХ ПЛИТ

Крок 7. Аналіз статичних розрахунків комірки плит, що мають понижену жорсткість (порівнюємо результати етапи «4» та «6»)

Для подальшого аналізу результатів приймемо наступні позначення (табл.7.1):

Таблиця 7.1- Варіанти, що прийнято для аналізу

Номер варіанту	Характеристика системи
варіант 1	розрахунок з пониженою жорсткістю в EJ в 4 рази для CE , в яких $M_{y,max} > M_{cr,c}$;
варіант 2	розрахунок з пониженою жорсткістю в EJ в 4 рази для CE , в яких $M_{y,max} > M_{cr,c}$;
варіант 3	розрахунок з пониженою жорсткістями в EJ та GJ_k в 4 рази для CE , в яких $M_{y,max} > M_{cr,c}$;

7.1 Аналіз деформативності варіантів

Результати прогинів фрагменту з диску плит при пружному характері роботи й з урахуванням виникнення тріщин демонструють збільшення вертикальних прогинів до 5 разів після утворення тріщин. На рис. 7.1 представлені деформовані схеми фрагменту з диску плит перекриття для варіантів 1-3.

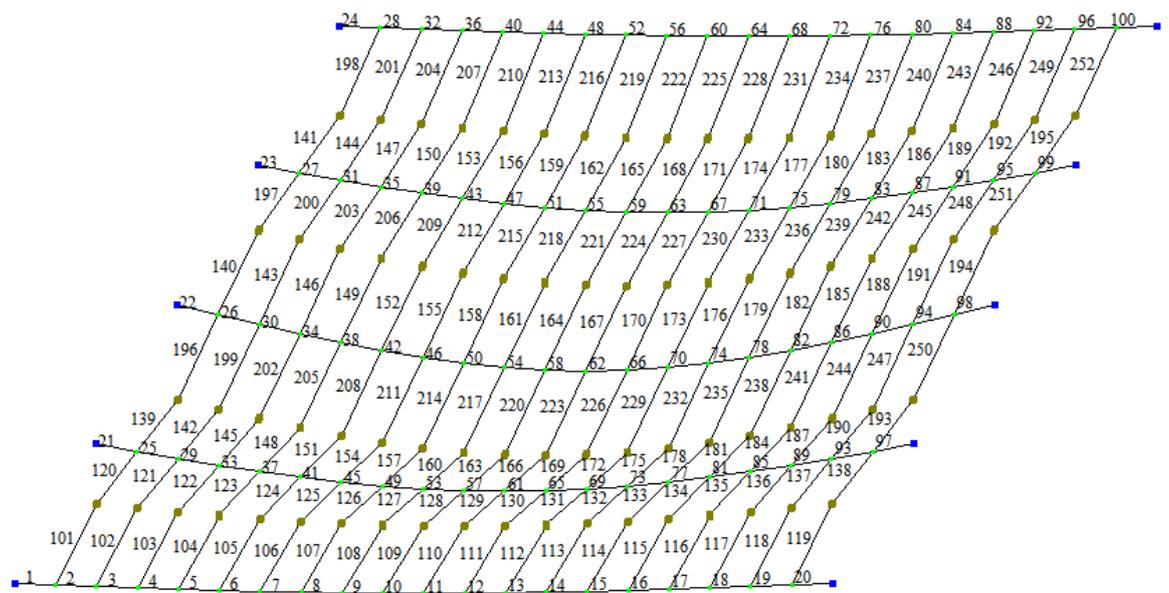
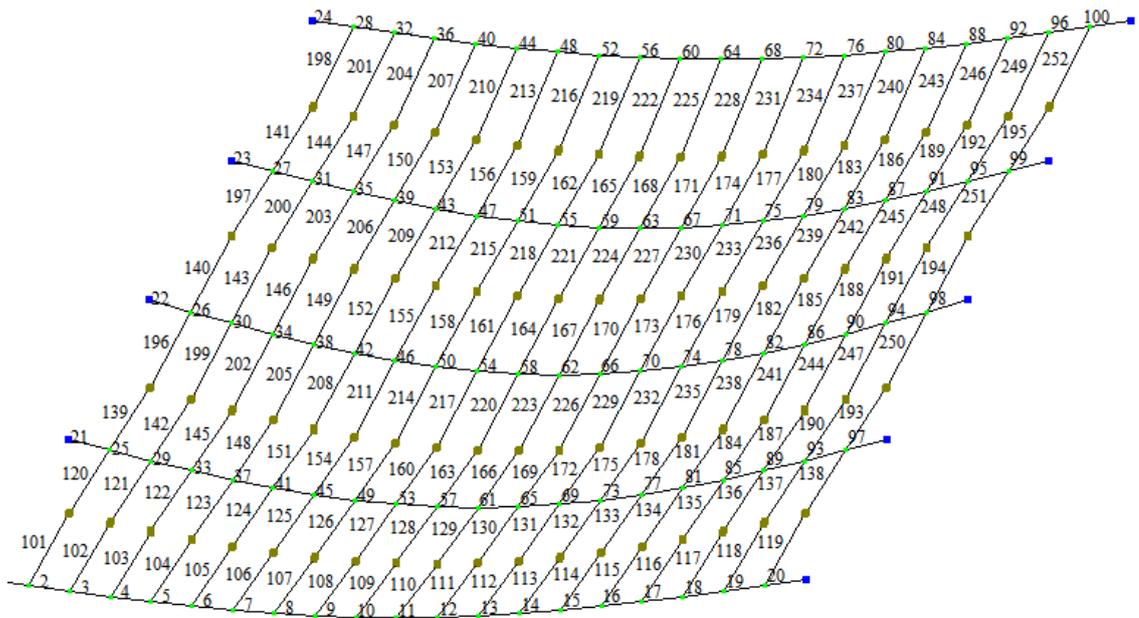


Рис.7.1 Деформована схема для моделі, де жорсткості прийнято з урахуванням початкового модуля пружності бетону E_0 - а; деформована схема для моделі з пониженими жорсткостями в EJ та GJ_k в 4 рази

В таблиці 7.1 наведено дані вертикальних переміщень вузлів СЕ за трьох варіантів розрахунку.

Таблиця 7.1 Вертикальні прогини плити (максимальні) за різних типів
розрахунку

№ вузла за порядком	№ вузла в СЕ схемі	Варіант розрахунку 1	Варіант розрахунку 2	Варіант розрахунку 3
Переміщення вузлів по осі Z, мм				
1	10	0	0	0
2	18	-0,17535	-0,65499	-0,68187
3	103	-0,34589	-1,30517	-1,35896
4	105	-0,50716	-1,94601	-2,02695
5	99	-0,65513	-2,55119	-2,65997
6	125	-0,7863	-3,08781	-3,22414
7	26	-0,89768	-3,54353	-3,70516
8	27	-0,98685	-3,90827	-4,09133
9	30	-1,0519	-4,17431	-4,37359
10	129	-1,09147	-4,33612	-4,54551
11	31	-1,10475	-4,39042	-4,60325
12	132	-1,09147	-4,33612	-4,54551
13	133	-1,0519	-4,17431	-4,37359
14	35	-0,98685	-3,90827	-4,09133
15	115	-0,89768	-3,54353	-3,70516
16	39	-0,7863	-3,08781	-3,22414
17	139	-0,65513	-2,55119	-2,65997
18	202	-0,50716	-1,94601	-2,02695
19	117	-0,34589	-1,30517	-1,35896
20	120	-0,17535	-0,65499	-0,68187
21	14	0	0	0

Мозаїку переміщень вузлів моделі вздовж вертикальної осі Z при різних варіантах (за табл. 7.1) наведено на рис.7.2.

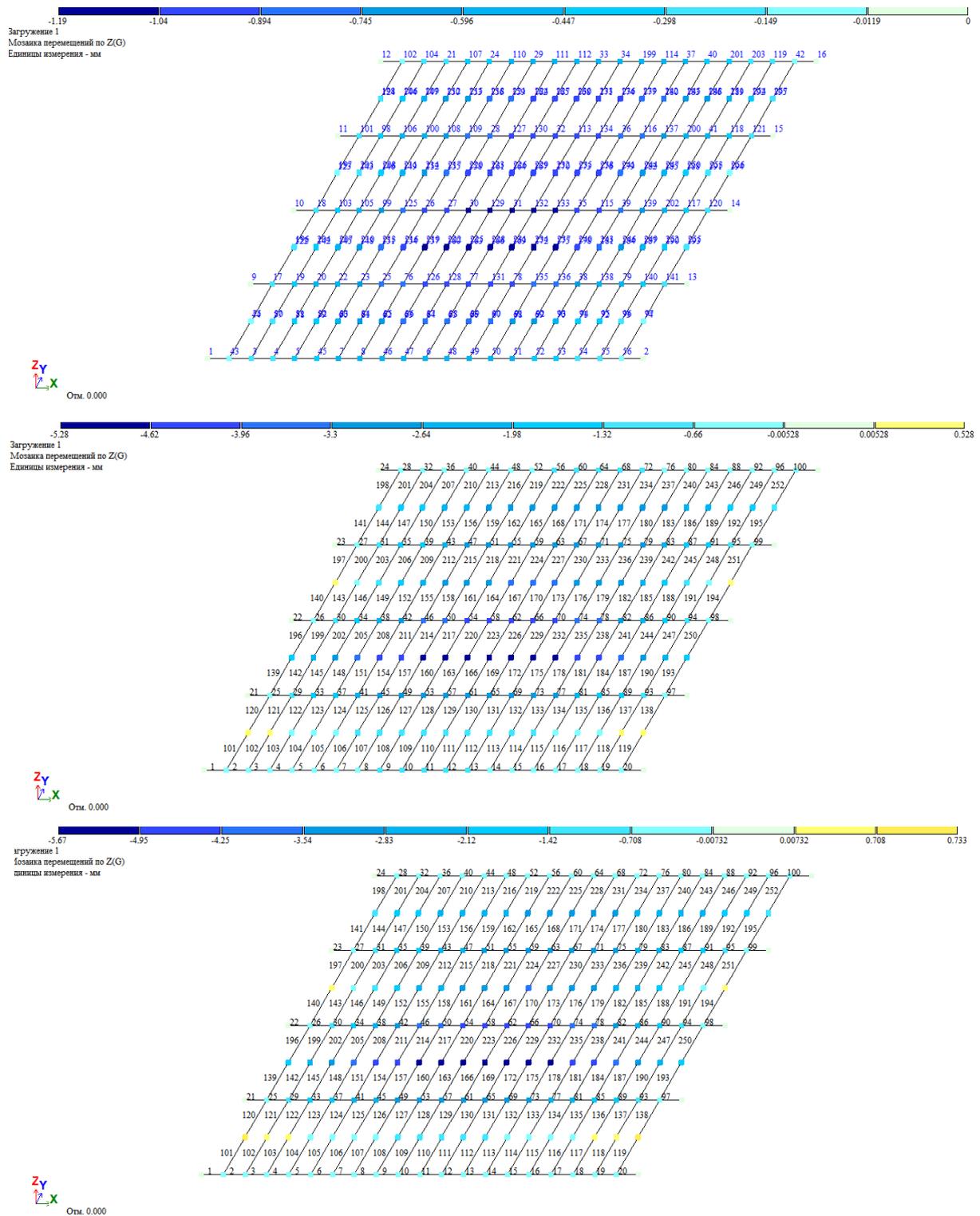


Рис. 7.2 Мозаїка переміщень вузлів схеми по осі Z для – для моделі, де жорсткості прийнято з урахуванням початкового модуля пружності

бетону $E_0 - a$; мозаїка переміщень вузлів схеми по осі Z для моделі, з пониженою жорсткістю $EJ - b$; та для моделі, з пониженою жорсткістю GJ_k

На рис. 7.3 зображено максимальні значення переміщень f_{Zmax} вузлів плити вздовж осі Z для усіх трьох моделей (типів розрахунку) (табл.7.1).

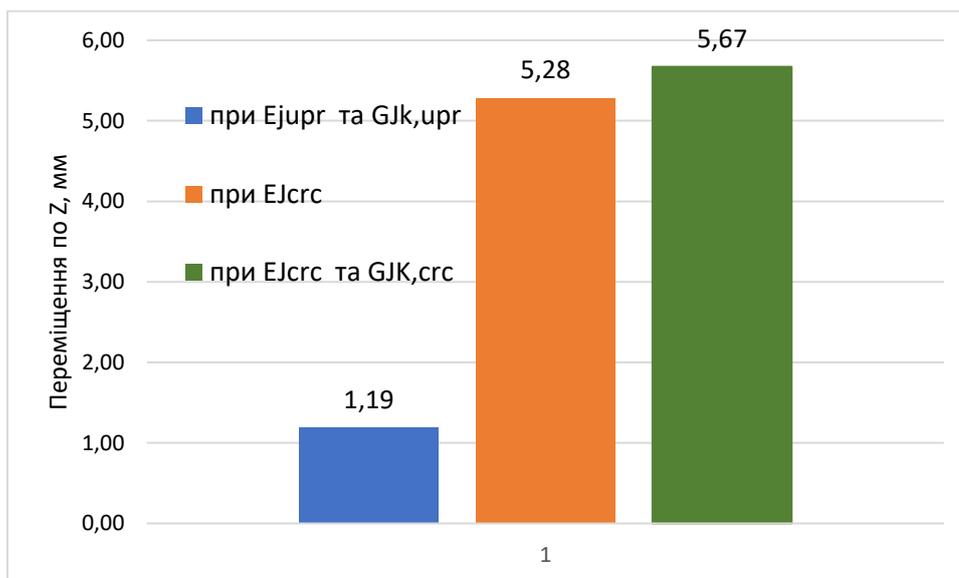


Рис. 7.3 Максимальні переміщень f_{Zmax} вузлів конструкції по осі Z для трьох моделей (за табл. 7.1)

На рис.7.4 зображено графік переміщень вузлів для конструкції плити, деформації якої є найбільшими з-поміж трьох варіантів, що порівнюються.

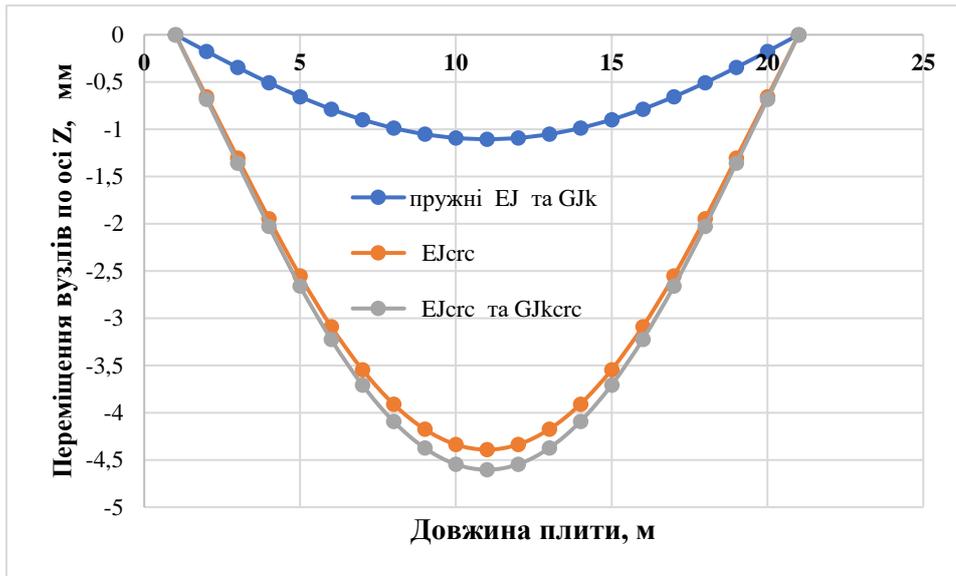


Рис. 7.4 Графік переміщень вузлів для плити, що деформується найбільше для 3-х варіантів порівняння

7.2 Аналіз напружено-деформованого стану згідно варіантів

В таблиці 7.2 приведено дані щодо згинальних моментів в перетинах плити по її довгій стороні. З метою аналізу розглянемо найбільш напружений елемент – це плита П-3 (див. рис. 6.1, 6.2, 6.3).

Таблиця 7.2 Максимальні моменти вигину в перерізах плити П-3 по її довжині

Відстань від початку довжини плити, м	Моменти вигину M_y , [тм]				
	M_y при пружних EJ та GJk	M_y [тм] при $EJ_{crс}$	%	M_y [тм] при $EJ_{crс}$ та $GJk_{crс}$	%
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,315	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00
0,63	3,86	3,87	0,39	3,77	2,21

0,945	5,52	5,60	1,36	5,42	1,79
1,26	6,98	7,12	1,97	7,15	2,40
1,575	8,21	8,40	2,22	8,63	4,90
1,89	9,22	9,44	2,28	9,85	6,34
2,205	10,01	10,24	2,25	10,78	7,18
2,52	10,57	10,81	2,20	11,45	7,67
2,835	10,91	11,15	2,16	11,85	7,92
3,15	11,02	11,26	2,14	11,98	8,00
3,465	10,91	11,15	2,16	11,85	7,92
3,78	10,57	10,81	2,20	11,45	7,67
4,095	10,01	10,24	2,25	10,78	7,18
4,41	9,22	9,44	2,28	9,85	6,34
4,725	8,21	8,40	2,22	8,63	4,90
5,04	6,98	7,12	1,97	7,15	2,40
5,355	5,52	5,60	1,36	5,42	1,79
5,67	3,86	3,87	0,39	3,77	2,21
5,985	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00

На рис. 7.5 наведено епюри моментів вигину плити П-3 за різних характеристик жорсткостей.

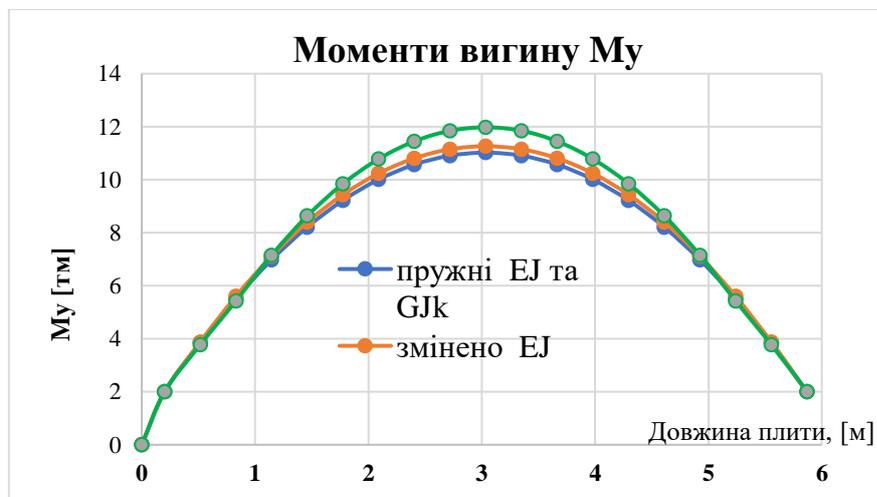


Рис. 7.5 Епюри моментів вигину плити П-3 за різних характеристик жорсткостей

На рис. 7.6 показано, наскільки зусилля при пружному розрахунку та пониженні жорсткості лише на вигин можуть відрізнятися. Різниця становить до 2,28%. Однак, при зміні жорсткості плит не тільки на вигин, але й на кручення, різниця в величинах вигинаючого моменту досягає вже 8,1%. **Цей факт підтверджує важливість врахування в розрахунках не тільки жорсткості на вигин, а й жорсткості на кручення, оскільки це дозволяє точніше визначити зусилля в плитних елементах.**

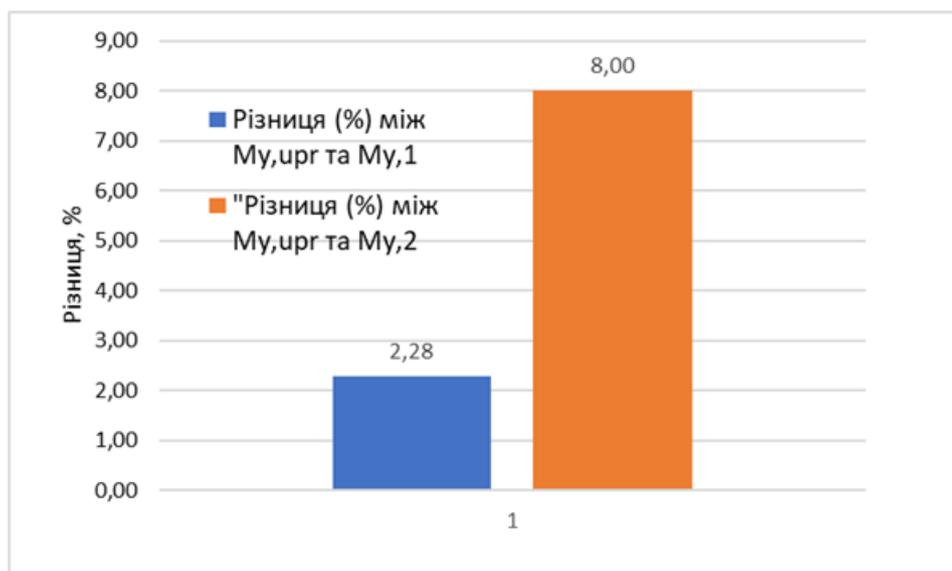


Рис.7.6 Максимальні M_y (%) при пружному розрахунку та при розрахунках з пониженими жорсткостями внаслідок тріщиноутворення

У таблиці 7.3 представлені значення крутних моментів в перерізах плити вздовж її довжини. Для аналізу вибрано найбільш навантажений елемент — плита П-1 (див. рис. 6.1, 6.2, 6.3).

Таблиця 7.3 Моменти кручення в перерізах плити П-1 по її довжині

Відстань від початку довжини плити, м	Моменти кручення M_t , [тм]				
	M_t при пружних EJ та GJ_k	M_t [тм] при $EJ_{срс}$	%	M_t [тм] при $EJ_{срс}$ та $GJ_{ксрс}$	%
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,315	0,15	0,70	78,5	0,65	76,56
0,63	0,17	0,78	78,20	0,73	77,14
0,945	0,16	0,75	78,96	0,61	74,01
1,26	0,14	0,66	78,78	0,54	74,28
1,575	0,12	0,55	78,57	0,45	73,71
1,89	0,09	0,43	78,40	0,35	73,03
2,205	0,07	0,31	78,28	0,25	72,47
2,52	0,04	0,19	78,21	0,15	72,08
2,835	0,01	0,06	78,17	0,05	71,89
3,15	-0,01	-0,06	78,17	-0,05	71,89
3,465	-0,04	-0,19	78,21	-0,15	72,08
3,78	-0,07	-0,31	78,28	-0,25	72,47
4,095	-0,09	-0,43	78,40	-0,35	73,03
4,41	-0,12	-0,55	78,57	-0,45	73,71
4,725	-0,14	-0,66	78,78	-0,54	74,28
5,04	-0,16	-0,75	78,96	-0,61	74,01
5,355	-0,17	-0,78	78,54	-0,73	77,14
5,67	-0,15	-0,70	78,17	-0,65	76,56
5,985	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

На рис. 7.7 зображено епюри моментів кручення плити П-1 за різних жорсткісних параметрів.

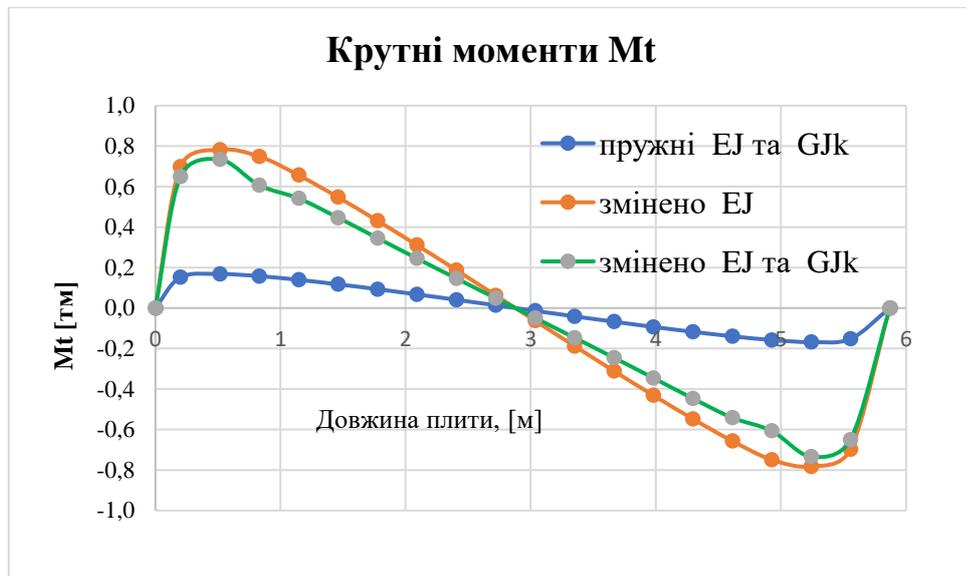


Рис. 7.7 Епюри крутних моментів в перерізах плити П-1 за різних характеристик жорсткостей

На рис. 7.8 показано, наскільки максимально відрізняється момент кручення при пружному розрахунку та пониженні лише жорсткості на вигин. Різниця складає до 78,96%. Однак, при зміні жорсткості плит як на вигин, так і на кручення, різниця в значеннях крутного моменту становить 77,4%.

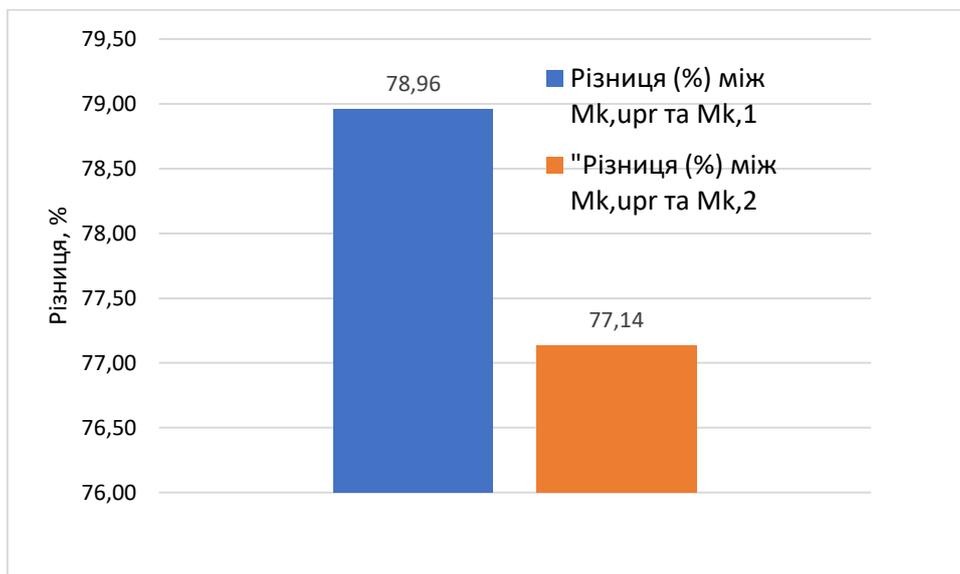


Рис. 7.8 Максимальні M_t (%) при пружному розрахунку та при розрахунках з пониженими жорсткостями внаслідок тріщиноутворення

У таблиці 7.4 представлені значення перерізуючої сили в плиті П-3 вздовж її довжини. Для аналізу обрано найбільш напружений елемент — плита П-3 (див. рис. 6.1-6.3).

Таблиця 7.4 Перерізуюча сила в перерізах плити П-3 по її довжині

Відстань від початку довжини плити, м	Перерізуюча сила Q_y , [т]				
	Q_y при пружних EJ та GJk	Q_y [т] при EJcrс	%	Q_y [т] при EJcrс та GJkcrс	%
1	2	3	4	5	6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,315	0,15	0,70	78,5	0,65	76,56
0,63	0,17	0,78	78,20	0,73	77,14
0,945	0,16	0,75	78,96	0,61	74,01
1,26	0,14	0,66	78,78	0,54	74,28
1,575	0,12	0,55	78,57	0,45	73,71
1,89	0,09	0,43	78,40	0,35	73,03
2,205	0,07	0,31	78,28	0,25	72,47
2,52	0,04	0,19	78,21	0,15	72,08
2,835	0,01	0,06	78,17	0,05	71,89
3,15	-0,01	-0,06	78,17	-0,05	71,89
3,465	-0,04	-0,19	78,21	-0,15	72,08
3,78	-0,07	-0,31	78,28	-0,25	72,47
4,095	-0,09	-0,43	78,40	-0,35	73,03
4,41	-0,12	-0,55	78,57	-0,45	73,71

4,725	-0,14	-0,66	78,78	-0,54	74,28
5,04	-0,16	-0,75	78,96	-0,61	74,01
5,355	-0,17	-0,78	78,54	-0,73	77,14
5,67	-0,15	-0,70	78,17	-0,65	76,56
5,985	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

На рис. 7.9 приведені епюри моментів кручення плити П-3 при різних жорсткісних параметрах.

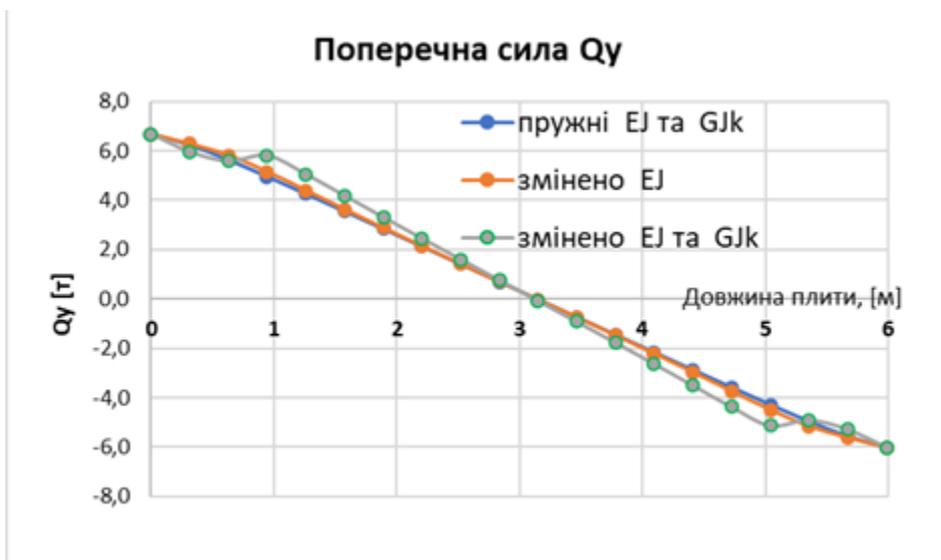


Рис. 7.9 Епюри перерізуючої сили в перерізах плити П-3 за різних характеристик жорсткостей

На рис. 7.10 показано максимальні відмінності в перерізуючій силі між пружним розрахунком та розрахунком з пониженням лише жорсткості при вигині. Різниця досягає 8,6%. Однак, при зміні жорсткості плит не лише на вигину, а й з урахуванням кручення, ця різниця в величинах крутного моменту становить 26,04%.

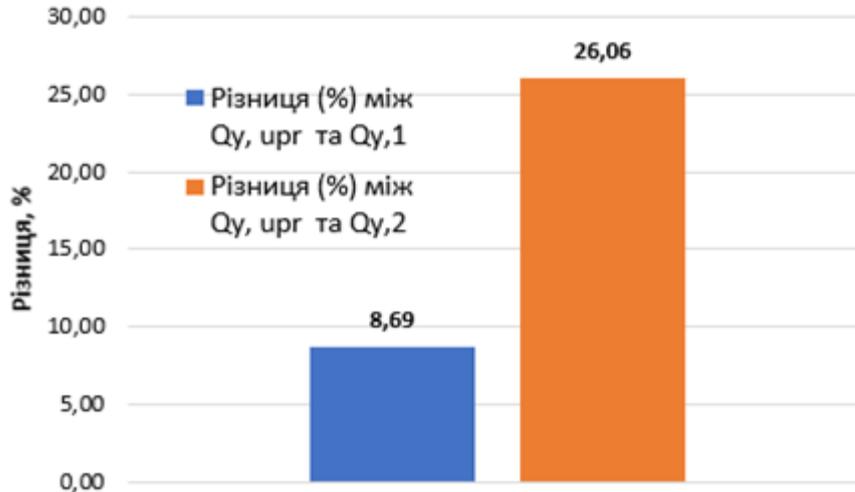


Рис. 7.10 Максимальні Q_y (%) при пружному розрахунку та при розрахунках з пониженими жорсткостями внаслідок тріщиноутворення

ВИСНОВКИ

1. Моделювання елементів плитного типу (багатопорожнистих збірних плит) системою стержнів, згідно з [3], підтверджує точність результатів скінченоелементного розрахунку. Це представлення скінчених елементів дає змогу точно визначати величини внутрішніх зусиль у елементах плитної ячейки перекриття.
2. На простому прикладі продемонстровано важливість урахування при статичному розрахунку залізобетонної системи із збірних плит у пластичній стадії роботи не тільки пониженої жорсткості на вигин унаслідок виникнення тріщин, але й зниження жорсткості на кручення.
3. Зміна жорсткостей як при вигині та крученні, в перерізах плит, де виникають від вигину перпендикулярні до поздовжньої осі елемента тріщини, показує, що значення згинальних моментів (M_y) збільшуються до 8,2% порівняно з випадком, коли змінюється лише одна жорсткість при вигині (у цьому випадку різниця становить

2,27%). Така різниця в значеннях моментів вигину підкреслює важливість врахування жорсткості при крученні для елементів (плит) з тріщинами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Taliat Azizov, Rolando Pereiras. CONSIDERATION OF TORSIONAL RIGIDITY IN THE CALCULATION OF PLATES USING BEAM APPROXIMATION. 2023 Режим доступу: <https://surli.cc/pvmvdo>
2. Азізов Т. Н. Розрахунок залізобетонних плит методом стрижневої апроксимації // Науки Європи. 2019. №45-1 (45).
3. Азізов Т.Н. Теорія просторової роботи перекриттів. – Киев: Науковий світ, 2001. – 276 с
4. Азізов Т.Н. Просторова робота залізобетонних перекриттів. Теорія і методи розрахунку: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.01 /Азізов Талят Нурединович. - Полтава, 2006. - 406 с
5. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ
6. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва
7. Городецький А.С., Євзеров І.Д. Комп'ютерні моделі конструкцій. - К., 2007. - 394 с.
8. ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/fkfmn>
9. ДБН В.1.2.-2-2006 Навантаження і впливи
10. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2))
11. Taliat Azizov, Nataliia Sribniak, Liudmyla Tsyhanenko, Dmytro Volkov. Modelling of reinforced concrete slab to account for cracking . Conference proceedings of the 23 r d International Scientific Conference

ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, Jelgava, Latvia,
May 22-24, 2024 DOI: 10.22616/ERDev.2024.23.TF059

(<https://www.tf.lbtu.lv/conference/proceedings2024/Papers/TF059.pdf>)

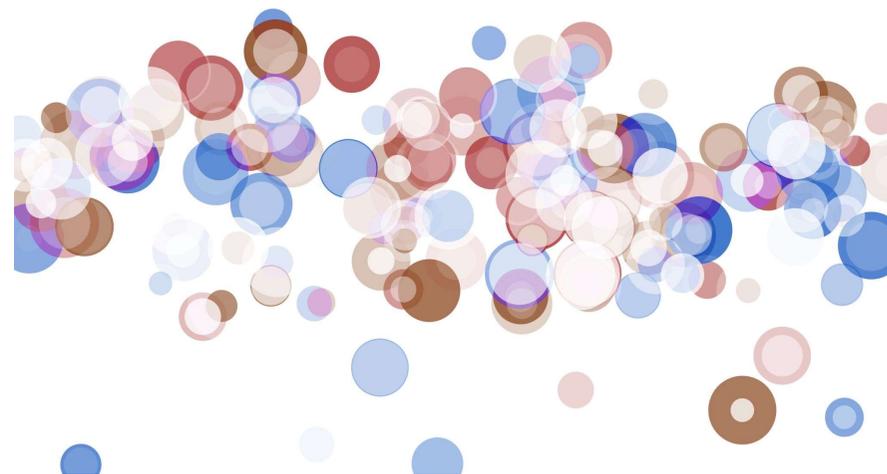
12. Ромашко В.М. Деформаційно-силова модель опору бетону та залізобетону: Монографія//В.М. Ромашко. – Рівне: НУВГП, 2016. – 424 с.: іл.: 153; табл.:39; бібліогр.:518
13. Гаттас А.Ф Тріщиностійкість стрижневих залізобетонних елементів дис... канд. техн. наук:05.23.01/ Гаттас Антуан Фуад. - Киев,1994. -244 с.
14. Городецький Л.М. Дослідження утворення та розвитку тріщин в елементах конструкцій із щільного силікатного бетону: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Л.М. Городецький. - К., 1973.-32с.
15. Azizov T.N. Stem approximation to determine torsion deformations of reinforced concrete elements with normal cracks // Sciences of Europe. – 2018. – Vol 1, № 32. – P. 63-69
16. Срібняк Н.М. Алгоритм виконання числово-аналітичного експерименту з аналізу напружено-деформованого стану ребристого перекриття з нормальними тріщинами./The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27–28, 2018. Vrno: Baltija Publishing. 204 pages. P.85-88
17. Срібняк Н.М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами: автореф. дис. канд. техн. наук 05.23.01 / Срібняк Наталія Миколаївна; Одеська державна академія будівництва та архітектури. – О., 2009. – 23 с.
18. Стадник В. І. Жорсткість і міцність при крученні залізобетонних таврових елементів з нормальними тріщинами : Дис... канд. наук: 05.23.01. ОДАБА, Одеса-2011
19. Орлова О.М. Жорсткість залізобетонних елементів двотаврового перерізу з нормальними тріщинами при крученні/ дис. ... кандидата

техн. наук : 05.23.01/ Орлова Ольга Михайлівна - Київ, ДП НДІБК,
2021 – 188 с.

20. Мельник О.С. Жорсткість та міцність залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні.- Дисертація канд. техн. наук: 05.23.01, ОДАБА, Одеса-2013
21. Kosior-Kazberuk, M., Kochkarev, D., Azizov, T., Galinska, T. (2022). Approximation Model of the Method of Design Resistance of Reinforced Concrete for Bending Elements. In: Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 181. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_23
22. Influence of cracking on the forces in reinforced concrete slab elements. T Azizov, R Pereiras - AIP Conference Proceedings, 2023. Volume 2840, Issue 1 <https://doi.org/10.1063/5.0169454>

ДОДАТКИ

**ДОСЛІДЖЕН
НЯ РОБОТИ
ПЕРЕКРИТТЯ
ЖИТЛОВОГО
БУДИНКУ В
М.СУМИ**



*Студент: Гонка В.С.
Група БУД 2301-1м , курс 2м*

Керівник: к.т.н., доцент Срібняк Н.М.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

- *Міжнародна науково-практична конференція «GLOBAL TRENDS IN SCIENCE AND EDUCATION» 10-12.03.2025.*
- *Срібняк Н.М., Галушка С.А., Гонка В.С., Рябоконт Ю.М. Дослідження роботи будівельних систем на прикладі диска перекриття із збірних плит. Міжнародна науково-практична конференція «GLOBAL TRENDS IN SCIENCE AND EDUCATION» 10-12.03.2025 року Київ, Україна*

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

- В результаті дослідження Т.Н. Азізов сформульовано наступні висновки:
- 1) Для розрахунку суцільної плити методом апроксимації перехресною системою стрижнів, розташованих у взаємно перпендикулярних напрямках, було отримано формулу для визначення коефіцієнта, що дозволяє встановити крутильну жорсткість стрижнів, за якої така система стає еквівалентною суцільній плиті.
- 2) Перевірка формули шляхом чисельної реалізації методики в програмі Ліра-САПР 2024 продемонструвала майже повний збіг прогинів плити, апроксимованої перехресною стрижневою системою, з прогинами суцільної плити. Водночас значення крутильних моментів мають дещо більшу похибку.
- 3) Застосування стрижневої апроксимації значно спрощує врахування утворення тріщин у залізобетонних плитах. У подальшому планується пошук методів, що дозволять зменшити похибку значень крутильних моментів у перехресно-стрижневій системі порівняно із суцільною плитою, без необхідності зменшення кроку сітки стрижнів
- Концепція моделювання плитних конструкцій, зокрема ребристих, багатопорожнистих та плит із суцільним перерізом, представлена в роботах Т.Н. Азізова

Збірне перекриття, виконане із суцільних або багатопорожнистих плит, може бути подане у вигляді схеми, зображеної на рис. 2.1 [3].

Моделювання такого перекриття у вигляді перехресно-стержневої системи представлено на рис. 2.3.

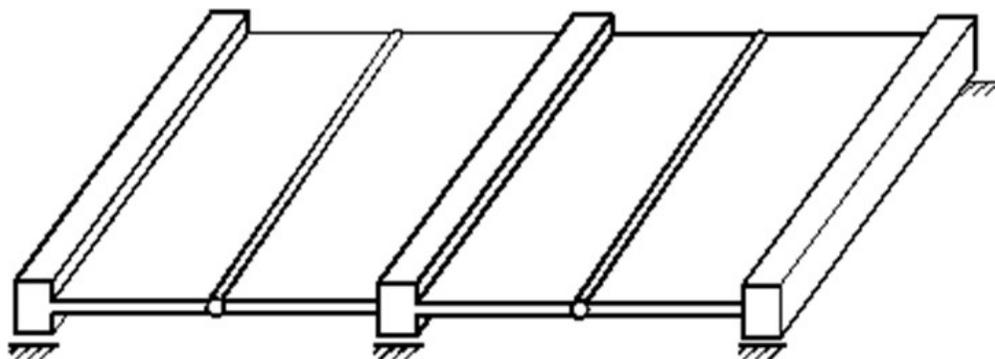


Рис. 1 Подання збірного пустотного перекриття у вигляді ребристої системи [3]

У роботі [3] зазначено, що порівняння розрахунків суцільної плити, змодельованої виключно пластинчастими (плоскими) скінченими елементами, з розрахунками у вигляді шарнірно-стержньової перехресної системи (згідно з рис. 1) продемонструвало високий рівень збігу результатів.

Враховуючи це, для подальшого зіставлення теоретичних даних із результатами числових розрахунків методом скінченних елементів було обрано перехресно-стержньові системи.

- **Метою** роботи є аналіз напружено-деформованого стану плитних елементів ячейки з багатопорожнистих збірних плит при зміні тільки жорсткості на вигин, а також зміні (пониженні) жорсткості при вигині та крученні разом.

Задачі дослідження

- аналіз літературних джерел щодо способів кінцевого моделювання багатопорожнистих плит;
 - - створення кінцевоелементної моделі ячейки перекриття таким чином, щоб мала місце спільна робота плит між собою;
 - - статичний розрахунок моделі ячейки в пружній поставнові;
 - - статичний розрахунок моделі при пониженій лише одній жорсткості при вигині в елементах (плитах), де виникають тріщини від навантаження;
 - - статичний розрахунок моделі при понижених обох жорсткостях - при вигині та при крученні в елементах (плитах), де виникають тріщини від навантаження;
- 13** • -аналіз даних статичного розрахунку.

- **Об'єкт дослідження** – кінцевоелементна схема ячейки перекриття із збірних багатопорожнистих плит перекриття будівлі, що проектується.
- **Предмет дослідження** – напружено-деформований стан елементів моделі ячейки перекриття.
 - **Методи дослідження** – метод кінцевоелементного моделювання, метод виконання числового експерименту.

Практичне значення отриманих результатів

Результати досліджень **дозволяють:**

- Оцінити напружено-деформований стан диску перекриття в пружній поставновці (при інженерному розрахунку);
- оцінити напружено-деформований стан диску перекриття з урахуванням тріщиноутворення (виникнення нормальних від вигину тріщин) – при пониженні початкового модуля пружності та модуля зсуву в декілька разів, що відповідало би виникненню тріщин;
- можливість порівняти результати обчислення напружено-деформованого стану у випадку зміни лише жорсткості на згин та зміни обох жорсткостей - при вигині та крученні
- отримати результати, що підтверджують важливість прийняття до розрахунку не лише жорсткості при згині, але й жорсткості при крученні.

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ БУДІВЛІ

Фасад 1-8



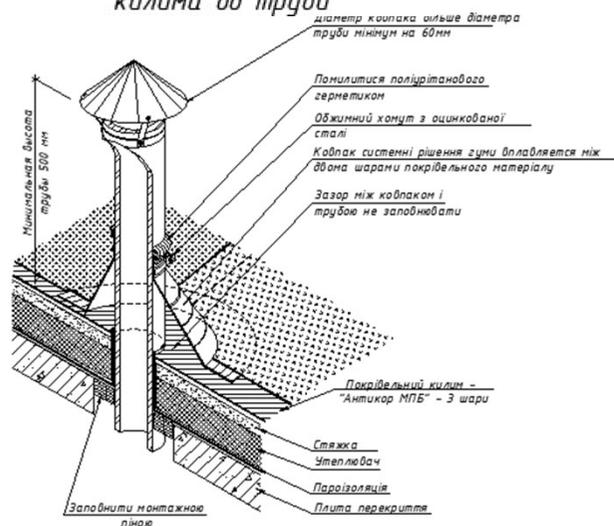
Будівля проста в плані з розмірами в осях 15,0 × 44,10 м. Проектом передбачаються: чотири надземних з висотою поверху 3,3 м від рівня чистої підлоги до рівня чистої підлоги.

Основне архітектурно-планувальне рішення житлової будівлі передбачає простий об'єм, майже кубічної форми, з врізаними в нього металопластиковими вікнами.

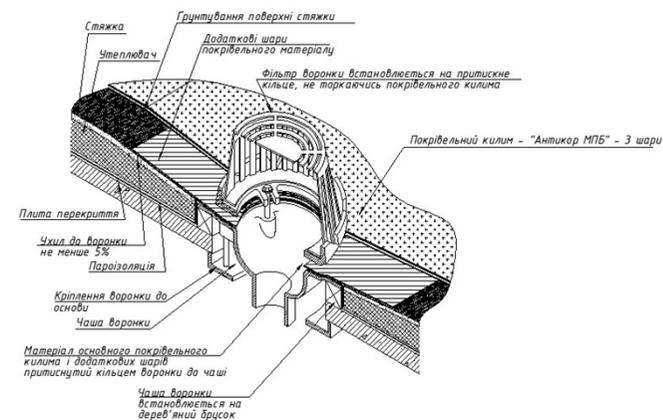
План на відм. 0,000



Вузол примикання покрівельного килима до труби



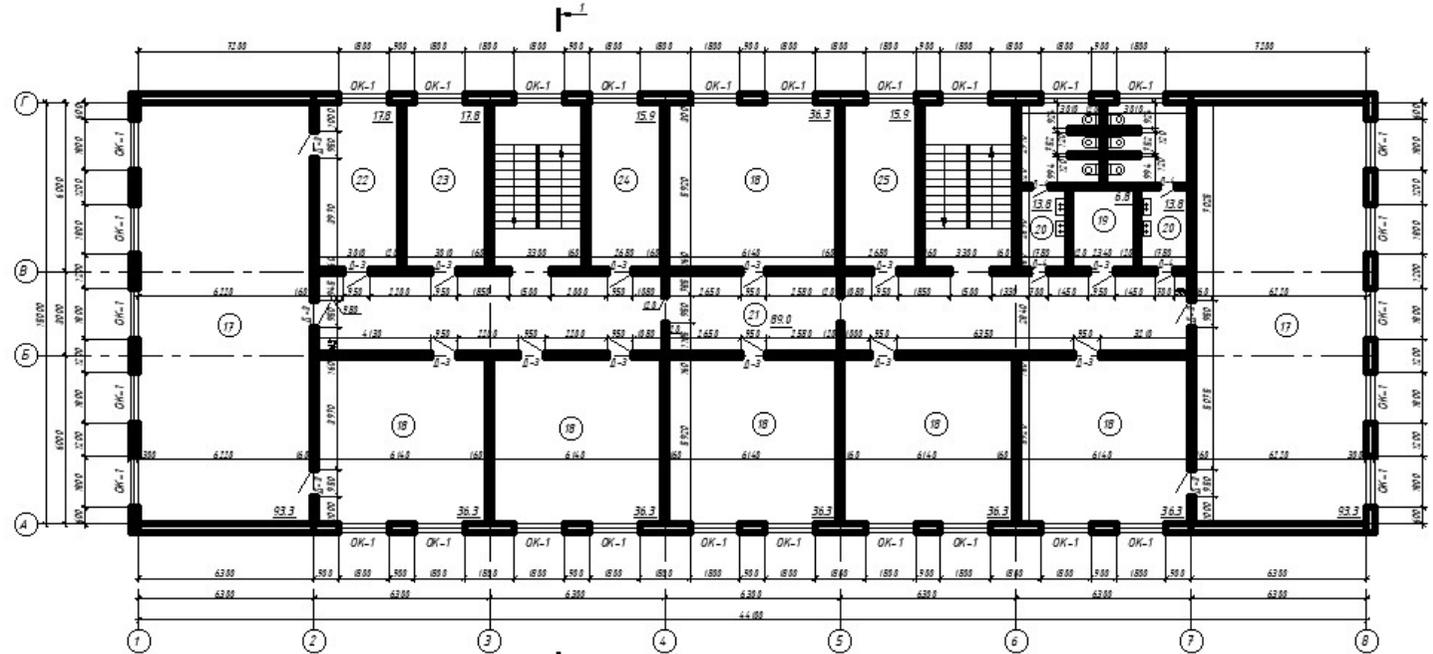
Вузол водостічної воронки



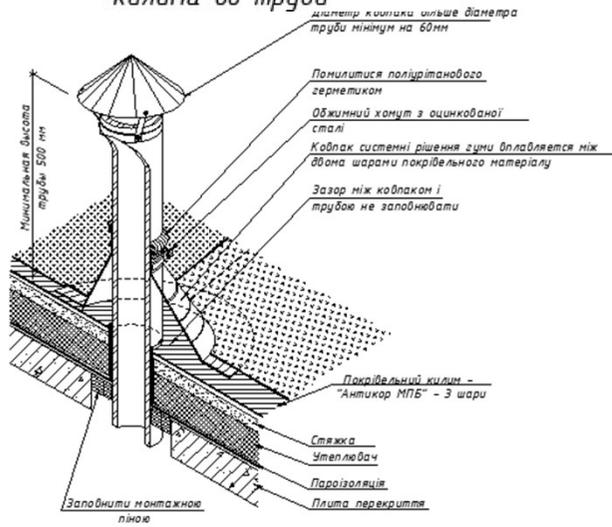
Фасад Г-А



План типового поверху



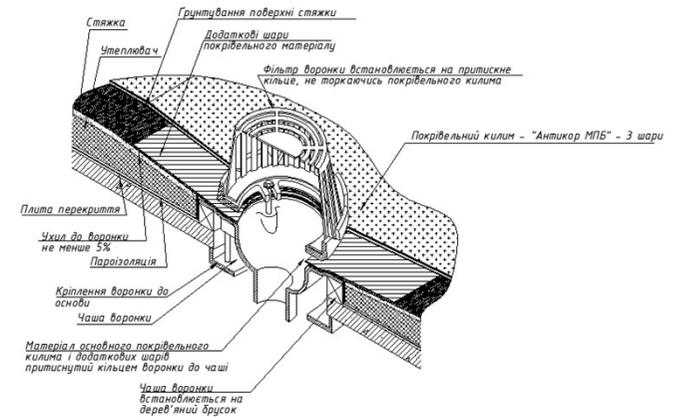
Вузол примикання покрівельного килима до труби



Експлікація підлог

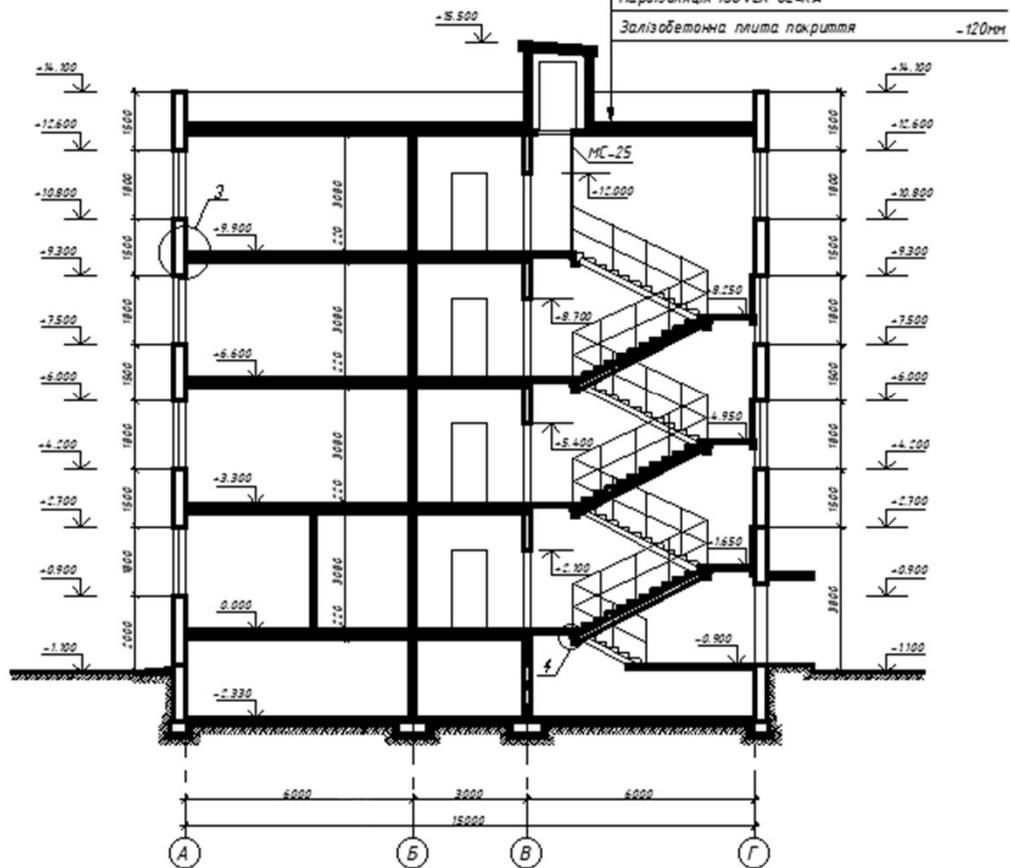
№ приміщення та проміжки	Тип підлоги	Схема підлоги	Елементи підлоги та їх товщина	Площа підлоги, м ²
8, 14, 20, 28	1		1 Плита "Керамзит" на проварку з цементно-піщаного розчину М50 -25мм 2 Стяжка з цементно-піщаного розчину М50 -30мм 3 Шару гідроізоляції ДСТУ Б 8274:2021 по шарні в'язучій масліці 4 Керамзитовий ґравій -60мм/куб м 5 Збріт з / 8 плити -120мм	118
1, 2, 3, 4, 5, 13, 21, 29	2		1 Покриття нозі (не терасця) на цементно-піщаному розчині М100 -20мм 2 Стяжка з цементно-піщаного розчину М50 -30мм 3 Керамзитовий ґравій -50мм/куб м 4 Збріт з / 8 плити -120мм	460
7, 8, 15, 18, 27	3		1 Плити "Керамзит" на цементно-піщаному розчині М100 -20мм 2 Стяжка з цементно-піщаного розчину М50 -30мм 3 Керамзитовий ґравій -50мм/куб м 4 Збріт з / 8 плити -120мм	67
6, 9, 10, 11, 24, 17, 18, 22, 25, 24, 25, 26, 20, 19, 22, 31, 34, 35, 36	4		1 Алюміній ГВК на монолітнобетонній основі ДСТУ Б 8274:2021 по шарні з відокремлювальною масліці ДСТУ Б 8274:2021 -1мм 2 Стяжка з цементно-піщаного розчину М50 -30мм 3 керамзитовий ґравій -60мм/куб м -65мм 4 Збріт з / 8 плити -120мм	174

Вузол водостічної воронки підлог

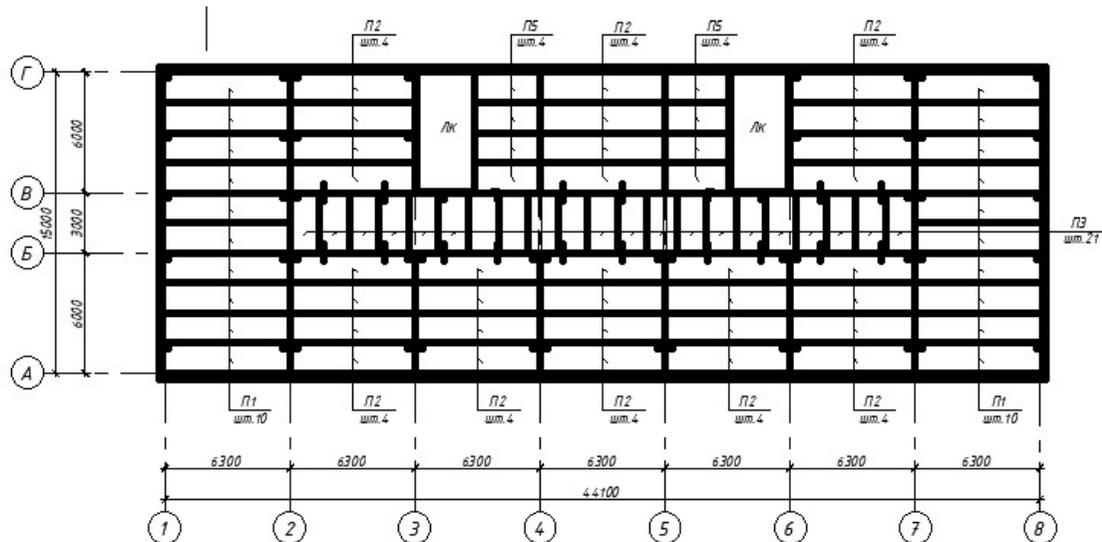


Розріз I-I

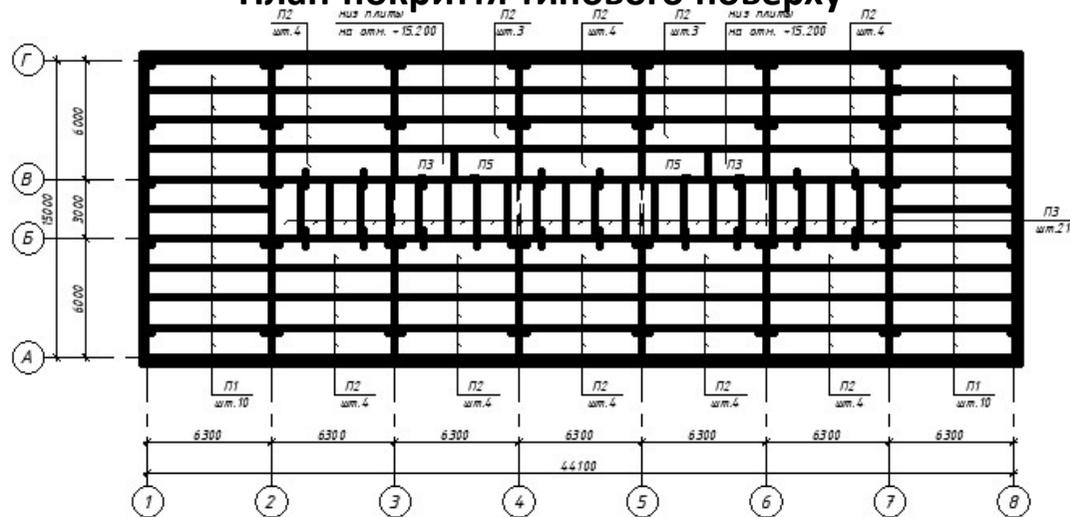
Покрівельний килим - "Антикор М1Б" - 3 шари	
Цементно-піщана стяжка	-40мм
Утеплювач- URSA XPS N-III-L	-120мм
Пароізоляція ISOVER OL-KA	
Залізобетонна плита покриття	-120мм



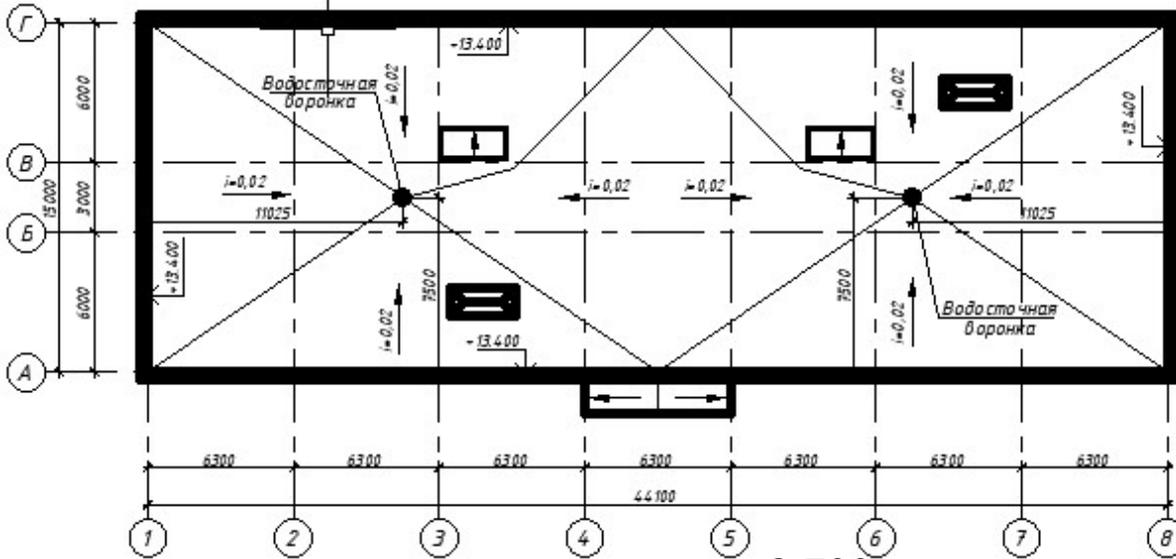
План перекриття типового поверху



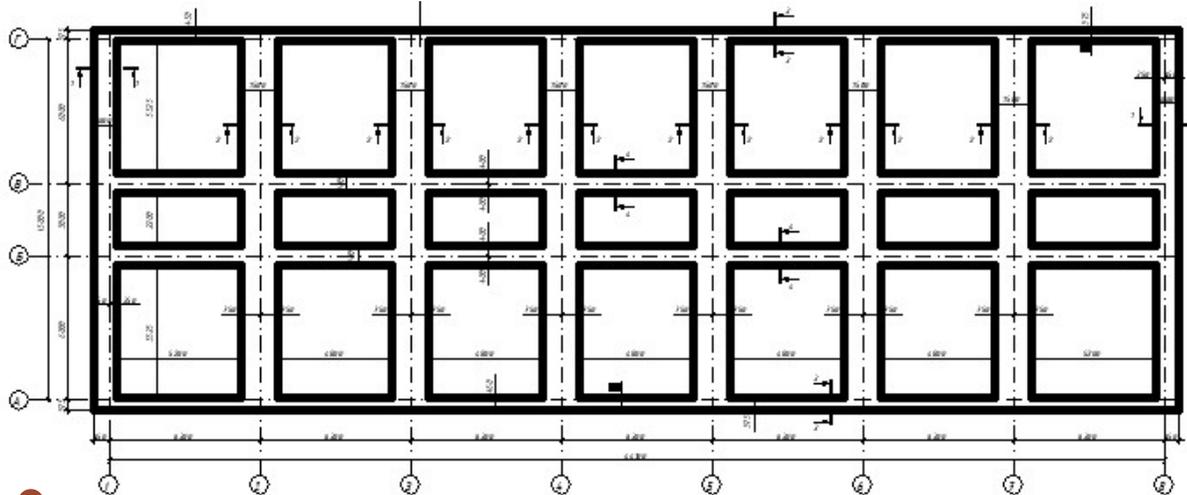
План покриття типового поверху



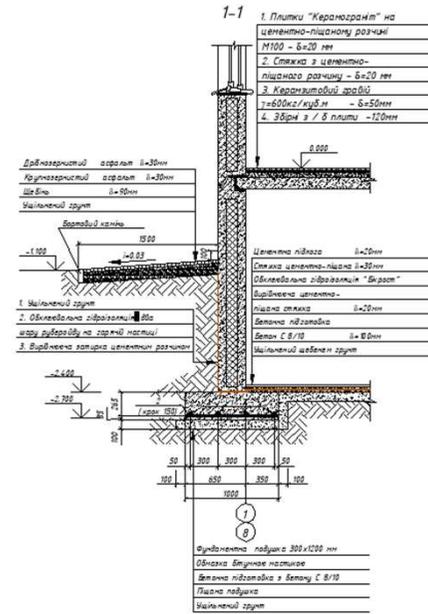
План покрівлі



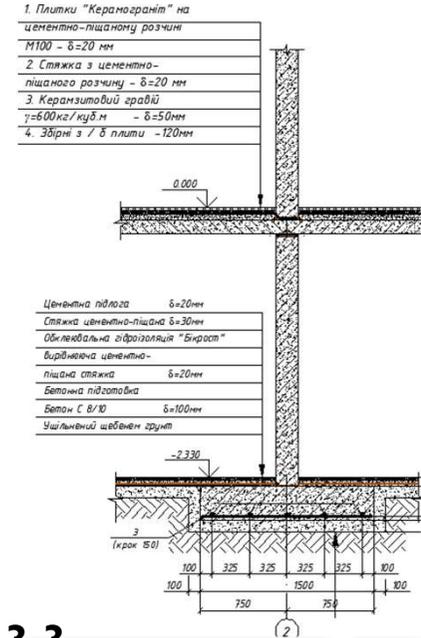
План фундаментів на відм. -2,700



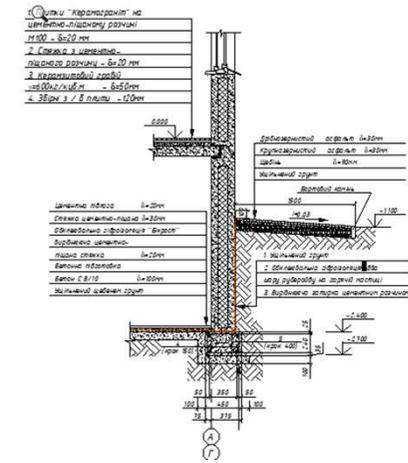
Розріз I-I



Розріз 2-2



Розріз 3-3



АРХІТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ

- Проектом прийнята безкаркасна схема будівлі, з **поздовжніми і поперечними несучими стінами**.
- **Фундаменти під стіни** - стрічкові залізобетонні, монолітні з бетону класу С 12/15. Під стрічкові фундаменти влаштовується бетонна підготовка з бетону класу С 8/10. Ширина фундаментної плити (подушки) під зовнішні стіни прийнята 1000 мм, а під внутрішні стіни – 1500 мм.
- **Перекрыття та покриття** запроектоване із збірних залізобетонних плит з круглими пустотами товщиною 220 мм .
- **Покрівля** виконана з бітумно-полімерної самозатвердіваючої мастики «Антикор МПБ»
- **Стіни зовнішні** виконані із збірних тришарових з/б панелей з утеплювачем URSA загальною товщиною 300 мм. Внутрішні стіни– з.б. панелі, товщиною 160 мм.

- **Метою роботи** є аналіз напружено-деформованого стану плитних елементів ячейки з багатопорожнистих збірних плит при зміні тільки жорсткості на вигин, а також зміні (пониженні) жорсткості при вигині та крученні разом.

Задачі дослідження

- аналіз літературних джерел щодо способів кінцевого моделювання багатопорожнистих плит;
- створення скінченоелементної моделі ячейки перекриття таким чином, щоб мала місце спільна робота плит між собою;
- статичний розрахунок моделі ячейки в пружній поставнові;
- статичний розрахунок моделі при пониженій лише одній жорсткості при вигині в елементах (плитах), де виникають тріщини від навантаження;
- статичний розрахунок моделі при понижених обох жорсткостях - при вигині та при крученні в елементах (плитах), де виникають тріщини від навантаження;
- аналіз даних статичного розрахунку.

- **Об'єкт дослідження** – скінченоелементна схема ячейки перекриття із збірних багатопорожнистих плит перекриття будівлі, що проектується.
- **Предмет дослідження** – напружено-деформований стан елементів моделі ячейки перекриття.
 - **Методи дослідження** – метод скінченоелементного моделювання, метод виконання числового експерименту.

Практичне значення отриманих результатів

Результати досліджень дозволяють:

- Оцінити напружено-деформований стан диску перекриття в пружній поставновці (при інженерному розрахунку);
 - оцінити напружено-деформований стан диску перекриття з урахуванням тріщиноутворення (виникнення нормальних від вигину тріщин) – при пониженні початкового модуля пружності та модуля зсуву в декілька разів, що відповідало би виникненню тріщин;
 - можливість порівняти результати обчислення напружено-деформованого стану у випадку зміни лише жорсткості на згин та зміни обох жорсткостей - при вигині та крученні
- 14** - отримати результати, що підтверджують важливість прийняття до розрахунку не лише жорсткості при згині, але й жорсткості при крученні.

- В роботах **Т.Н. Азізова** показана можливість моделювання збірного диску перекриття стержневою системою, представленою на рисунках.

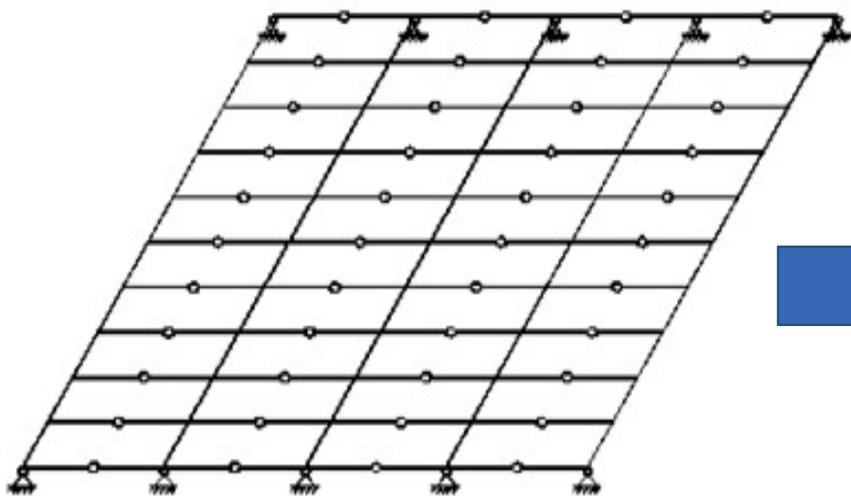


Рис. Розрахункова схема збірного перекриття в вигляді перехресно-стержньової системи

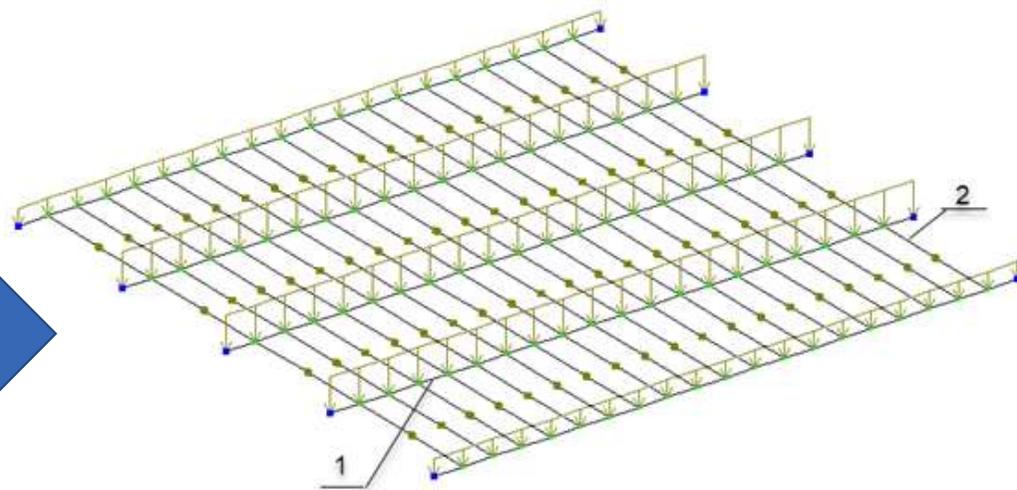


Рис. Скінчено-елементна **стержньова** схема ячейки з багатопорожнистих збірних з.б плит перекриття

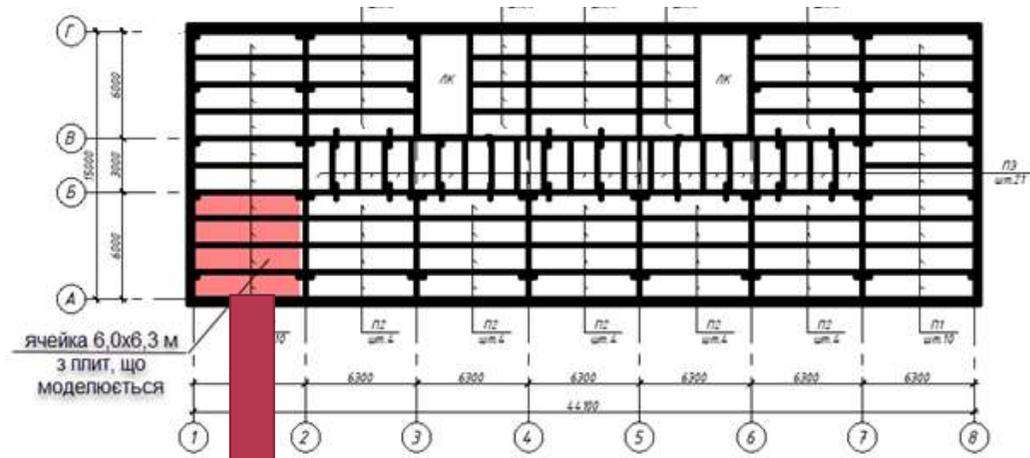


Рис.2.2 Схема розташування елементів перекриття з багатопорожнистих плит

Ефект спільної роботи збірних плит в складі диску перекриття досягається завдяки **замонолічуванню шпоночних плитних швів**. Тоді в роботу під навантаженням включені всі плити, що входять до складу диску перекриття й спостерігається явище перерозподілу навантаження між плитами.

Шпоночні шви змодельовано способом об'єднання переміщень вздовж осі **Z** вузлів суміжних стерженьків підвищеної жорсткості.

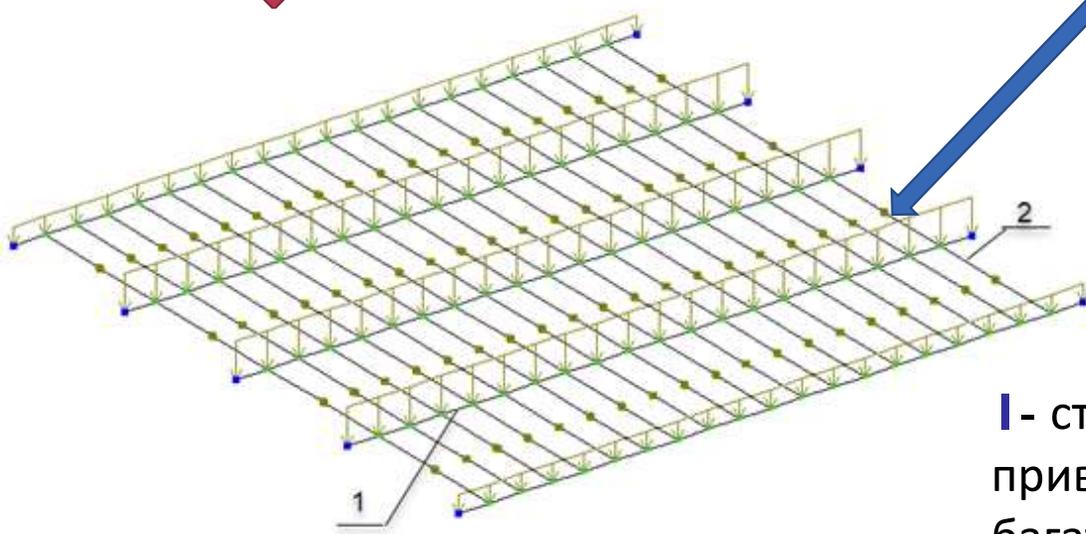
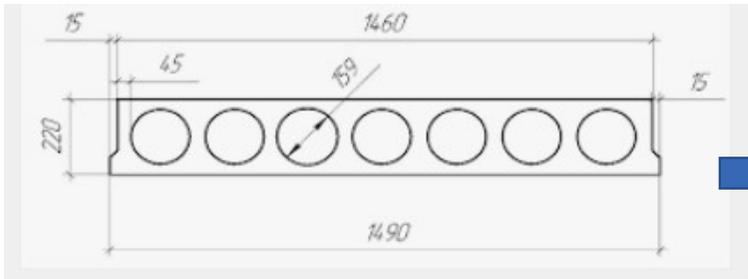


Рис. Скінчено-елементна **стержньова** схема ячейки з багатопорожнистих збірних з.б плит перекриття

- 1** - стержневий КЕ з характеристиками приведенного таврового перерізу багатопорожнистої плити;
- 2** - стержень із підвищеною жорсткістю



Переріз збірної багатопорожнистої плити за серією 1.137.1-9

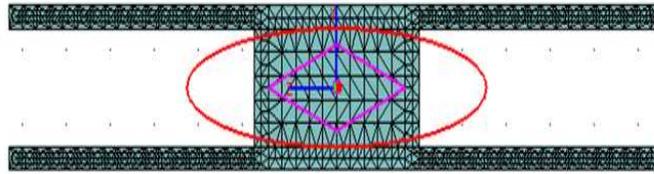


Рис. Приведений переріз багатопорожнистої плити в модулі «Конструктор перерізів» ПК «Ліра-САПР»

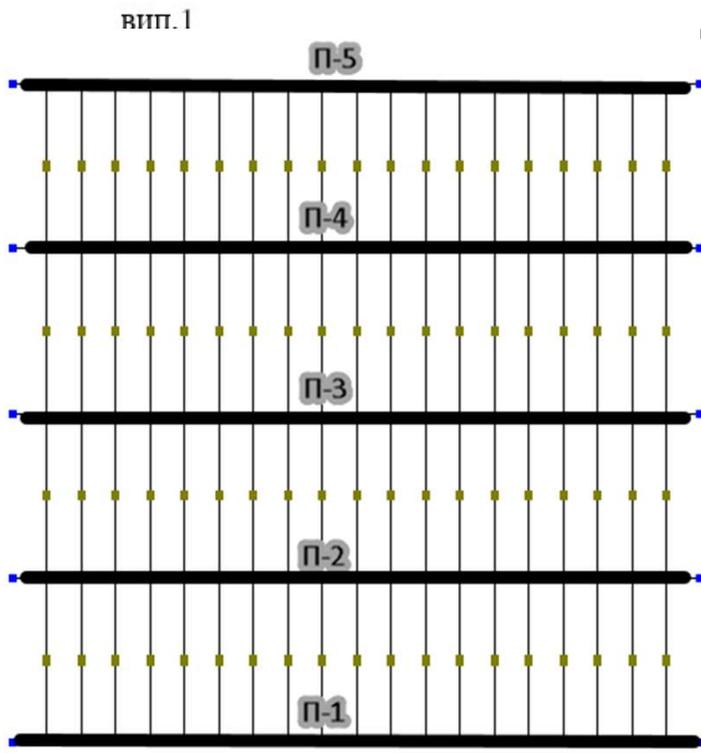


Рис. Плити (П1, П2, П3, П4, П5), напружено-деформований стан яких підлягає аналізу

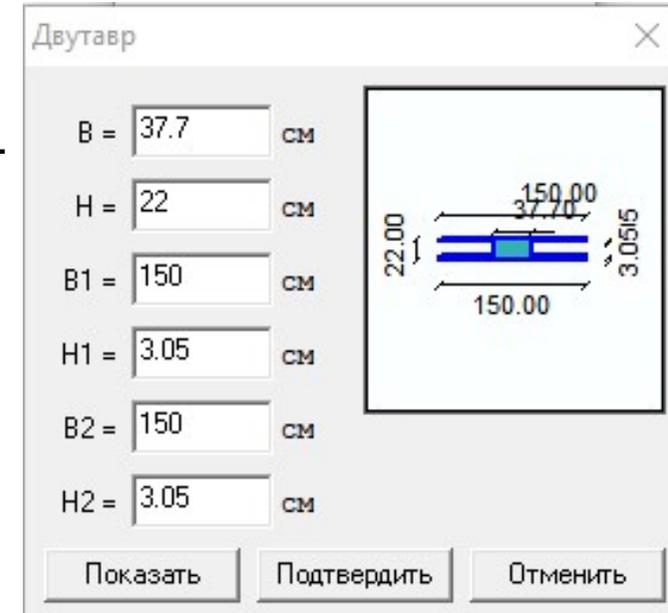


Рис. Діалогове вікно в програмі «Конструктор перерізів» ПК «Ліра-САПР 2024»

Таблиця. Пружні характеристики жорсткості приведенного таврового перерізу (тип жорсткості №1 для елементів П1-П5)

№ з/п	Назва параметру	Позначення	Значення величини	Одиниця виміру
1	Модуль пружності матеріалу	E	2.34455e+006	т/м ²
2	Коефіцієнт Пуассона матеріалу	ν	0.2	
3	Модуль зсуву матеріалу	G	976896	т/м ²
4	Щільність матеріалу	Ro	2.5	т/м ³
5	Момент опору вигину щодо осі Y (Z+)	Wy+	23821.6	см ³
6	Момент опору вигину щодо осі Y (Z-)	Wy-	23821.6	см ³
7	Пластичний момент опору щодо осі Y'	Wy,pl	39962.1	см ³
8	Осьова жорсткість	EF	355066	т
9	Згинальна жорсткість щодо осі Y	EIy	41888.2	т·м ²
10	Жорсткість на крутіння	GI	866.49	т·м ²

Таблиця. Характеристики жорсткості стержневих СЕ другого типу

№ з/п	Назва параметру	Позначення	Значення величини	Одиниця виміру
1	Модуль пружності матеріалу	E	2.34455e+007	т/м ²
2	Коефіцієнт Пуассона матеріалу	ν	0.2	
3	Ширина перерізу	B	31,5	см
4	Висота перерізу	Ro	22	см

Граничні умови КЕ схеми - плити шарнірно спираються на стіни по двом торцевим бокам.

Навантаження в перерахунку з рівномірно-розподіленого по площі ячейки перекриття в осях І-2 та А-Б на погонне становить: на середні плити 0,705 т/м; на крайні плити 0,352 т/м (рис.1).

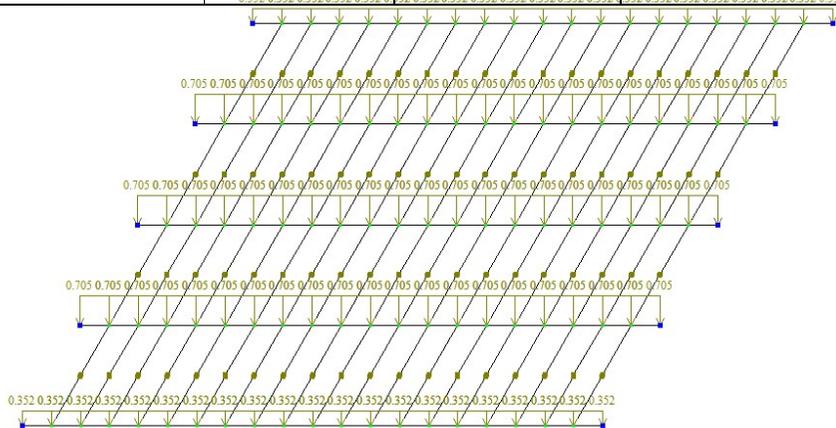


Рис. 1 Завантаження рівномірно-розподіленим навантаженням СЕ схеми

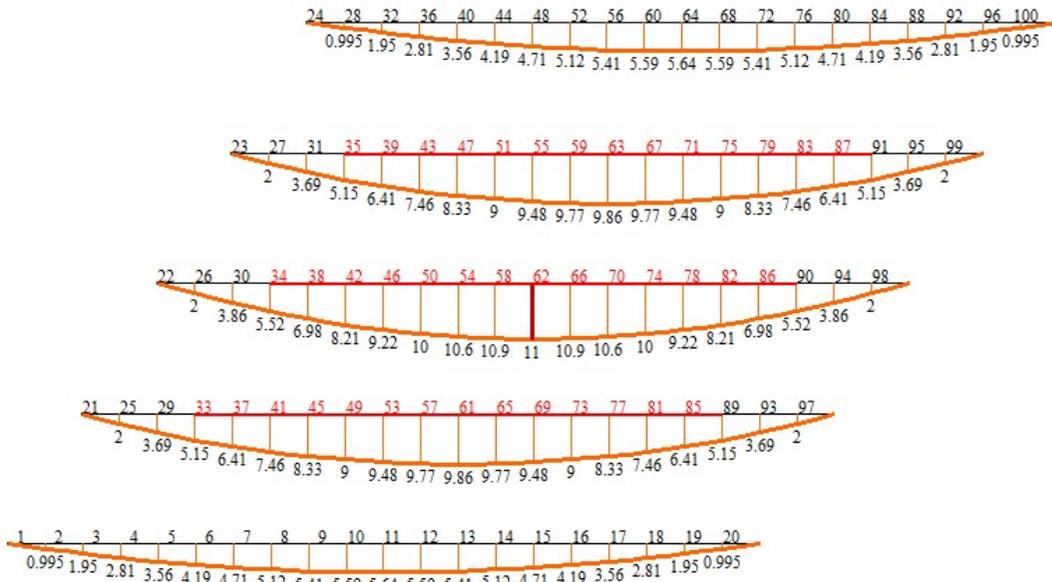
АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Крок 1	Пружній статичний розрахунок системи
Крок 2	обчислення M_{pl} - моменту утворення тріщин
Крок 3	На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$ утворюються тріщини й понижуємо лише EJ в 4 рази
Крок 4	Виконуємо статичний розрахунок при пониженій лише EJ
Крок 5	На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$ утворюються нормальні тріщини тоді понижуємо як EJ , так GJ_k в 4 рази
Крок 6	Виконуємо статичний розрахунок при понижених EJ та GJ_k
Крок 7	Порівнюємо результати кроків «4» та «6»

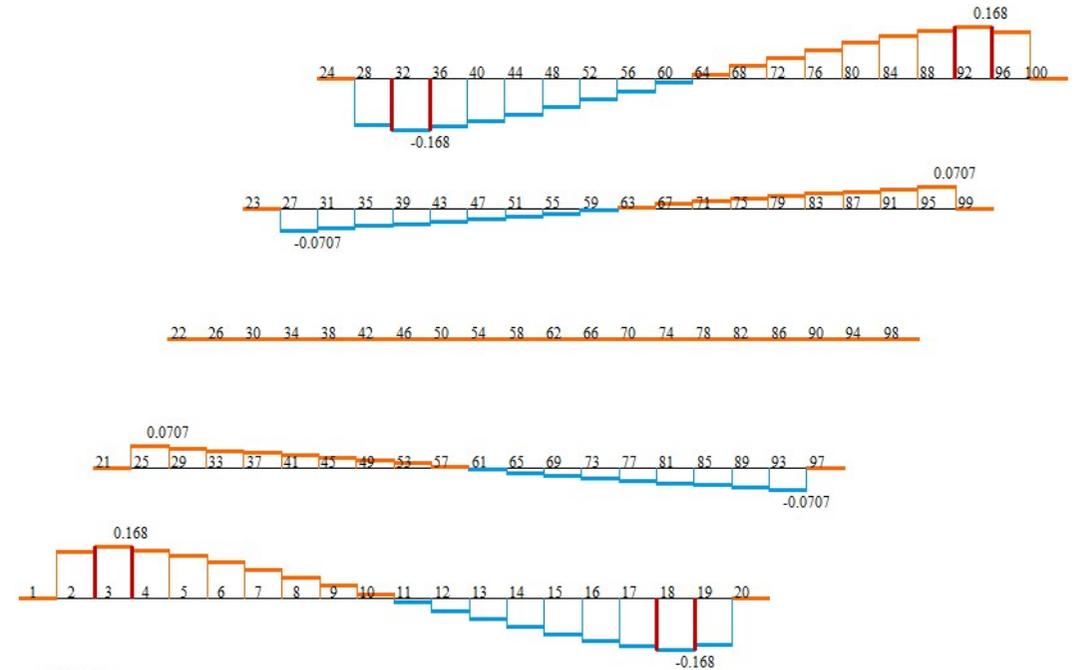
КРОК 1. ПРУЖНИЙ СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ

- Такий розрахунок дає можливість оцінити, величину максимальних моментів вигину, що виникають в плитах та порівняти ці моменти з моментом тріщиноутворення M_{crs} .

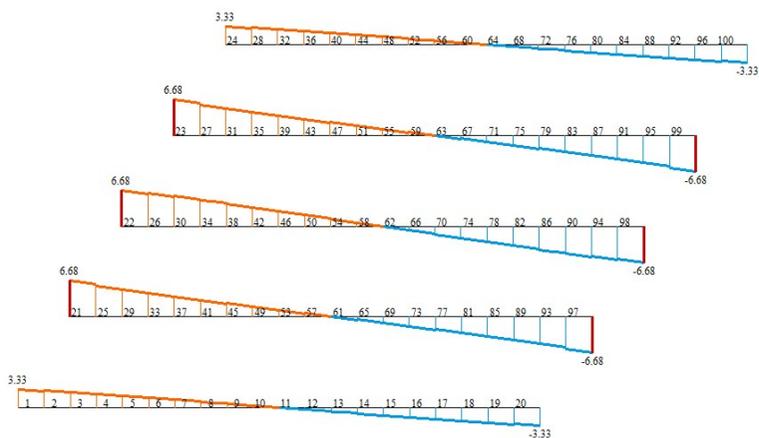
Епюри моментів вигину M_y при EJ_{upr}



Епюри крутних моментів вигину M_t при GJ_{kupr}



Епюри перерізуючих “Qy” сил при EJ



Крок 2- обчислення M_{pl} - моменту утворення тріщин

Момент утворення тріщин обчислимо за формулою 2.1

$$M_{crc} = f_{ctk} \cdot W_{pl}$$

Обчислимо момент утворення тріщин для цієї системи M_{crc} :

$$M_{crc} = f_{ctk} \cdot W_{pl} = 0,15 \cdot 39506,1 = 5925,92 \text{ кН} \cdot \text{см} = 59,26 \text{ кН} \cdot \text{м} = 6,04 \text{ тм}$$

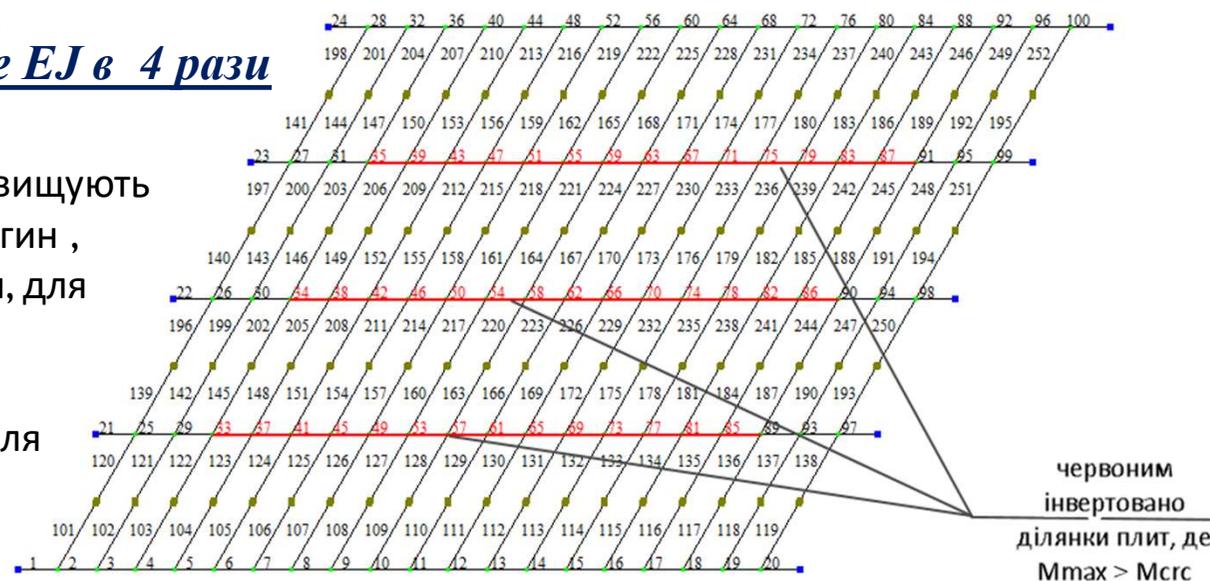
Крок 3. На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$ утворюються тріщини й понижуємо лише EJ в 4 рази

Отже, згідно схеми виникнення $M_{y,max}$, що перевищують величину M_{crc} . змінимо величину жорсткості на вигин, зменшивши значення $EI_y = 41888,2 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ в 4 рази, для елементів, де має місце виконання умови:

$$M_{y,max} > M_{crc}$$

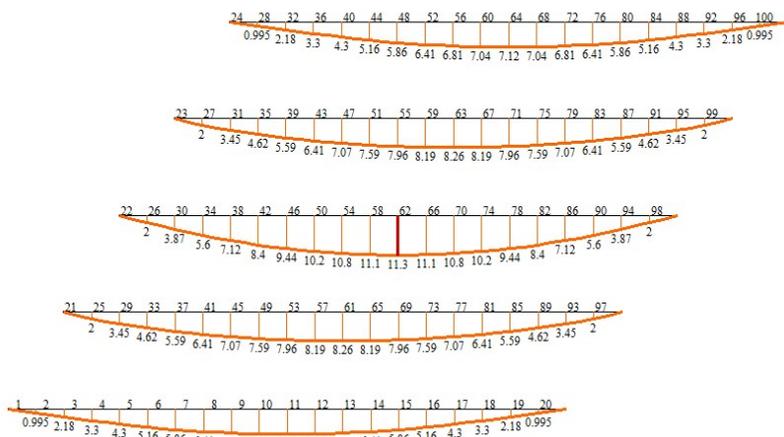
Призначимо нове значення жорсткості на вигин для елементів, що інвертовано червоним за рис.

21

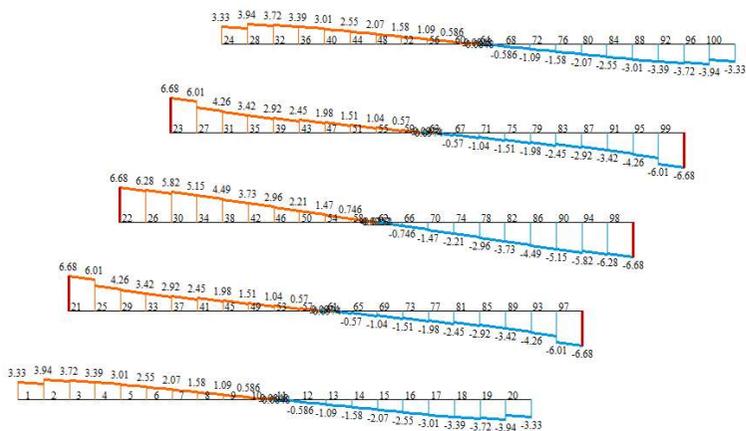


Крок 4 - Виконуємо статичний розрахунок при пониженій лише E]

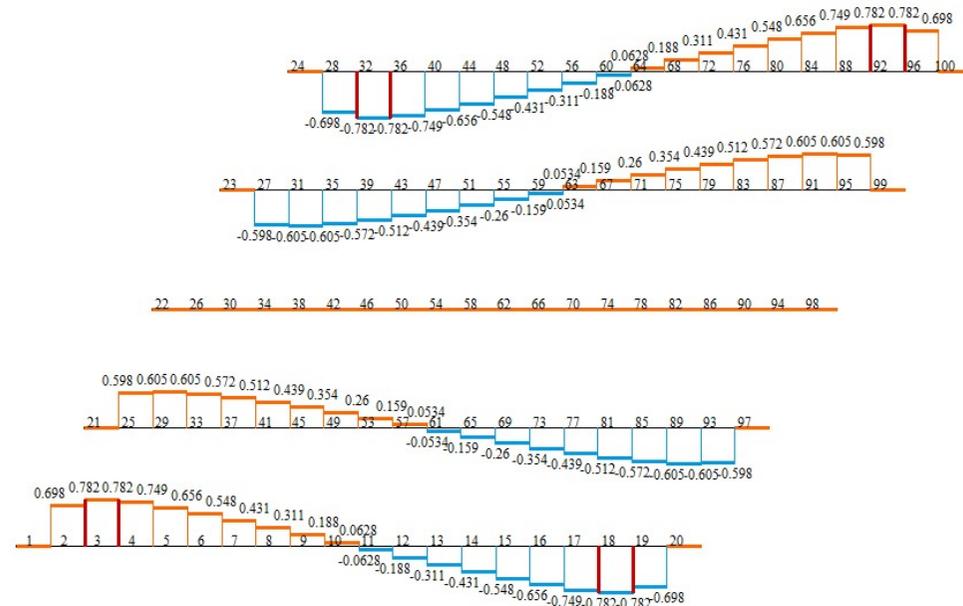
Епюри моментів вигину M_y при EJ_{cr}



Епюри перерізуючих “ Q_y ” сил при EJ_{cr}



Епюри крутних моментів вигину M_t при $GJ_{кр}$



- Крок 5. На ділянках стержня, де $M_{max} \geq M_{pl}$, де утворюються нормальні тріщини, понижуємо як EJ , так GJ_k в 4 рази

Отже, за схемою виникнення $M_{y,max}$, які є більшими за величину M_{crc} . Зменшимо величину жорсткості на вигин, понизивши значення $EI_y = 41888,2 \text{ тм}^2$ та в 4 рази, для стержнів, де виконується умови:

$$M_{y,max} > M_{crc}$$

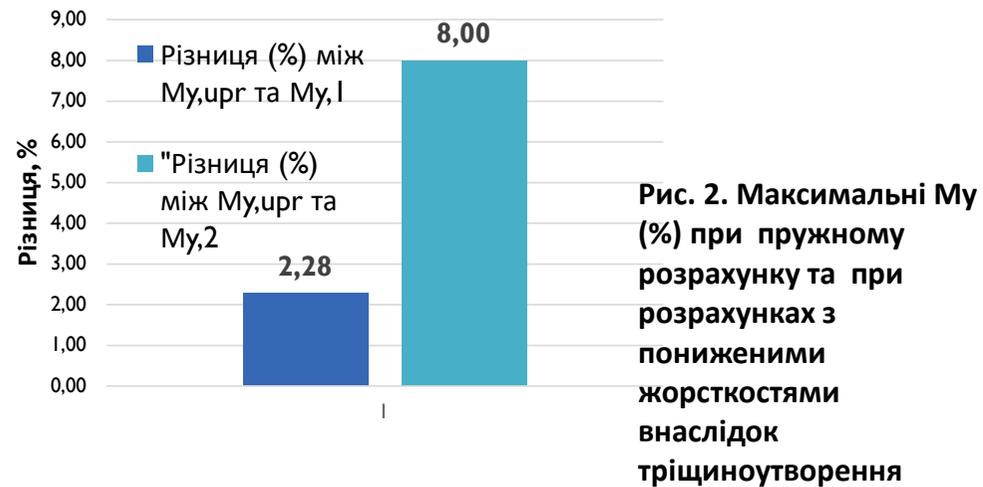
Присвоїмо нове значення жорсткості при вигині та при крученні для стержнів, що виділено червоним за рис.6.1, а.

Крок 6. Виконуємо статичний розрахунок при понижених EJ та GJ_k

Проведемо статичний розрахунок для розрахункових моделей із зменшеними в результаті утворення тріщин обома типами жорсткостей - як при жорсткості на вигин EJ так й при жорсткості на кручення GJ_k .

Таблиця 1. Моменти вигину в перерізах плити П-3 по її довжині

Відстань від початку довжини плити, м	Моменти вигину M_y , [тм]				
	M_y при пружних EJ та GJ_k	M_y [тм] при $EJ_{crс}$	%	M_y [тм] при $EJ_{crс}$ та $GJ_{k,crс}$	%
<i>l</i>	2	3	4	5	6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,315	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00
0,63	3,86	3,87	0,39	3,77	2,21
0,945	5,52	5,60	1,36	5,42	1,79
1,26	6,98	7,12	1,97	7,15	2,40
1,575	8,21	8,40	2,22	8,63	4,90
1,89	9,22	9,44	2,28	9,85	6,34
2,205	10,01	10,24	2,25	10,78	7,18
2,52	10,57	10,81	2,20	11,45	7,67
2,835	10,91	11,15	2,16	11,85	7,92
3,15	11,02	11,26	2,14	11,98	8,00
3,465	10,91	11,15	2,16	11,85	7,92
3,78	10,57	10,81	2,20	11,45	7,67
4,095	10,01	10,24	2,25	10,78	7,18
4,41	9,22	9,44	2,28	9,85	6,34
4,725	8,21	8,40	2,22	8,63	4,90
5,04	6,98	7,12	1,97	7,15	2,40
5,355	5,52	5,60	1,36	5,42	1,79
5,67	3,86	3,87	0,39	3,77	2,21
5,985	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00



Таблиця 2. Моменти кручення в перерізах плити П-І по її довжині

Відстань від початку довжини плити, м	Моменти кручення M_t , [тм]				
	M_t при пружних EJ та GJ_k	M_t [тм] при $EJ_{crс}$	%	M_t [тм] при $EJ_{crс}$ та GJ_k	%
1	2	3	4	5	6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,315	0,15	0,70	78,5	0,65	76,56
0,63	0,17	0,78	78,20	0,73	77,14
0,945	0,16	0,75	78,96	0,61	74,01
1,26	0,14	0,66	78,78	0,54	74,28
1,575	0,12	0,55	78,57	0,45	73,71
1,89	0,09	0,43	78,40	0,35	73,03
2,205	0,07	0,31	78,28	0,25	72,47
2,52	0,04	0,19	78,21	0,15	72,08
2,835	0,01	0,06	78,17	0,05	71,89
3,15	-0,01	-0,06	78,17	-0,05	71,89
3,465	-0,04	-0,19	78,21	-0,15	72,08
3,78	-0,07	-0,31	78,28	-0,25	72,47
4,095	-0,09	-0,43	78,40	-0,35	73,03
4,41	-0,12	-0,55	78,57	-0,45	73,71
4,725	-0,14	-0,66	78,78	-0,54	74,28
5,04	-0,16	-0,75	78,96	-0,61	74,01
5,355	-0,17	-0,78	78,54	-0,73	77,14
5,67	-0,15	-0,70	78,17	-0,65	76,56
5,985	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Крутні моменти M_t

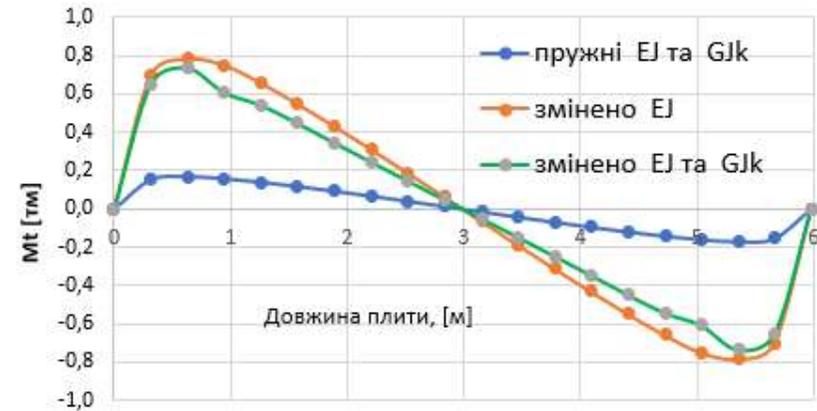


Рис.3 Епюри крутних моментів в перерізах плити П-1 за різних характеристик жорсткостей

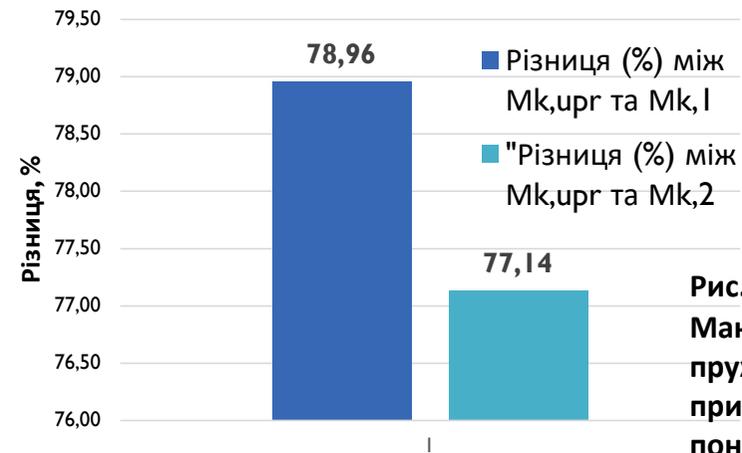


Рис. 4
Максимальні M_t (%) при пружному розрахунку та при розрахунках з пониженими жорсткостями внаслідок тріщиноутворення

Таблиця 3. Перерізуюча сила в перерізах плити П-3 по її довжині

Відстань від початку довжини плити, м	Перерізуюча сила Q_y , [т]				
	Q_y при пружних EJ та GJk	Q_y [т] при EJ _{срс}	%	Q_y [т] при EJ _{срс} та GJk _{срс}	%
1	2	3	4	5	6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,315	0,15	0,70	78,5	0,65	76,56
0,63	0,17	0,78	78,20	0,73	77,14
0,945	0,16	0,75	78,96	0,61	74,01
1,26	0,14	0,66	78,78	0,54	74,28
1,575	0,12	0,55	78,57	0,45	73,71
1,89	0,09	0,43	78,40	0,35	73,03
2,205	0,07	0,31	78,28	0,25	72,47
2,52	0,04	0,19	78,21	0,15	72,08
2,835	0,01	0,06	78,17	0,05	71,89
3,15	-0,01	-0,06	78,17	-0,05	71,89
3,465	-0,04	-0,19	78,21	-0,15	72,08
3,78	-0,07	-0,31	78,28	-0,25	72,47
4,095	-0,09	-0,43	78,40	-0,35	73,03
4,41	-0,12	-0,55	78,57	-0,45	73,71
4,725	-0,14	-0,66	78,78	-0,54	74,28
5,04	-0,16	-0,75	78,96	-0,61	74,01
5,355	-0,17	-0,78	78,54	-0,73	77,14
5,67	-0,15	-0,70	78,17	-0,65	76,56
5,985	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

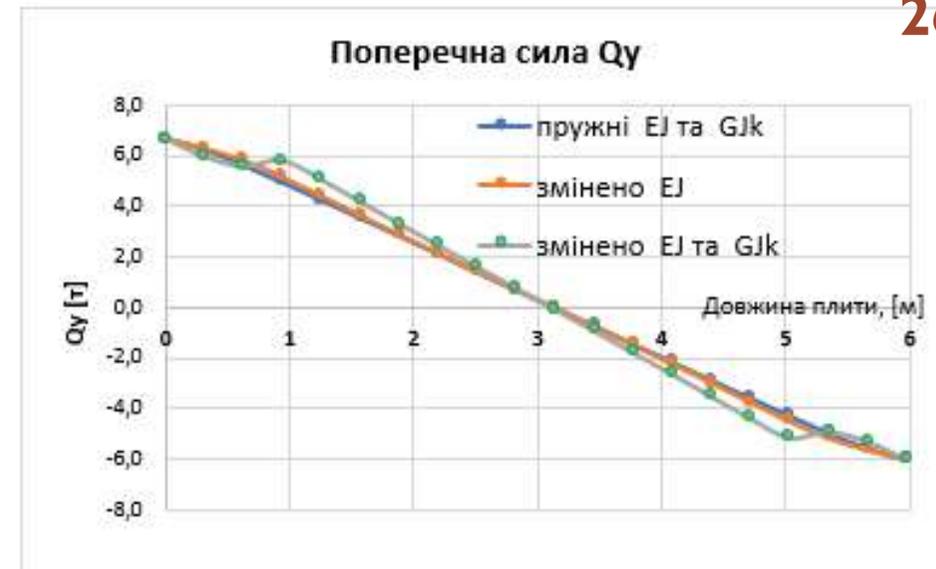


Рис. 5 Епюри перерізуючої сили в перерізах плити П-3 за різних характеристик жорсткостей

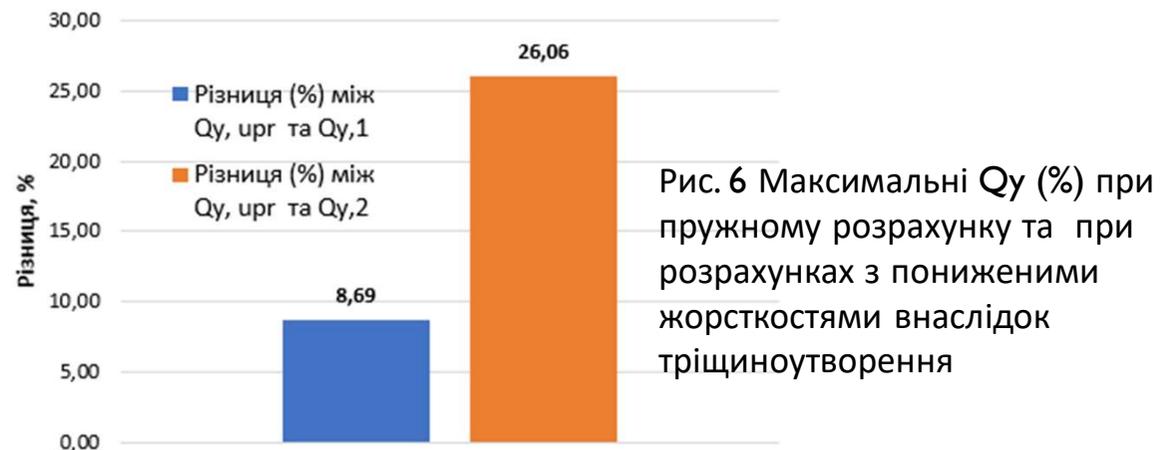


Рис. 6 Максимальні Q_y (%) при пружному розрахунку та при розрахунках з пониженими жорсткостями внаслідок тріщиноутворення

ВИСНОВКИ

- ❖ Апроксимація плитних елементів (багатопорожнистих збірних плит) стержневою системою доводить вірність результатів кінцево-елементного розрахунку. Таке представлення СЕ дозволяє точно оцінювати величини внутрішніх зусиль в елементах плитної ячейки перекриття.
- ❖ На простому прикладі показано **важливість врахування** при статичному розрахунку плитної залізобетонної системи в пластичній стадії її роботи не лише зменшено внаслідок тріщиноутворення жорсткості при вигині, але також **жорсткості при крученні також**.
- ❖ Так зміна в перерізах плит, де виникають нормальні від вигину тріщини, обох жорсткостей – при вигині й при крученні доводить, що величини M_u збільшуються до **8%** в порівнянні з випадком, коли змінена лише одна жорсткість при вигині (тут різниця становить **2,28%**). Така розбіжність у величинах моментів вигину вказує на те, що надзвичайно важливо враховувати й жорсткість при крученні таких елементів (плит) з тріщинами.
- ❖ Аналіз зміни крутних моментів показує, навпаки, зменшення величини крутних моментів (з **78,96%** до **77,14 %**) при врахуванні пониження обох жорсткостей в порівнянні зі зниженням лише одного типу жорсткості.
- ❖ Аналіз зміни перерізуючої сили в розрахункових випадках показує суттєве збільшення Q_u з **8,69%** до **26,06%** у випадку врахування пониження обох типів жорсткостей.
- ❖ Аналіз деформативності варіантів показує суттєве збільшення деформативності плитних систем з тріщинами – в **5,3** рази (при пониженні лише згинальної жорсткості) та до **5,7** разів при пониженні обох типів жорсткостей.

CERTIFICATE

is awarded to

Hopka Valentyn

for being an active participant in
II International Scientific and Practical Conference

**“GLOBAL TRENDS IN
SCIENCE AND EDUCATION”**

24 Hours of Participation
(0,8 ECTS credits)



KYIV

10-12 March 2025



sci-conf.com.ua