

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

**До захисту**  
**Допускається**  
Завідувач кафедри  
Будівельних конструкцій

\_\_\_\_\_  
/...../

підпис

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**за другим рівнем вищої освіти**

**На тему: «Врахування кручення в розрахунках залізобетонних  
статично невизначених систем»**

Виконав (ла)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Надсіна О. В.

\_\_\_\_\_  
(Прізвище, ініціали)

Група

(Науковий)

керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

ЗПЦБ 2201м

Срібняк Н.М.

\_\_\_\_\_  
(Прізвище, ініціали)

Суми – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівельних конструкцій

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

**ЗАВДАННЯ**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

**Надєїна Олена Вікторівна**

**Тема роботи:** Врахування кручення в розрахунках залізобетонних статично невизначених систем

Затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2023р.

Строк здачі студентом закінченої роботи: "\_04\_" \_\_\_\_\_ 12\_\_\_\_\_ 2023 р.

Вихідні дані до роботи:

---

*Конструктивне рішення монолітного залізобетонного  
ребристого перекриття будівлі громадського призначення*

---

---

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

*Виконати огляд джерел щодо питань розрахунків із пониженими в наслідок тріщиноутворення жорсткостями елементів залізобетонних перекриттів, що працюють на вигин; створення СЕ моделі залізобетонного ребристого перекриття; виконання пружних розрахунків та розрахунків з пониженими жорсткостями при вигині та крученні в результаті утворення нормальних тріщин в головних ребрах покриття. Аналіз результатів статичних розрахунків. Формулювання висновків.*

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)

. . .

(Прізвище, ініціали)

**Завдання прийняв до виконання:**

**Здобувач**

(підпис)

О.В. Надєїна

(Прізвище, ініціали)

## Анотація

**Надеїна Олена Вікторівна. Врахування кручення в розрахунках залізобетонних статично невизначених систем – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.**

**Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2023.**

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляд досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновки за результатами МКР (українською та англійською мовами). Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Результати досліджень дозволяють числовим методом шляхом виконання числового експерименту оцінити напружений стан елементів залізобетонного ребристого перекриття з урахуванням виникнення нормальних тріщин, яке відбувається в пластичній стадії його роботи. Висновки дозволяють окреслити перспективи досліджень надалі .

Аналіз публікацій та досліджень встановив, що просторова робота статично невизначуваних будівельних систем, якими є залізобетонні диски перекриттів обумовлює перерозподіл зусиль в елементах таких конструктивів. В свою чергу цей перерозподіл залежить від жорсткостей не лише на вигин, але й жорсткостей на кручення. Жорсткість на кручення необхідно враховувати оскільки крутні моменти за певних умов можуть досягати значних величин в системах залізобетонних перекриттів. Обидва значення цих жорсткостей залежать від тріщиноутворення в пластичній стадії роботи. Особливий вплив здійснюють нормальні від вигину тріщини. Огляд показав, що норми не містять методик визначення жорсткості при крученні елемента перекриття, що має нормальні від

виину тріщини. В той час як методика визначення жорсткості при вигині в нормативних документах висвітлена. Т.Н. Азізовим запропонована методика визначення жорсткості при крученні для елементів прямокутного перерізу, що мають нормальні тріщини.

**В основній частині** наведено алгоритм виконання числового експерименту щодо статичного розрахунку скінченоеlementної схем монолітного ребристого перекриття будівлі громадського призначення. За різних способів зміни жорсткостей при крученні та при вигині для ребер (головних балок) монолітного перекриття встановлено характер і якість зміни напруженого стану цих ребер плити. Отримані результати відображені в порівняльних графіках та таблицях. Уточнений напружений стан дозволяє більш точно конструювати елементи плитно-ребристих систем залізобетонних перекриттів.

У **висновках**, зокрема, встановлено, що зміна саме жорсткості при крученні перерізів елементів залізобетонних перекриттів в наслідок виникнення нормальних тріщин істотно впливає на перерозподілення зусиль в системах, зусилля в яких не можна визначити із рівнянь статички. Пониження жорсткості при крученні за наявності лише нормальних тріщин раніше не враховувалася. Застосування методики, що запропонована Т.Н. Азізовим, в розрахунках дає можливість враховувати цей фактор.

Таке врахування є важливим зважаючи на потребу в більш точному проектуванні армування залізобетонних ребристих елементів перекриттів.

**Ключові слова:** монолітна ребриста залізобетонна плита, жорсткість на кручення, жорсткість на вигин, крутний момент, момент вигину, нормальна тріщина, поздовжня арматура

**Список публікацій** та/або виступів на конференціях студента:

Надеїна О.В., Срібняк Н.М., Галушка С.А. Вплив тріщиноутворення на перерозподіл зусиль в перекриттях// Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023. С. 99

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

**Структура роботи.** Робота складається з основного тексту на 46 сторінках, у тому числі 8 таблиць, 18 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 6 розділів, що включають висновки, список з 25 використаних джерел, 2 додатків на 42 сторінках. Графічна частина складається з 28 слайдів мультимедійної презентації.

## Abstract

**Nadeina Olena Viktorivna. Consideration of torsion in the calculations of reinforced concrete statically indeterminate systems** – Master's qualification work on manuscript rights.

**Master's qualification work** in specialty 192 "Construction and civil engineering". – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2023.

The **work consists** of the *content, the general characteristics of the work and its qualification features, an overview of research on the chosen topic, sections of the main part, conclusions* based on the results of the MQW (in Ukrainian and English).

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

The **analysis** of publications and studies established that the spatial behavior of statically indeterminate building systems, which are reinforced concrete slabs, causes the redistribution of forces in the elements of such structures. In turn, this redistribution depends not only on bending stiffnesses, but also on torsional stiffnesses. Torsional stiffness must be taken into account, as torques under certain conditions can reach significant values in reinforced concrete floor systems. Both values of these stiffness depend on the formation of cracks in the plastic stage of behavior. A special influence is carried out by cracks normal to bending. The review showed that the standards do not contain a methodology for determining the torsional stiffness of a floor element that has cracks normal to the fault. While the method of determining bending stiffness is covered in regulatory documents. T.N. Azizov proposed a method of determining torsional stiffness for rectangular cross-section elements with normal cracks.

In the **main part**, the algorithm for performing a numerical experiment on the static calculation of the finite element schemes of the monolithic ribbed floor of a public building is given. The nature and quality of changes in the stress state of these plate ribs have been determined by different methods of changing stiffness during torsion and

during bending for the ribs (main beams) of the monolithic floor. The obtained results are displayed in comparative graphs and tables. The refined stress state allows for more accurate construction of elements of slab-ribbed systems of reinforced concrete floors.

In the **conclusions**, in particular, it was established that the change in rigidity during torsion of the cross-sections of elements of reinforced concrete floors as a result of the occurrence of normal cracks significantly affects the redistribution of forces in systems in which the forces cannot be determined from the equations of statics. The reduction of torsional stiffness in the presence of only normal cracks was previously not taken into account. Application of the technique proposed by T.N. Azizov, in the calculations makes it possible to take this factor into account.

Such consideration is important in view of the need for more accurate design of reinforcement of reinforced concrete ribbed elements of floors.

**Key words:** monolithic ribbed reinforced concrete slab, torsional stiffness, bending stiffness, torque, bending moment, normal crack, longitudinal reinforcement

**A list of the student's publications and/or speeches at conferences:**

Nadeina O.V., Sribniak N.M., Halushka S.A. The effect of crack formation on the redistribution of efforts in floors// Materials of the All-Ukrainian scientific conference of students and postgraduates dedicated to the International Student Day (November 13-17, 2023) - Sumy, 2023. P.99

In the **appendices** are given; abstracts of the conference, an album of multimedia presentation slides.

**Structure of work.** The work consists of the main text on 46 pages, including 8 tables, 18 figures. The text of the work contains a general description of the work, 6 chapters including conclusions, a list of 25 used sources, 4 appendices on 42 pages. The graphic part consists of 28 slides of a multimedia presentation.

# ЗМІСТ

Завдання.....	
Анотація.....	
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА</b>	
<b>РОБОТИ.....</b>	
<b>РОЗДІЛ 2. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	
2.1 Аналіз публікацій та досліджень, що існують.....	
<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	
<b>РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ МОНОЛІТНОГО РЕБРИСТОГО</b>	
<b>ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ В ПК «ЛІРА».....</b>	
4.1 Конструктивне вирішення монолітного перекриття.....	
4.2 Алгоритм числового експерименту.....	
4.3 Скінченоелементне моделювання фрагменту каркасу.....	
<b>РОЗДІЛ 5. СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗ</b>	
<b>ВРАХУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ НОРМАЛЬНИХ ТРІЩИН.....</b>	
5.1 Призначення пружних жорсткостей ребрам системи.....	
5.2 Призначення нових жорсткостей кінцевим елементам з	
урахуванням наявності на ділянках ребер нормальних від вигину	
тріщин.....	
5.3 Статичний розрахунок елементів з урахуванням нормальних	
тріщин.....	
<b>РОЗДІЛ 6. ВИСНОВКИ</b>	
<b>Література.....</b>	
<b>Додатки.....</b>	
<i>Додаток А.</i> Зусилля в ребрах при зміні параметрів жорсткості згідно	
методик [1] та [2]	
<i>Додаток Б.</i> Програма з визначення згинальної та осьової жорсткості	
для елементів ребристих залізобетонних перекриттів з нормальними	
тріщинами за [2]	

*Додаток В. Тези доповіді на конференції*

*Додаток Г. Графічний матеріал (презентація)*

# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність теми

Системи, зусилля в яких не можна визначити методами статички, працюють просторово. Сумісною просторовою роботою всіх елементів характеризуються конструкції прогонових будов мостів, перекриттів [15-25].

Плита частини мостової споруди, що є проїзною, та діафрагми мостових споруд перерозподіляють навантаження між головними балками. Внутрішні зусилля у в'язях залежать від параметрів перерізу головних балок та геометричних розмірів плити проїзної частини. В пластичній стадії роботи після виникнення тріщин та пластичного деформування бетону та арматури перерозподіляються (змінюються) внутрішні сили у всіх елементах споруди. В цей же час в елементах конструкції виникають пластичні деформації.

До систем, які працюють в складному напруженому стані й в яких внаслідок тріщиноутворення відбувається перерозподіл жорсткостей між сусідніми елементами й, як наслідок, перерозподіл зусиль в елементах (плитній частині, ребристій частині).

Отримання реальної картини напруженого стану є важливою задачею інженерного розрахунку, який дозволяє уточнити армування елементів таких систем.

Числове дослідження (експеримент), що базується на методиках [1,2] є доречним та актуальним.

**Метою** роботи є отримання уточнених зусиль в окремих конструктивних елементах монолітного залізобетонного ребристого перекриття під час його розрахунку із врахуванням просторової роботи та тріщиноутворення.

**Задачі**, що корелюються з метою дослідження:

- Ознайомитися з дослідженнями, як теоретичними, так і експериментальним, що існують, стосовно просторової роботи

будівельних систем; досліджень, пов'язаних із визначенням жорсткості при крученні й міцності при крученні для елементів залізобетонних плоских систем перекриття;

- ознайомитися з методологією, яка існує, щодо обчислення жорсткості при вигині елементів ребристих перекриттів, в яких виникають нормальні від вигину тріщини [2];
- ознайомитися з методологією, яка існує, стосовно визначення крутильної жорсткості елементів ребристих перекриттів, в яких виникають нормальні від вигину тріщини [1];
- ознайомитися з програмою-алгоритмом визначення жорсткості при вигині елементів ребристих перекриттів, які мають нормальні тріщини, що розроблена на мові C++ .
- ознайомитися з програмою визначення крутильної жорсткості елементів ребристих перекриттів, що мають нормальні тріщини, й яка розроблена на мові BASIC.
- виконати числовий експеримент із застосуванням інженерної методики за [1] обчислення жорсткості при крученні для елементів залізобетонного ребристого перекриття, що мають нормальні від вигину тріщини. В рамках експерименту необхідно дослідити впливу зміни крутильної жорсткості залізобетонних елементів ребристих перекриттів в результаті виникнення в них нормальних тріщин на характер й величини внутрішніх зусиль (моментів вигину та моментів кручення).

**Об'єкт дослідження** – залізобетонні елементи ребристого перекриття, в яких, внаслідок роботи на вигин, виникають нормальні тріщини.

**Предмет дослідження** – крутильна жорсткість залізобетонних елементів прямокутного перерізу із нормальними тріщинами; напружений стан ділянки перекриття при врахуванні зміни крутильної жорсткості внаслідок виникнення нормальних тріщин в поздовжніх ребрах плити.

### ***Практичне значення одержаних результатів***

Результати числового експерименту дозволяють врахувати фактори, які не враховуються сучасними нормами проектування, як в Україні, так і за кордоном (ЕС, США).

Уточнений напружено-деформований стан статично невизначуваної системи перекриття, що визначається за допомогою нових методик дозволяє більш точно й раціонально запроектувати (заармувати) конструкцію залізобетонного перекриття.

### ***Апробація та публікація результатів роботи***

Результати числових досліджень опубліковано в збірнику тез: Надеїна О.В., Срібняк Н.М.,Галушка С.А. Вплив тріщиноутворення на перерозподіл зусиль в перекриттях // // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023. С.99

## **РОЗДІЛ 2. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1 Аналіз публікацій та досліджень, що існують**

Значна кількість факторів впливає на жорсткість перерізів, що встановлено, зокрема, в дослідженнях [15-22, 28].

Так, для залізобетонних плит перекриття (як збірних, так і монолітних) такими факторами є локальне завантаження, несиметрична геометрія ребер, отвори в перекритті та інші фактори. Плоскі перекриття із залізобетону є основним типом перекриттів. Вартість таких конструкцій досягає до 18-20% від загальної вартості робіт із зведення багатоповерхових будівель.

Перекриття виконують функцію горизонтальних діафрагм жорсткості. Конструкції перекриттів сприймають вертикальні та горизонтальні навантаження.

Числові методи розрахунку будівельних конструкцій дозволяють розраховувати будівельні конструкції в пластичній стадії їх роботи, що дозволяє враховувати ряд факторів: повзучість бетону, утворення тріщин.

Різними видами досліджень просторової роботи збірних та монолітних залізобетонних перекриттів - теоретичними й експериментальними, в різні періоди займалися Азізов Т.Н., Карнет Ю.Н., Алексєєв О.В., Айвазов Р.Л., Дмитрієв С.А., Арзуманян К.М., Барашиков А.Я., Горнов В.М., Крамар В.Г., Карабанов Б.В., Орловський Ю.І., Семченков О.С., Lubel L. [4], Lutrin P. та інші. Дослідженнями жорсткості залізобетонних елементів під час кручення присвячені праці Дорофєєва В.С., Горнова В.М., Карабанова Б.В., Єлагіна Є.Г., Карпенка М.І., Карнета Ю.М., Карпенка М.І., Мрачковського Л.І., Маміна О.М., Яременка О.Ф., Csikós A., Hegedûs I., Rahal Khaldoun N. та інших.

В балочних елементах (ребрах) як монолітних, так і збірних перекриттів, мають місце моменти як згину, так і моменти кручення. Ці внутрішні зусилля залежать від згинних та крутильних жорсткостей та від способу прикладення навантаження.

Тріщиноутворення в залізобетонних елементах, що працюють переважно на вигин, суттєво впливає на напружено-деформований стан та характеристики жорсткості перерізів залізобетонного елемента.

Численними експериментальними дослідженнями констатовано зв'язок тріщин різного типу (нормальних, похилих, просторових спіральних) на зміну не лише жорсткості при згині, але й також **крутильної жорсткості**.

У відомих літературних джерелах, як наукових, так і нормативних практично не містяться дані стосовно методики визначення крутильних жорсткостей елементів залізобетонних, в яких утворюються нормальні тріщини. Однак численними дослідженнями, в тому числі й експериментального характеру, встановлено вплив нормальних до поздовжньої осі балки тріщин на зміну не тільки жорсткості при згині, але й крутильної жорсткості.

Ті, дослідження, які існують, переважно стосуються вивченню та дослідженню міцності, а також деформативності елементів при виникненні в них просторових тріщин (роботи М.І. Карпенка).

Теорія, що розглядає явище деформування залізобетону з тріщинами розглядає присутність спіральних просторових тріщин (від кручення) та є зовсім неприйнятною для елементів, в яких виникають нормальні тріщини. Але експериментальним шляхом доведено, що виникнення нормальних тріщин, обумовлює зміни (збільшення чи зменшення) жорсткостей при крученні (роботи Б.В. Карабанова, Айвазова, Арзуманяна та інші).

При традиційному проектуванні й в пружній постановці задачі вплив на напружено-деформований стан крутних моментів, а не лише моментів згину не враховується.

В чинних нормах з розрахунку залізобетонних конструкцій взагалі немає методики, щоб враховувала крутильну жорсткість елементів, які зазнають впливу згину з крученням. Ні джерела [3], ні Європейський код [7], ні норми України [5] не враховують фактор впливу крутних моментів на загальну картину напружено-деформованого стану.

В європейських нормах[7] зазначено, що у випадку, коли стійкість конструкції не залежить від несучої здатності на кручення, то не потрібно враховувати фактор крутних моментів при конструюванні статично невизначуваних систем та перевірці їх перерізів за 1-ю групою граничних станів. Рекомендовано приймати мінімальне армування у вигляді поздовжніх стержнів та хомутів. Таке армування прийнято з метою запобігання тріщиноутворення, що може бути надмірним.

В джерелі [3] відсутня методика визначення жорсткості при крученні з урахуванням нормальних тріщин.

Методика норм [2] дозволяє визначити жорсткість на згин для елемента з нормальними тріщинами. На основі цієї методики була розроблена програма на мові C++ . Вікно програми наведено на рис. 1.1.

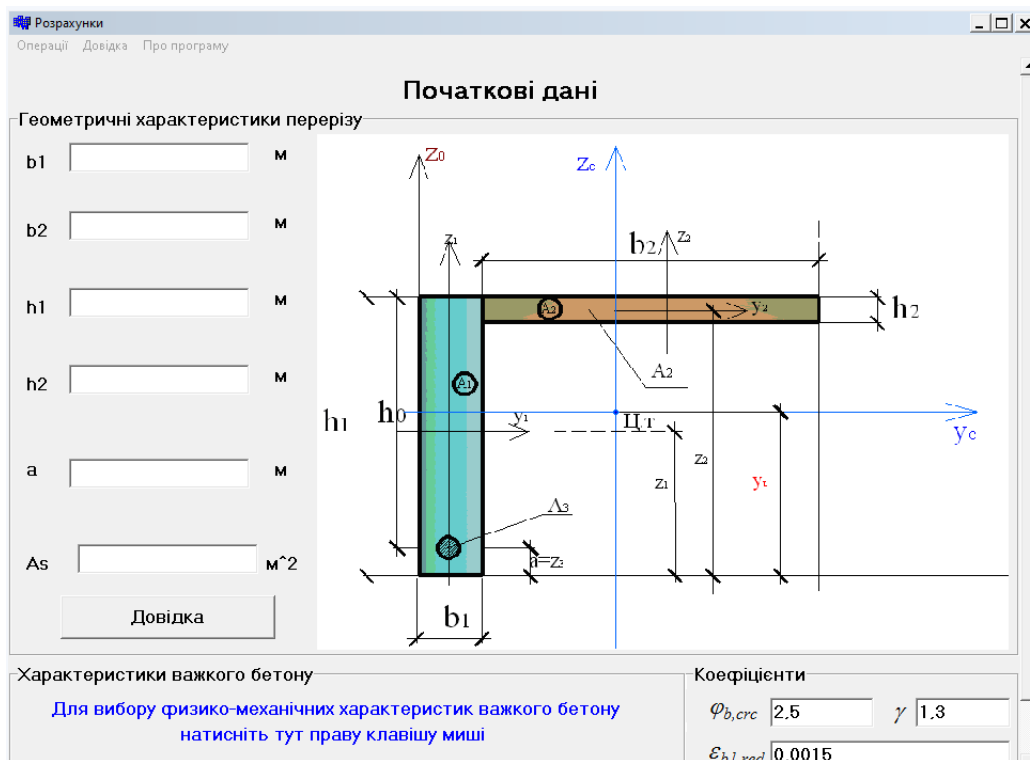


Рис. 2.1 Вікно програми для обчислення жорсткості на згин для елемента з нормальними тріщинами за методикою норм [2]

Висновки, що можна сформулювати з огляду досліджень сумісної (просторової) роботи перекриттів із залізобетону, говорять про те, що на роботу певних ділянок перекриття суттєво впливає не лише жорсткість елементів при згині, але й жорсткість при крученні елементів теж суттєво впливає на картину напружено-деформованого стану. Експериментам було встановлено, що жорсткісні параметри ребер збірних плит змінюють при виникненні тріщин. Хоча просторові тріщини від крутних зусиль взагалі відсутні на ділянках, що знаходяться на значній відстані від опор.

Робота залізобетонних елементів, які працюють на вигин з крученням, гарно може бути змодельована моделюється з використанням просторових скінчених елементів, які запропонував С.Ф. Клованич [8]. Але, при створенні аналітичної моделі ребер перекриттів такими елементами із урахуванням їхньої просторової роботи є завданням не простим.

Т.Н. Азізовим розроблено числово-аналітичний метод [9,10,11], що

дозволяє визначити параметри крутильної жорсткості залізобетонного елемента різної форми перетину, що має нормальні від вигину тріщини. Ця методика базується на методі лінійних скінчених елементів (методі смуг) [10,11,17,18].

### РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Серед методів, що використовуються в роботі, можна виділити: *аналітичний* метод збору та вивчення інформації, що дозволяє зібрати та проаналізувати дослідження з питання, що вивчається.

Застосовано також математичний метод – *метод скінчених елементів* при моделюванні та статичному розрахунку конструкції.

Згідно методу СЕ реальна конструкція представляється у вигляді моделі, що складається з певної кількості скінчених елементів. Між собою ці елементи з'єднуються у вузлах. Будівельна СЕ схема характеризується певною граничною кількістю скінчених елементів та вузлів, якими ці елементи з'єднуються. Від особливостей побудови скінченоелементної розрахункової схеми (моделі) залежить вірність її побудови, а значить й достовірність отриманого результату розрахунку, тобто правильність визначення зусиль, напружень в скінчених елементах та переміщень вузлів (деформацій конструкції).

Принцип визначення зусиль за МСЕ полягає у визначенні деформацій системи, та, як наслідок, напружень чи зусиль, що залежать від деформацій. Таким чином, базою для МСЕ є відомий аналітичний метод будівельної механіки- метод переміщень (деформацій).

*Числово-аналітична методика*, запропонована Т.Н. Азізовим [10,11,17,18], на базі якої створена програма на мові BASIC (дивись додаток [1]). Методика дозволяє визначити понижуючий коефіцієнт  $K_g$  до пружної жорсткості при крученні для ділянок стержньового елемента (ребра), де утворюються нормальні тріщини.

## РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ МОНОЛІТНОГО РЕБРИСТОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ В ПК «ЛІРА»

### 4.1 Конструктивне вирішення монолітного перекриття

Монолітне плитно-ребристе перекриття (рис.4.1) являє собою комбіновану систему, що складається з плити (що працює як балка чи пластина, оперта по контуру) і замоноличених одночасно з нею балок, які можуть розташовуватися в різних напрямках і перетинатися один з одним.

Всі елементи перекриття монолітно пов'язані між собою та являють одне ціле. Сутність конструкції монолітного ребристого перекриття полягає в тому, що бетон з метою економії вилучений із розтягнутої зони. Збережені лише ребра, в яких сконцентрована розтягнута арматура та які забезпечують міцність перерізу за похилими перерізами [12,13].

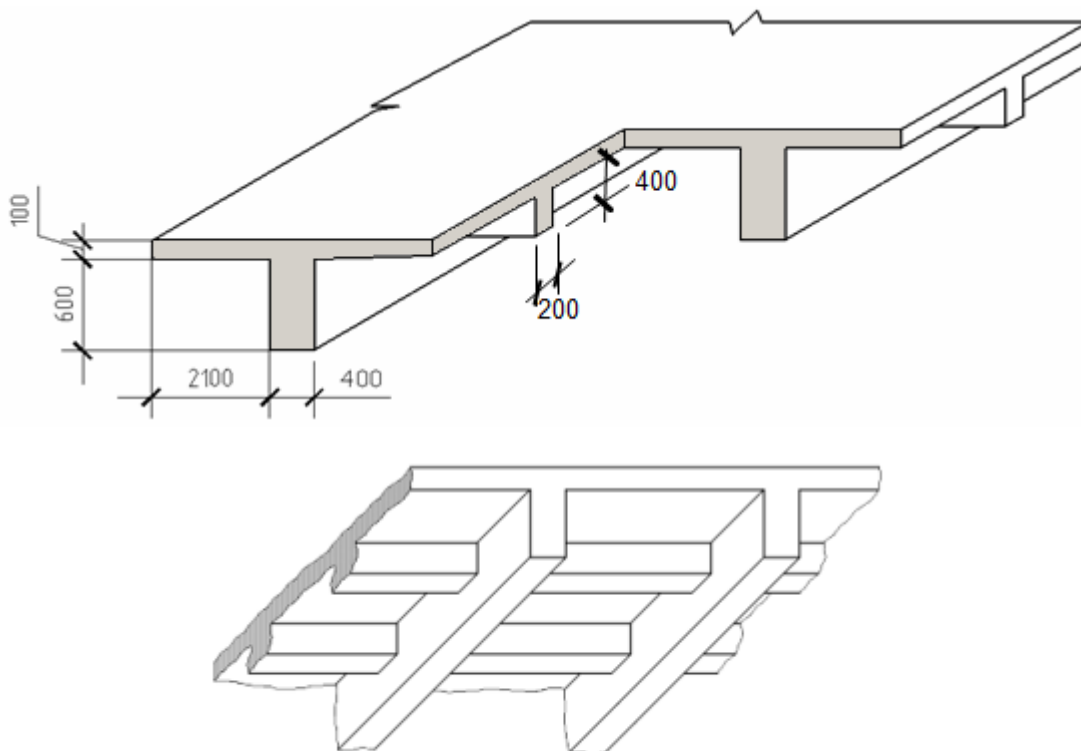
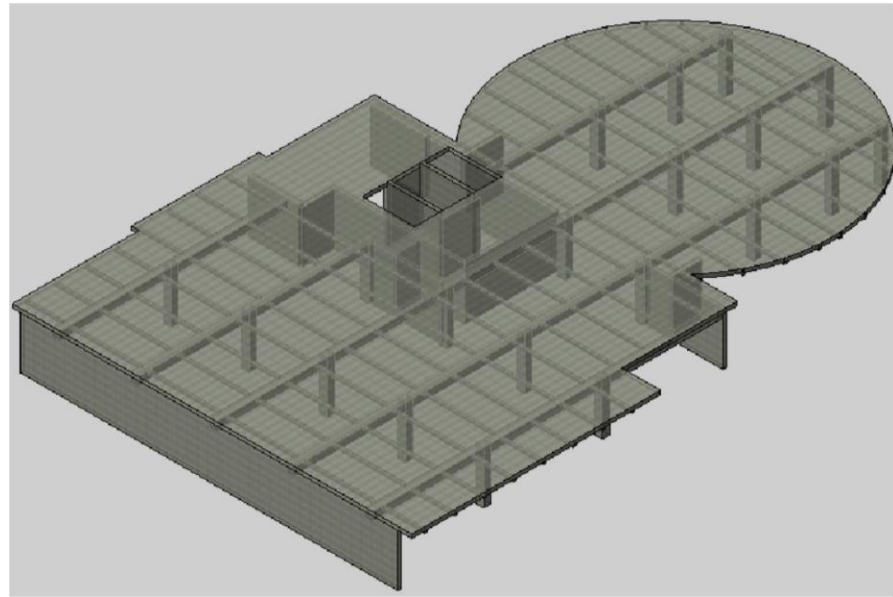


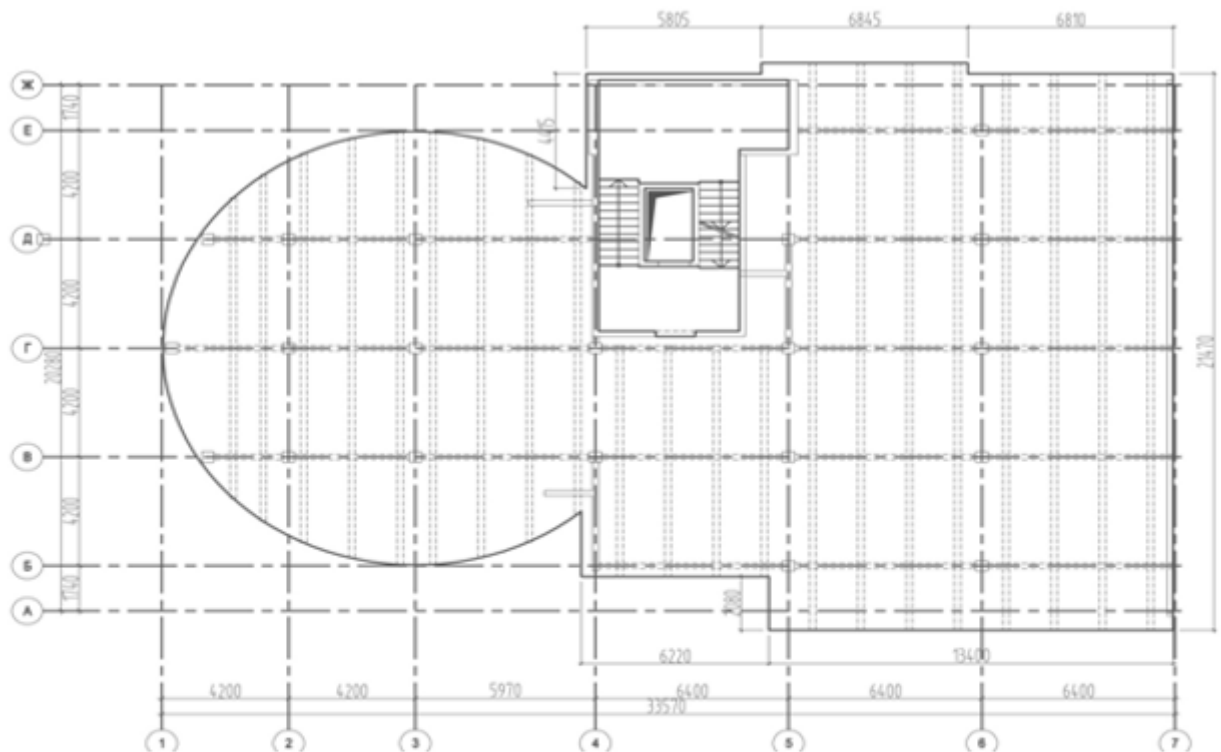
Рис.4.1 Фрагмент ребристого перекриття

Ребристе перекриття запроєктовано в блоці А (вісь 1-7, А-Ж) на відмітці +4,900 (перекриття 1-го поверху). Монолітна залізобетонна плита товщиною 100 мм, ГБ –400×600 (поздовжнє ребро), ДБ – 200×400 (поперечне ребро) з важкого литого (з осадкою конуса 18-22 см) бетону класу по міцності на стиск С20/25. Армування перекриттів передбачається в'язаною арматурою -

окремими стрижнями класу А500С (поздовжня арматура) і А240 (поперечна арматура).



а)

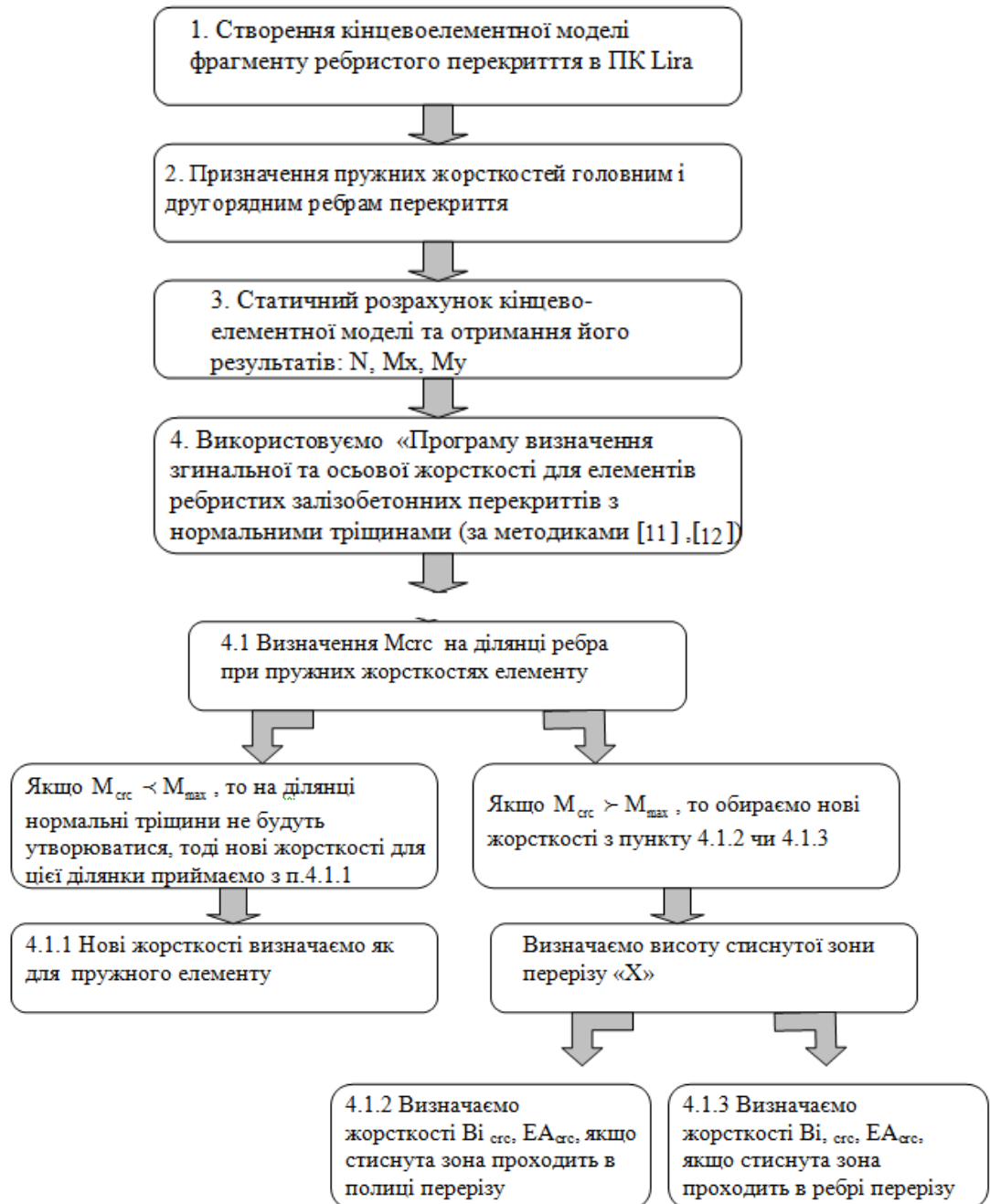


б)

Рис.4.2 Просторова модель монолітного перекриття-а; план монолітної плити перекриття – б

## 4.2. Алгоритм числового експерименту

На основі методики [1,11] для ребристих перекриттів різної конфігурації, розрахункова схема яких (рис.4.2) створюється в програмному комплексі, що реалізує метод скінчених елементів [14], запропоновано алгоритм числового виконання експерименту, послідовність якого наведена на рис.4.3.



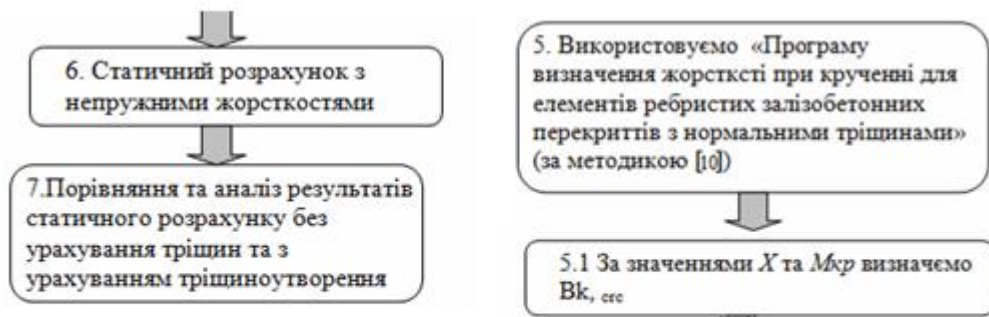


Рис.4.3 Алгоритм виконання числово-аналітичного експерименту з визначення НДС ребристого перекриття з нормальними тріщинами

### 4.3. Скінченоелементне моделювання фрагменту каркасу

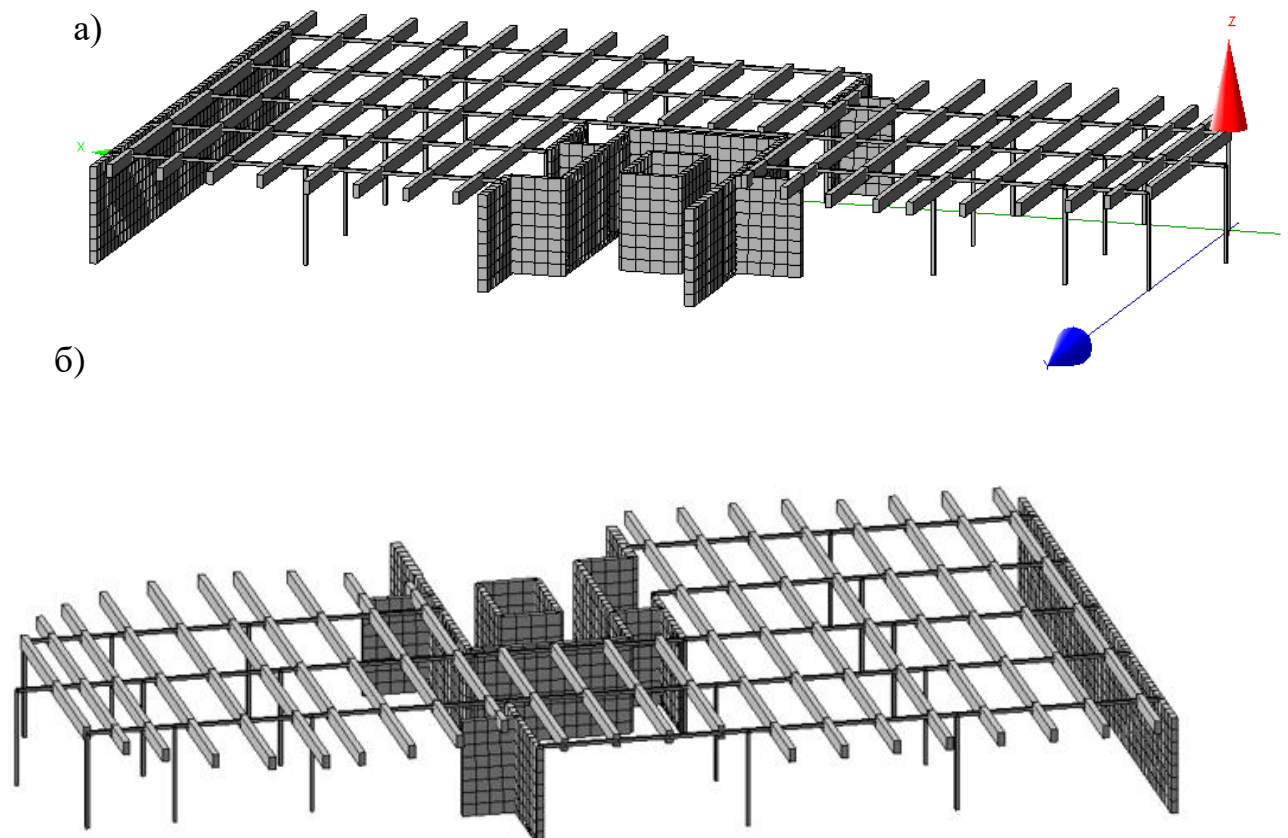
Поздовжні ребра та поперечні жорсткості створюють перехресну систему головних та другорядних балок (рис.4.1). Плитна частина перекриття умовно не задана. В цій схемі жорсткістю плити було знехтувано в запас міцності для балок.

Розрахунок конструкції будівлі виконаний програмним комплексом ЛИРА-САПР 2021. [14]. Стіни, колони, другорядні балки задані в пружній постановці. Головні балки конструкції задані стержньовими скінченими елементами SE10, жорсткісні характеристики якого призначені, як для стержневого залізобетонного елемента перерізом 400×600 мм. Класу міцності на стиск бетону C20/25. Збір рівномірно розподіленого навантаження по площі перекриття наведено в табл.4.1. Навантаження в таблиці 4.1 приведено до еквівалентного розподіленого по довжині балок (стержнів) монолітного перекриття.

Таблиця 4.1.Збір навантажень на плиту перекриття

№ п.п.	Вид навантаження	Нормативне навантаження, кН/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_f$	Розрахункове навантаження, кН/м <sup>2</sup>
1.	Постійне:			
1.1	Вага конструкції підлоги	1.62	1.3	2.11
1.2	Монолітна плита $\delta = 100$ мм	2.5	1,1	2.75
	Разом постійне навантаження, $g$	4.12		4.86
2.	Тимчасове:			
2.1	Корисне навантаження (житлові приміщення)	2	1,3	2.6
2.2	Вага перегородок	0.8	1.2	0.97
	Разом тимчасове навантаження, $V$	2.5		3.57
	Повне навантаження, $g + V$			8.43

Розрахункова схема монолітного ребристого перекриття наведена на рис. 4.4



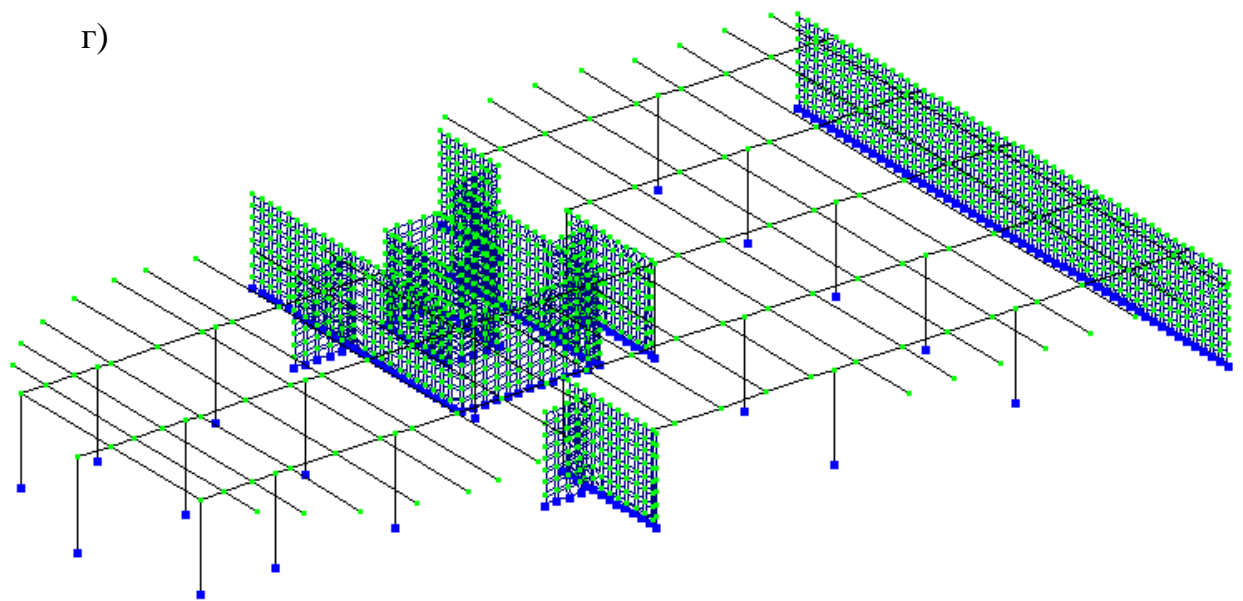
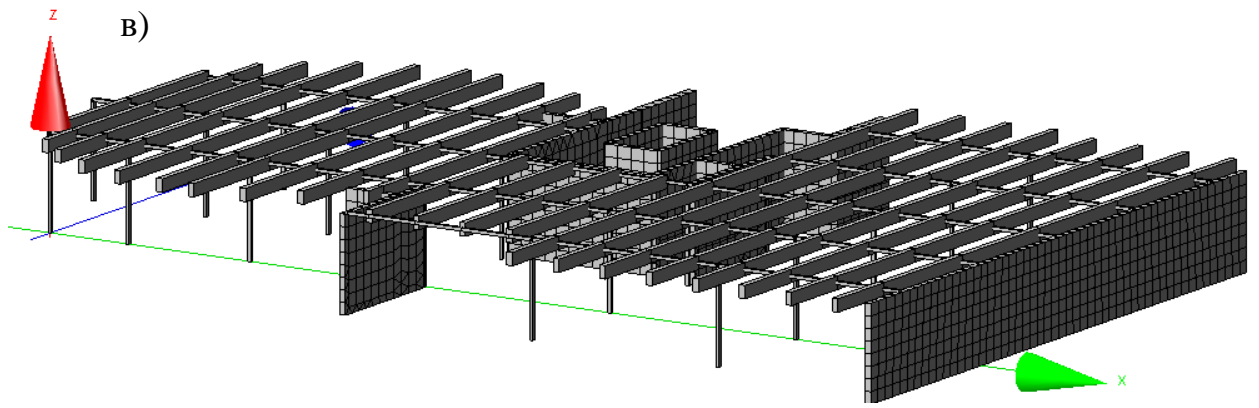
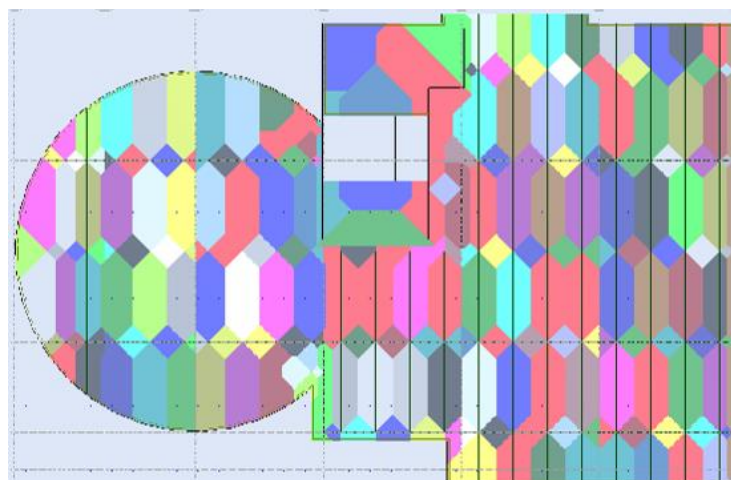


Рис. 4.4 Розрахункова схема плити перекриття: 3D –моделі (а,б);  
кінцевоелементна розрахункова схема (в)

На рис.4.5 зображено вантажні площі (рис.4.5,а), з яких було зібрано лінійне погонне навантаження до ребер перекриття (рис.4.5,б).



б)

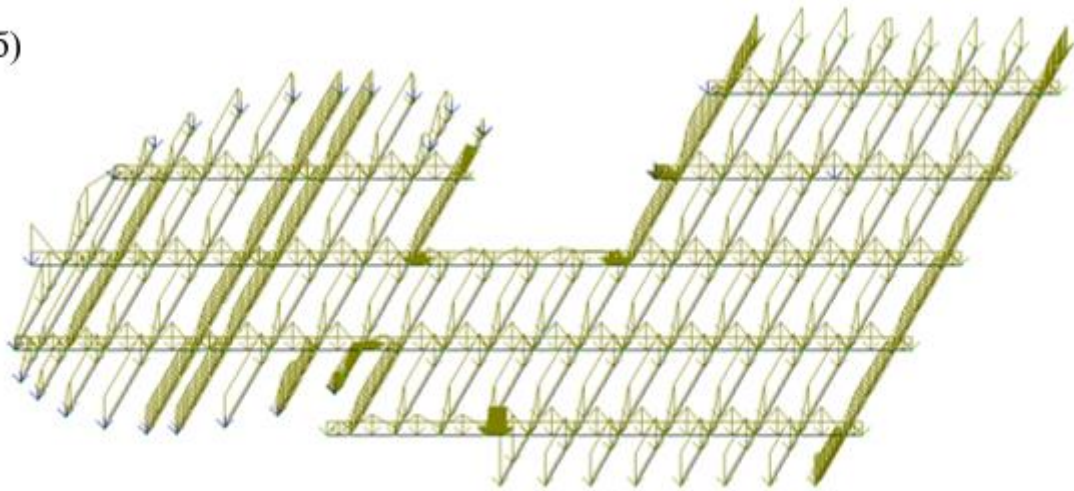


Рис.4.5 Вантажні площі для прикладення лінійно розподіленого навантаження до ребер системи (а); навантаження до ребер перекриття (б)

При проведенні числового експерименту для розрахунку в пружній постановці та при розрахунку з урахуванням змінених внаслідок тріщиноутворення жорсткостей при згині та при крученні ребра перекриття було замарковано ПР-1.... ПР-22.

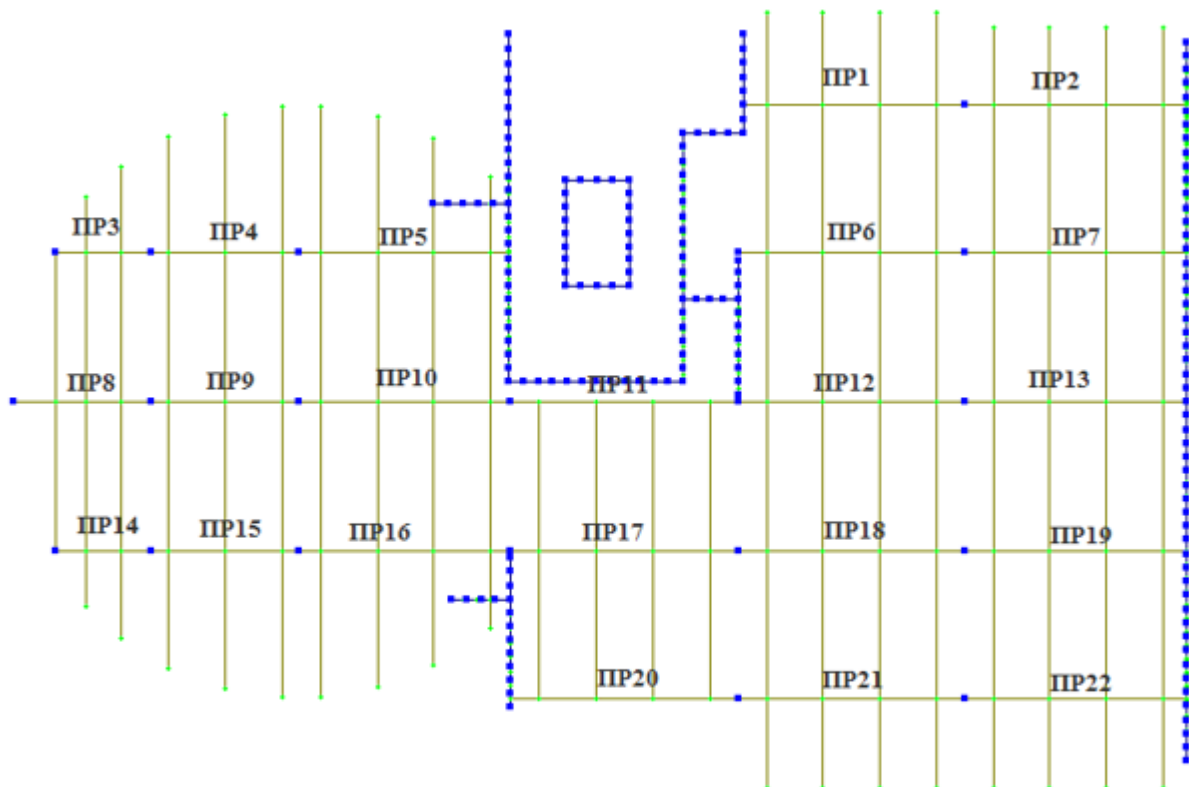


Рис.4.6. Схема розташування поздовжніх ребер перекриття (головних балок)

## РОЗДІЛ 5. СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗ ВРАХУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ НОРМАЛЬНИХ ТРІЩИН

### 5.1 Призначення пружних жорсткостей ребрам системи

Нехай спочатку жорсткості поздовжніх ребер однакові, постійні по всій довжині та еквівалентні перетину  $b \times h = 400 \times 600$  мм.

За допомогою ПК «Ліра» виконаємо статичний розрахунок із завданням початкових пружних жорсткостей на розтяг (стиск), вигин та кручення (нульова ітерація).

Схема зміни згинаючих і крутних моментів, наприклад, для поздовжнього ребра ПР-15 виглядає, як показано на рис.5.1. Аналогічними за характером розподілу зусиль будуть епюри в інших поздовжніх ребрах.

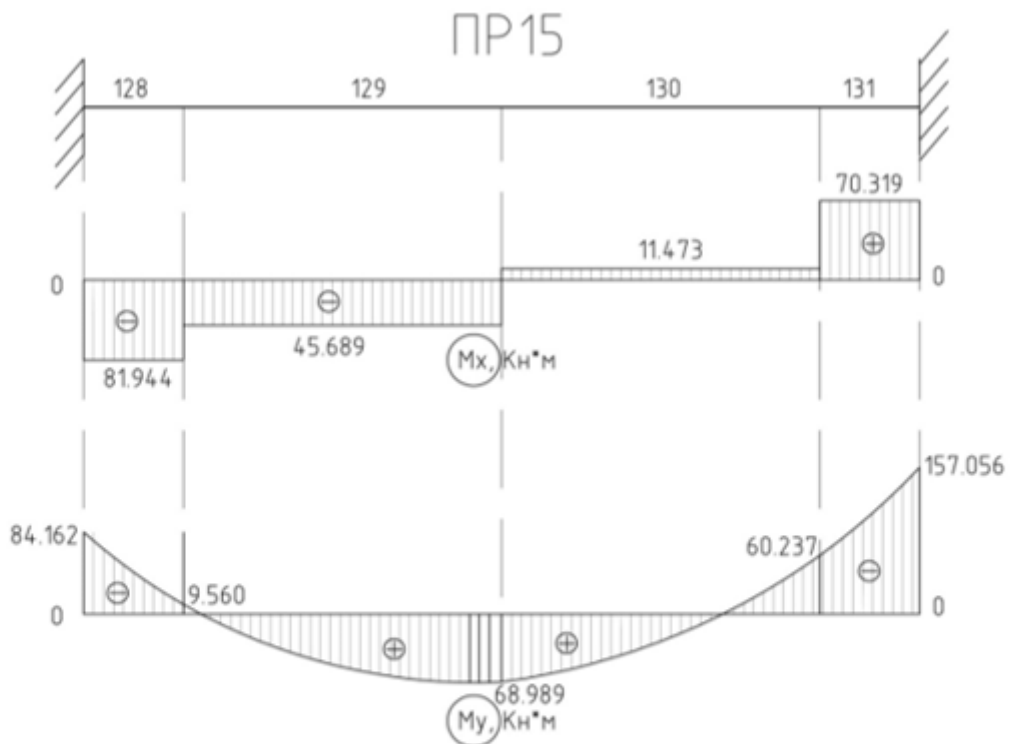


Рис.5.1.Епюра згинаючих і крутних моментів для поздовжнього ребра ПР-15 ячейки перекриття зі збірних ребристих плит після пружного розрахунку

## **5.2 Призначення нових жорсткостей кінцевим елементам з урахуванням наявності на ділянках ребер нормальних від вигину тріщин**

Розіб'ємо ребра монолітного перекриття по довжині прольоту на частини, включаючи перетини з максимальним моментом, що згинає, та максимальним моментом, що закручує. У кожному перетині проводимо розрахунок щодо утворення та розкриття тріщин. Розрахунок за утворенням нормальних тріщин проводимо за відомими методиками, включаючи нормативну [2]. При цьому визначаємо, в тому числі, і висоту стиснутої зони бетону. Жорсткість при згині елемента також визначається за нормативною методикою [2].

Програма для визначення осьової жорсткості та жорсткості при вигині на ділянках ребер, де виникають нормальні тріщини була розроблена за цією нормативною методикою на мові програмування C++ (див. додаток 3).

Утворення спіральних просторових тріщин і крутильну жорсткість на ділянці з просторовою тріщиною рекомендується визначати за розробленою М.І. Карпенко методикою.

Крутильна жорсткість елемента на ділянках з нормальними тріщинами визначається за методикою, розробленою в [1]. Ця методика реалізована в прикладній програмі, виконаною мовою програмування BASIC.

При цьому по довжині розглянутого ребра ПР-15 будуть мати місце ділянки з різною висотою стиснутої зони, а також ділянки без тріщин. Для розглянутого вище ребра, якщо розбити його по довжині на 4 ділянки, то розподіл глибини тріщини виглядає, як показано на рис 5.2.



Рис. 5.2 Розподіл глибини тріщини для ребра ПР-15 ячейки перекриття

Для порівняння зусиль, отриманих в ребрах при їх пружних жорсткостях, і зусиль, отриманих при жорсткостях з урахуванням нормальних тріщин, змінимо жорсткість при вигині, осьову та крутильну жорсткості всіх поздовжніх ребер перекриття згідно з новими жорсткостями, що враховують наявність нормальних тріщин та обчисленими за вищенаведеними методиками [1,2].

Виконуємо перерахунок зусиль в елементах ячійки перекриття з уточненими характеристиками жорсткості.

### 5.3 Статичний розрахунок елементів з урахуванням нормальних тріщин

Співставивши характер розподілу згинальних моментів і графіки зміни жорсткостей можна зробити висновок щодо закономірності такої зміни.

При рівномірному завантаженні ребристої системи перекриття значні крутні моменти виникають в крайніх поздовжніх ребрах (рис. 5.3).

На рис.5.3 позначені крайні поздовжні ребра, зміну зусиль в яких будемо аналізувати.

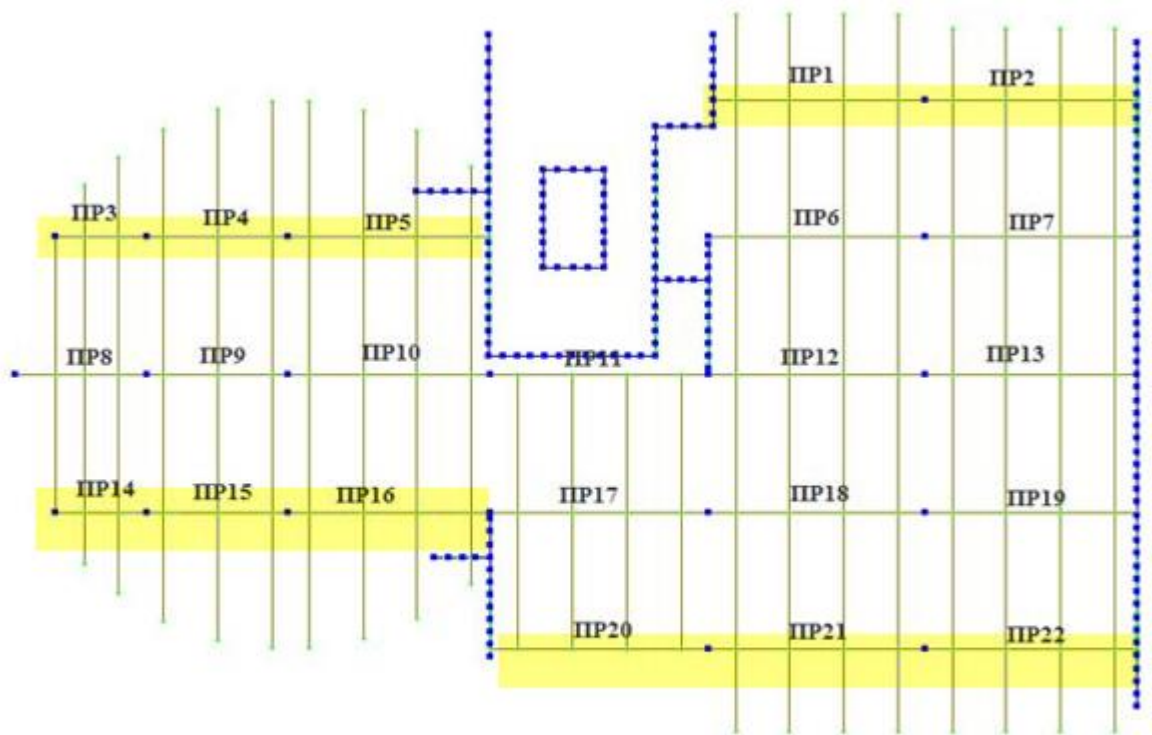
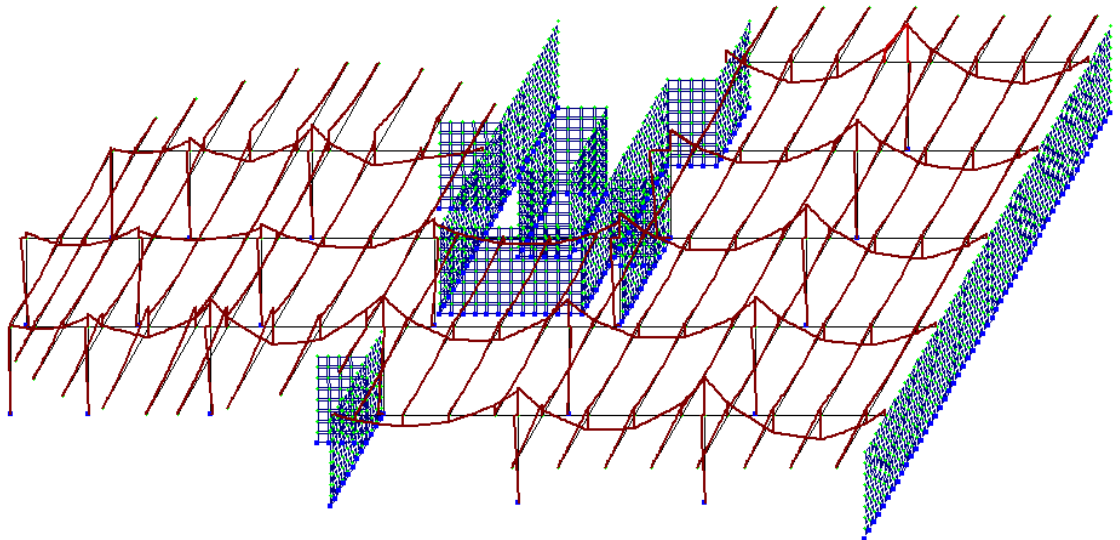


Рис.5.3 Поздовжні ребра монолітного перекриття (крайні в схемі), в яких виникають найбільші крутні моменти

Характер епюр внутрішніх зусиль в стержневих елементах розрахункової схеми наведено на рис. 5.4–5.5.

а)



б)

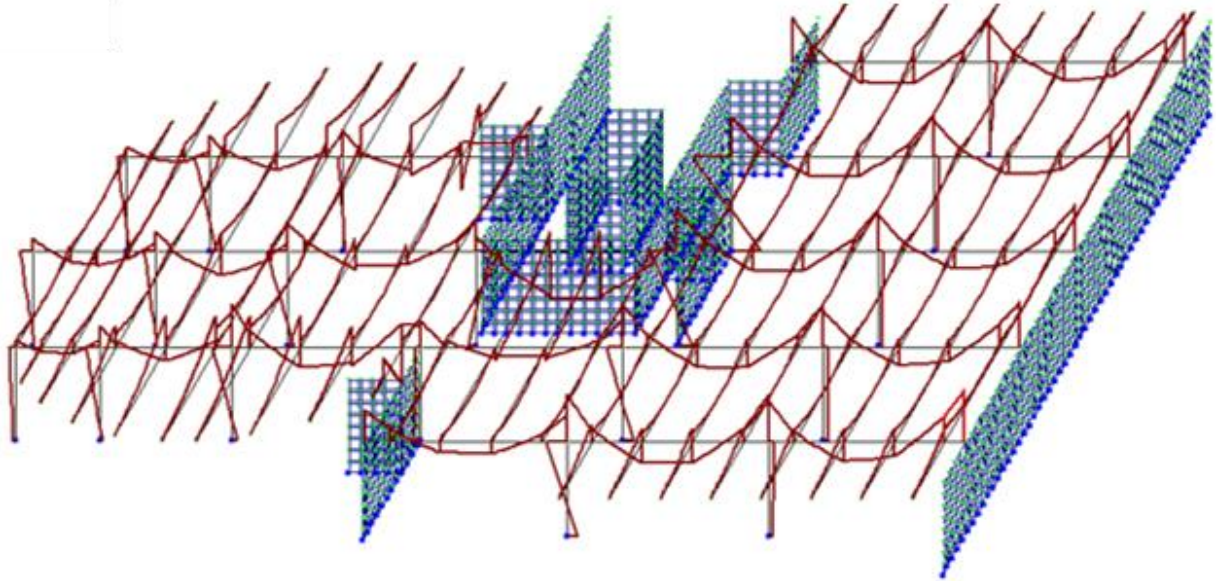
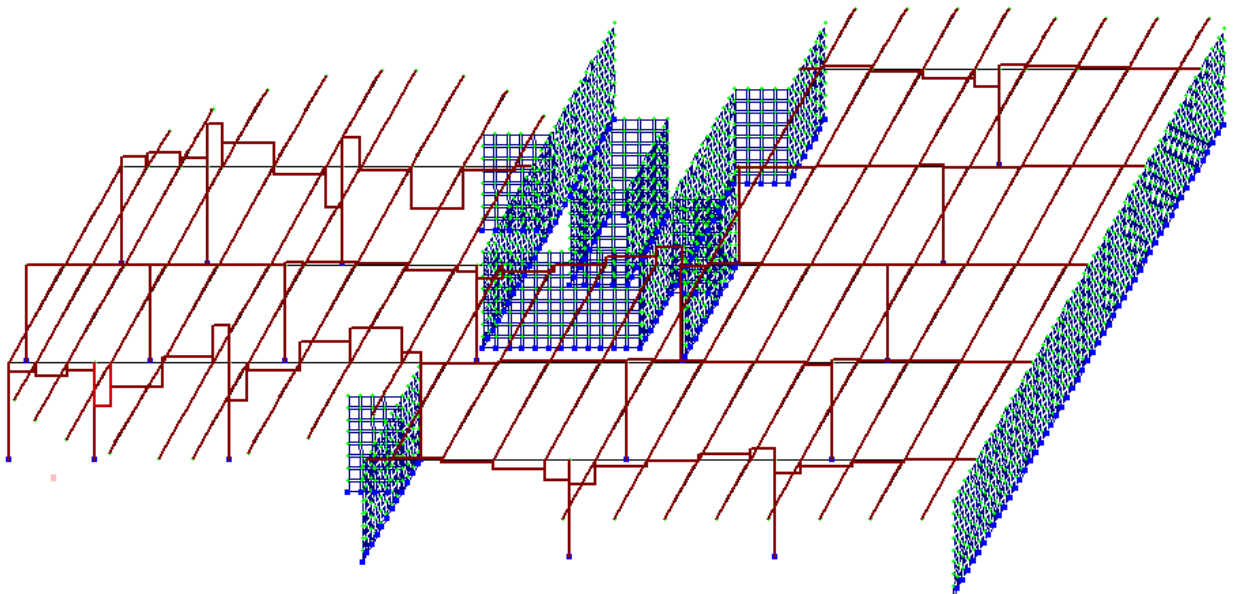


Рис. 5.4. Моменти згину в стержневих елементах розрахункової схеми в пружній постановці (а) та з врахуванням виникнення нормальних тріщин (б)

а)



б)

000 - 020°m

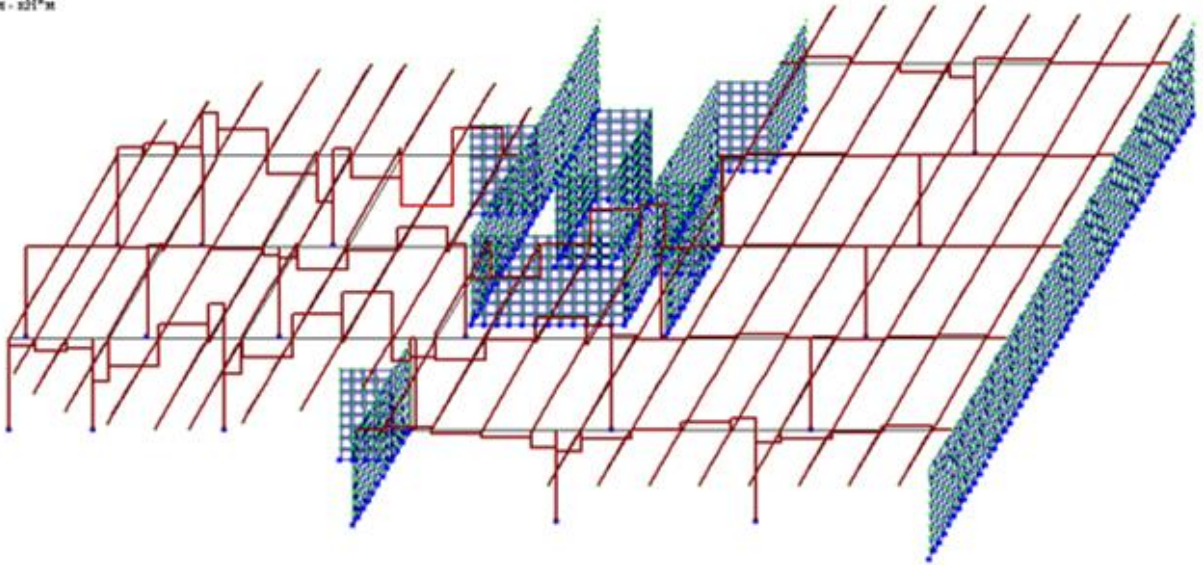
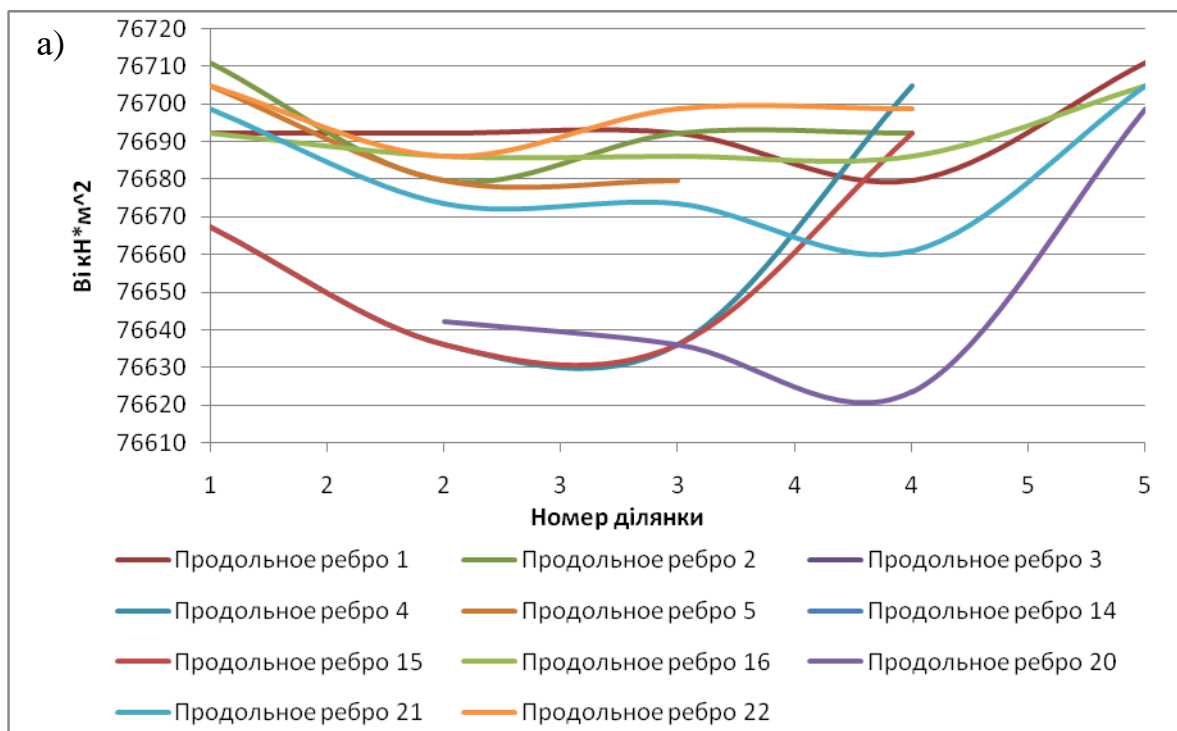


Рис. 5.5 Крутні моменти в стержневих елементах розрахункової схеми в пружній постановці (а) та з врахуванням виникнення нормальних тріщин (б)

Графіки зміни крутильної та згинальної жорсткостей для ребер, в яких утворюються нормальні тріщини, отримані за допомогою методик [1] і методики [2], наведено на рис.5.6.



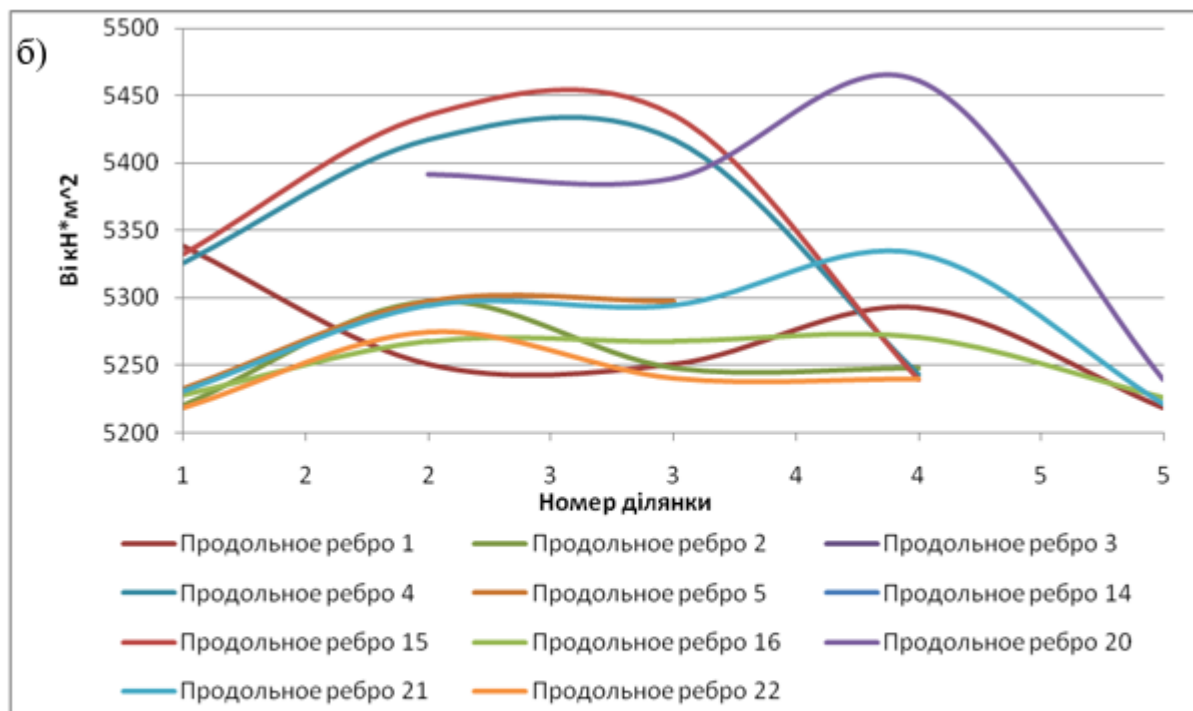


Рис. 5.6 Розподіл згинальної (а) і крутильної (б) жорсткостей в поздовжніх ребрах, що мають нормальні тріщини

Жорсткості по ділянках для розглянутого в прикладі ребра ПР-15, визначені за методикою [1], наведено у таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 -Значення  $K_g$  для ділянок ребра ПР-15**

№ ділянки	Максимальний момент згину (кНм)	Висота стиснутої зони (мм)	Відношення початкової жорсткості при крученні до жорсткості з тріщиною $K_g$
1	84,162	62,5	1,3308
2	68,989	66,7	1,3445
3	69,017	66,8	1,2384
4	157,056	57,8	1,7547

**Таблиця 5.2- Жорсткості для ділянок ребра ПР-15 з урахуванням тріщиноутворення**

№ ділянки	Жорсткість осьова $B_{os}, \text{кН}$	Жорсткість при вигині $B_i, \text{кН}\cdot\text{м}^2$	Жорсткість при крученні $B_t, \text{кН}\cdot\text{м}^2$
1	1943337,23	5333,05	70686,32
2	2075168,74	5435,78	69966,09
3	2074895,08	5435,55	75960,65
4	1797425,28	5239,53	53610,32

Реальний розподіл жорсткостей з урахуванням наявності нормальних тріщин в елементі наведено на рис. 5.7.

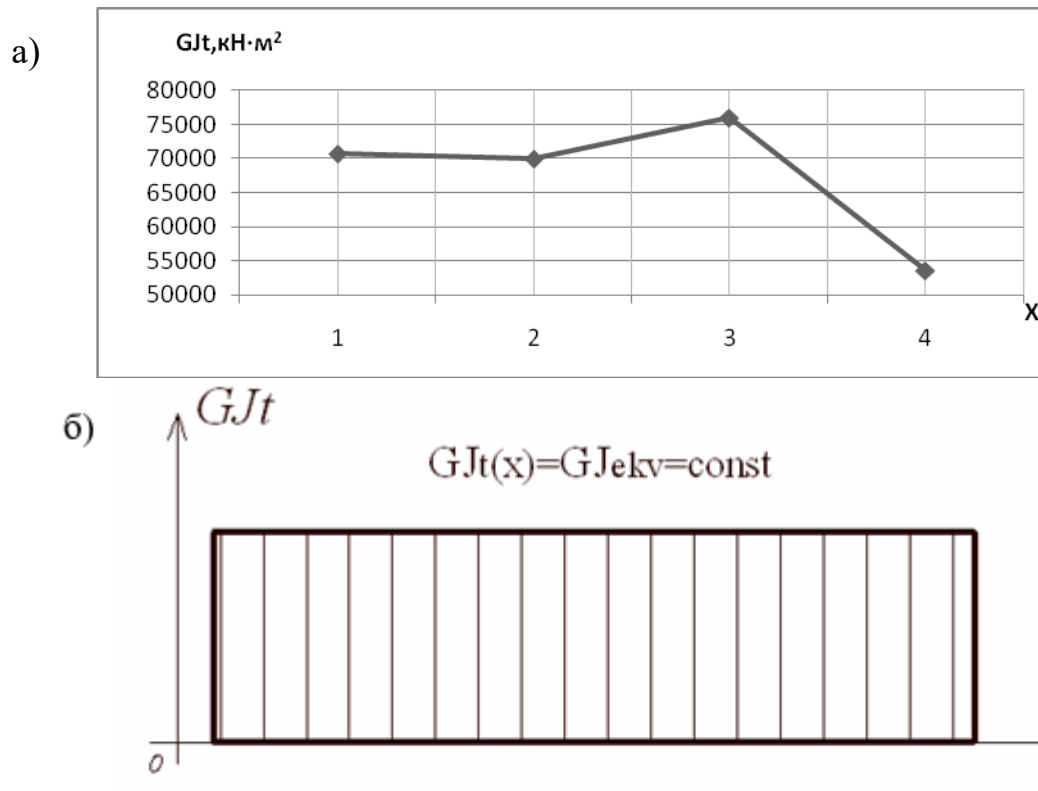


Рис.5.7 Реальний розподіл жорсткості при крученні в елементі ПР-15 з нормальними тріщинами (а), жорсткість (умовна) при пружному розрахунку (б)

Таблиця 5.3- Максимальні крутні моменти «М<sub>t</sub>» для елементів  
схеми за рис.5.5

№ ребра	M <sub>t, max</sub> , кН·м		$\frac{M_{t,upr}}{M_{tresh}}$	Різниця, %
	при пружному розрахунку	при розрахунку з урахуванням нормальних тріщин		
ПР-1	32,73	36,452	0,90	10
ПР-2	8,892	13,248	0,67	33
ПР-3	80,52	106,221	0,76	24
ПР-4	80,52	120,19	0,67	33
ПР-5	78,521	128,557	0,61	39
ПР-6	3,276	7,501	0,44	56
ПР-7	3,171	2,704	1,17	17
ПР-8	0,262	2,278	0,12	88
ПР-9	0,905	21,953	0,04	96
ПР-10	10,051	57,538	0,17	83
ПР-11	32,658	104,648	0,31	69
ПР-12	1,785	2,579	0,69	31
ПР-13	0,371	1,455	0,25	75
ПР-14	26,045	30,705	0,85	15
ПР-15	81,944	108,406	0,76	24
ПР-16	72,344	117,304	0,62	38
ПР-17	2,124	53,895	0,04	96
ПР-18	5,352	8,821	0,61	39
ПР-19	5,593	7,294	0,77	23
ПР-20	37,614	44,252	0,85	15
ПР-21	46,41	54,308	0,85	15
ПР-22	25,925	31,951	0,81	19

**Таблиця 5.4- Максимальні моменти « $M_y$ », що згинають , для схеми ребристого перекриття**

№ ребра	$M_y, \text{max, кН*м}$		$\frac{M_{y,upr}}{M_{y,tresh}}$	Різниця, %
	при пружному розрахунку	при розрахунку з урахуванням нормальних тріщин		
ПР-1	254,38	190,02	1,34	34
ПР-1	241,62	203,59	1,19	19
ПР-3	66,868	40,257	1,66	66
ПР-4	149,94	93,359	1,61	61
ПР-5	176,48	112,36	1,57	57
ПР-6	186,42	172,71	1,08	8
ПР-7	202,8	190,29	1,07	7
ПР-8	72,421	57,56	1,26	26
ПР-9	65,78	99,403	0,66	34
ПР-10	92,029	115,61	0,80	20
ПР-11	107,72	198,285	0,54	46
ПР-12	195,91	174,69	1,12	12
ПР-13	222,5	193,57	1,15	15
ПР-14	84,162	89,285	0,94	6
ПР-15	194,2	182,16	1,07	7
ПР-16	202,04	182,16	1,11	11
ПР-17	197,07	110,16	1,79	79
ПР-18	176,23	176,45	1,00	0
ПР-19	201,7	152,34	1,32	32
ПР-20	157,78	131,12	1,20	20
ПР-21	230,03	197,61	1,16	16
ПР-22	253,39	217,54	1,16	16

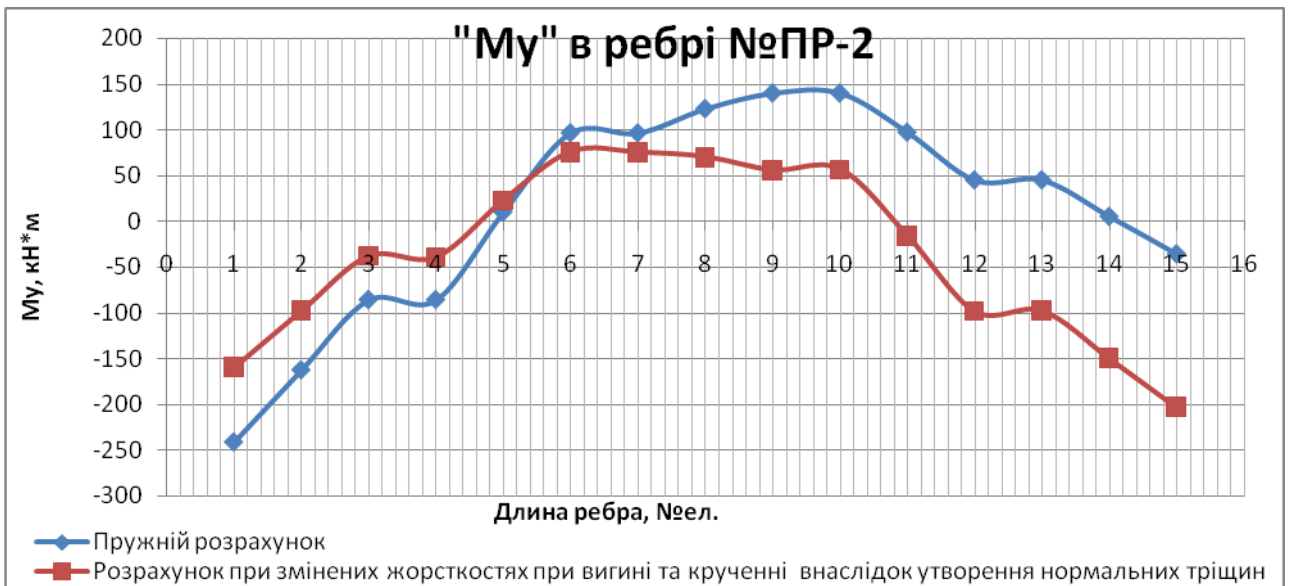
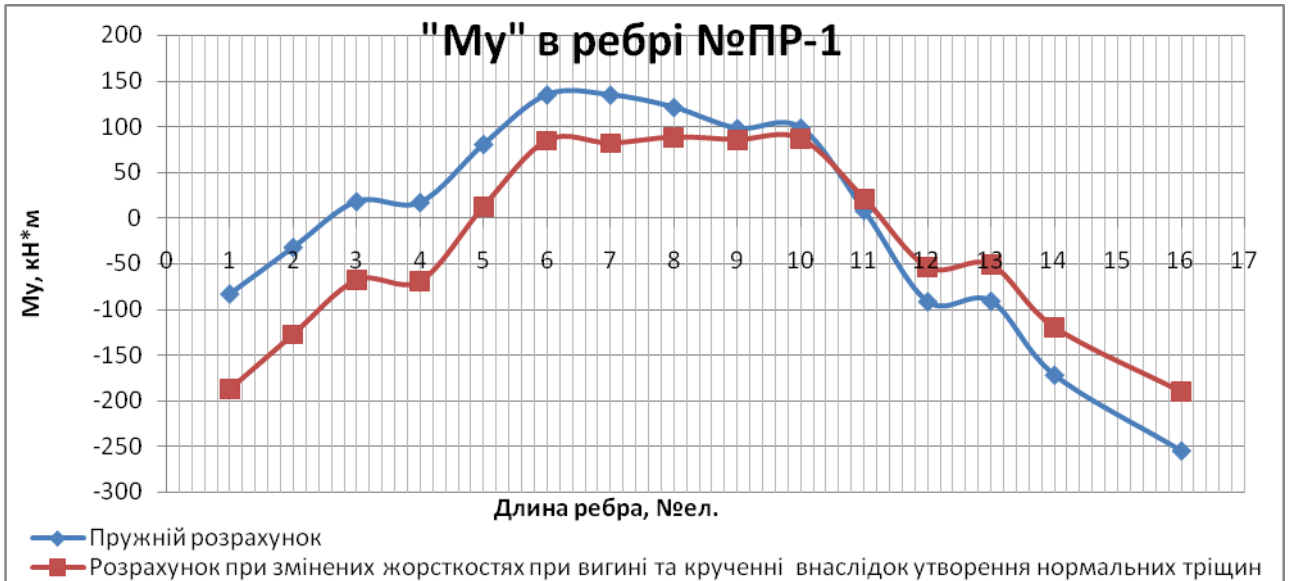
**Таблиця 5.5- Максимальні поздовжні зусилля «N» для схеми ребристог  
перекриття**

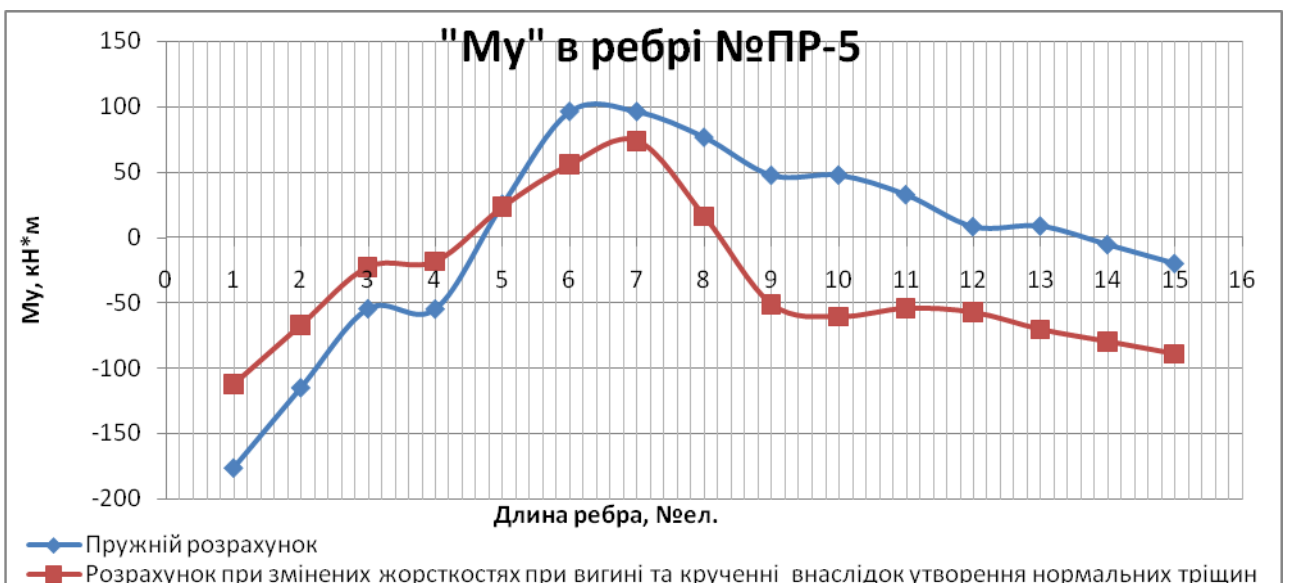
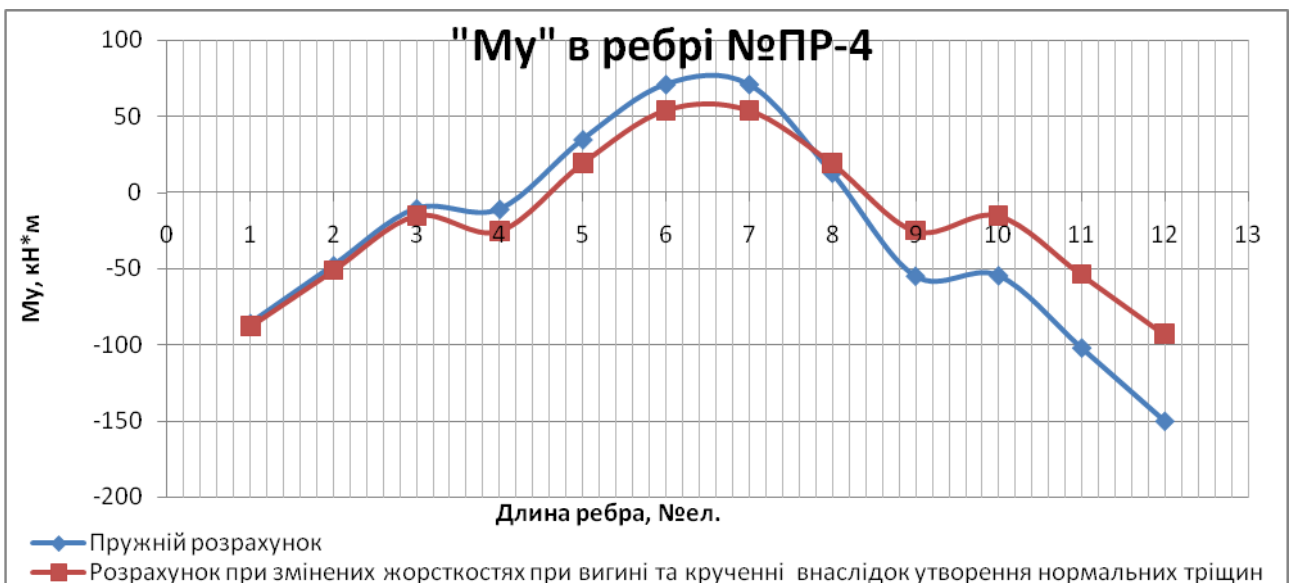
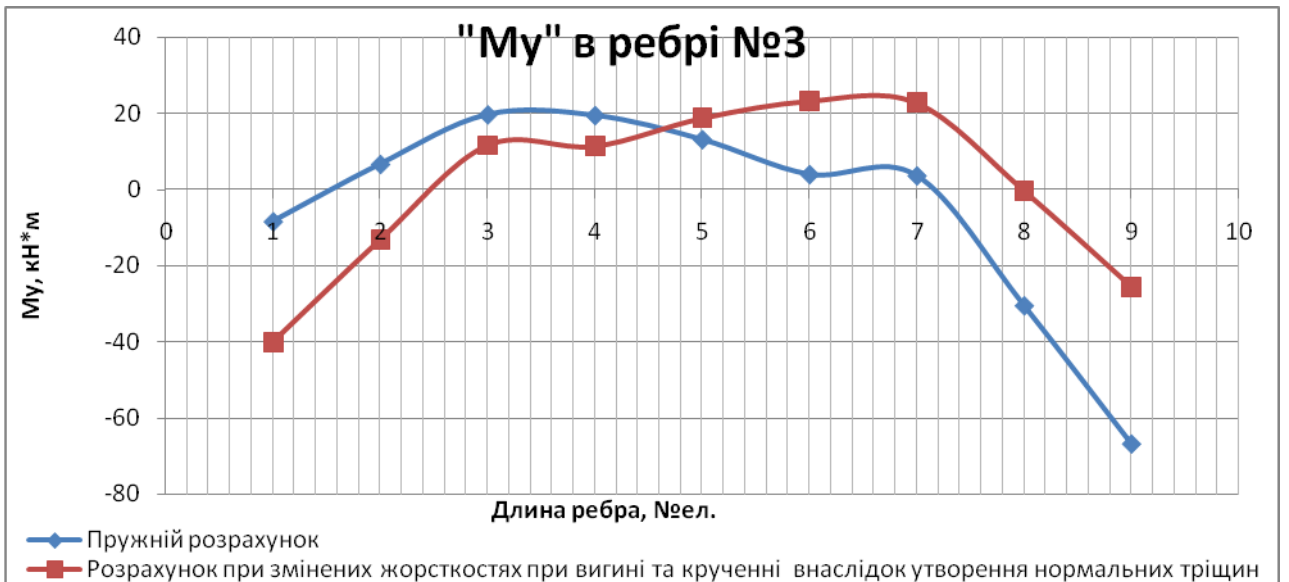
№ ребра	N, max, кН		$\frac{N_{,upr}}{N_{,fresh}}$	Різниця, %
	при пружному розрахунку	при розрахунку з урахуванням нормальних тріщин		
ПР-1	30,821	115,994	0,27	73
ПР-2	20,51	105	0,20	80
ПР-3	10,453	48,716	0,21	79
ПР-4	10,667	50,513	0,21	79
ПР-5	22,63	64,769	0,35	65
ПР-6	16,562	96,544	0,17	83
ПР-7	20,35	95,068	0,21	79
ПР-8	17,246	20,305	0,85	15
ПР-9	2,165	37,479	0,06	94
ПР-10	13,38	74,31	0,18	82
ПР-11	2,167	41,973	0,05	95
ПР-12	6,721	101,643	0,07	93
ПР-13	18,7403	98,525	0,19	81
ПР-14	10,04	28,019	0,36	64
ПР-15	10,069	28,019	0,36	64
ПР-16	27,214	63,237	0,43	57
ПР-17	11,403	55,717	0,20	80
ПР-18	2,993	93,599	0,03	97
ПР-19	15,346	93,345	0,16	84
ПР-20	4,431	68,018	0,07	93
ПР-21	13,432	111,822	0,12	88
ПР-22	22,332	109,647	0,20	80

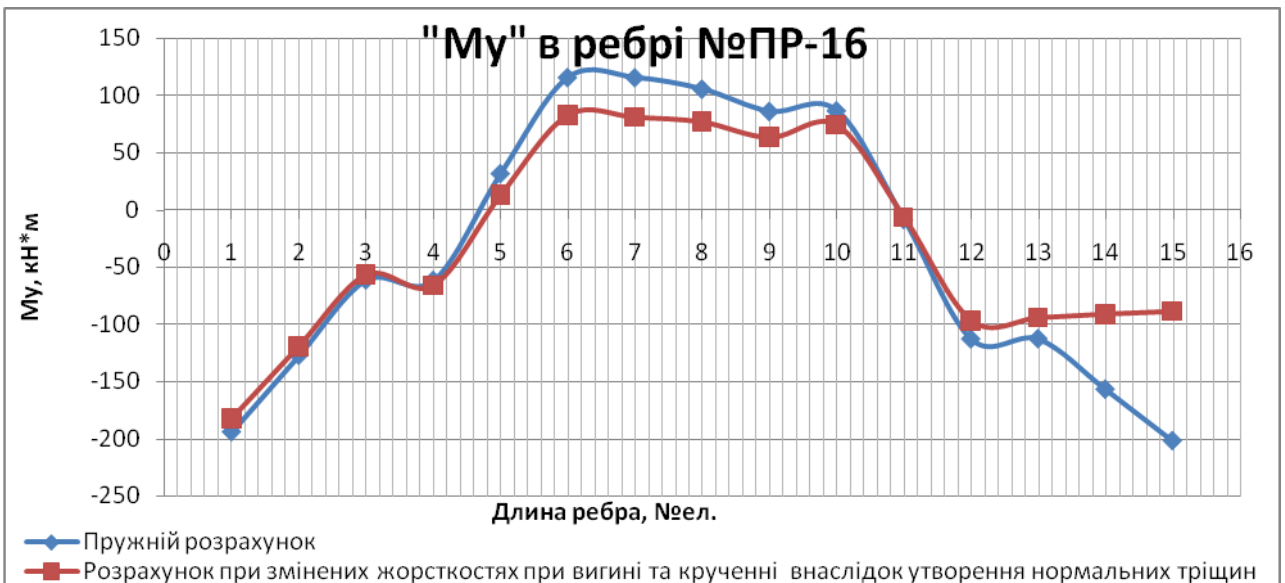
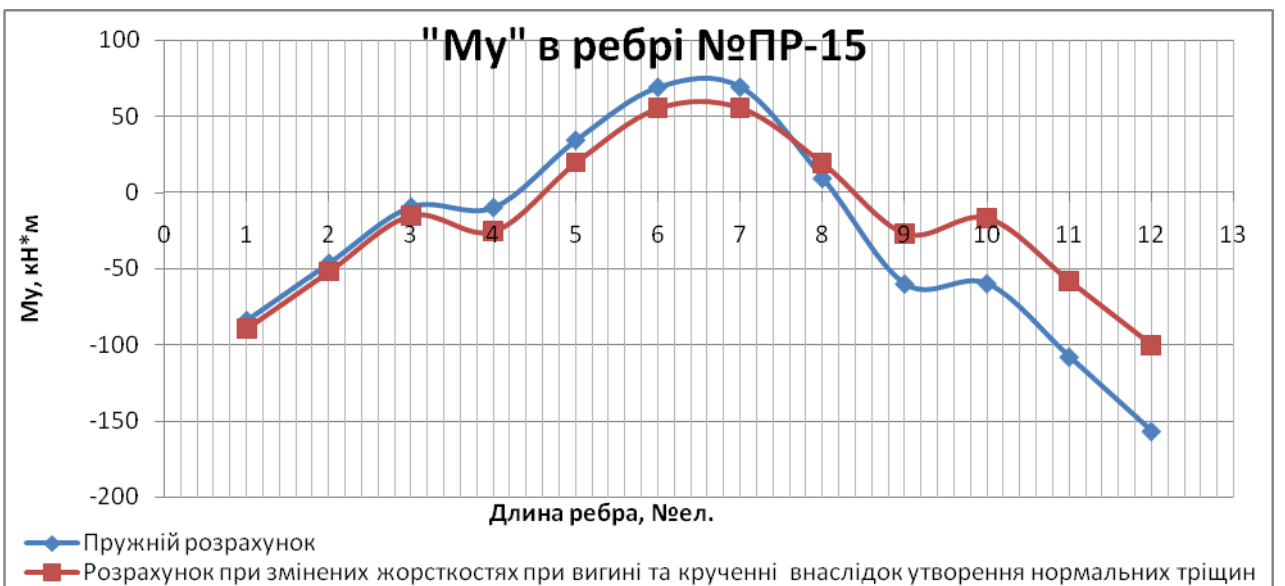
Таким чином, можна зробити висновок, для схеми за рис. 11 крутні моменти в поздовжніх ребрах змінилися до 96%, моменти, що згинають, до 79%, поздовжні сили стиску-розтягу до 97%,

На рис. 5.8 показана епюра згинальних, а на рис. 5.9 – епюра крутних моментів для декількох ребер перекриття, в яких утворюються нормальні

тріщини. Епюри внутрішніх зусиль показані при пружному розрахунку та при розрахунку з урахуванням нормальних тріщин.







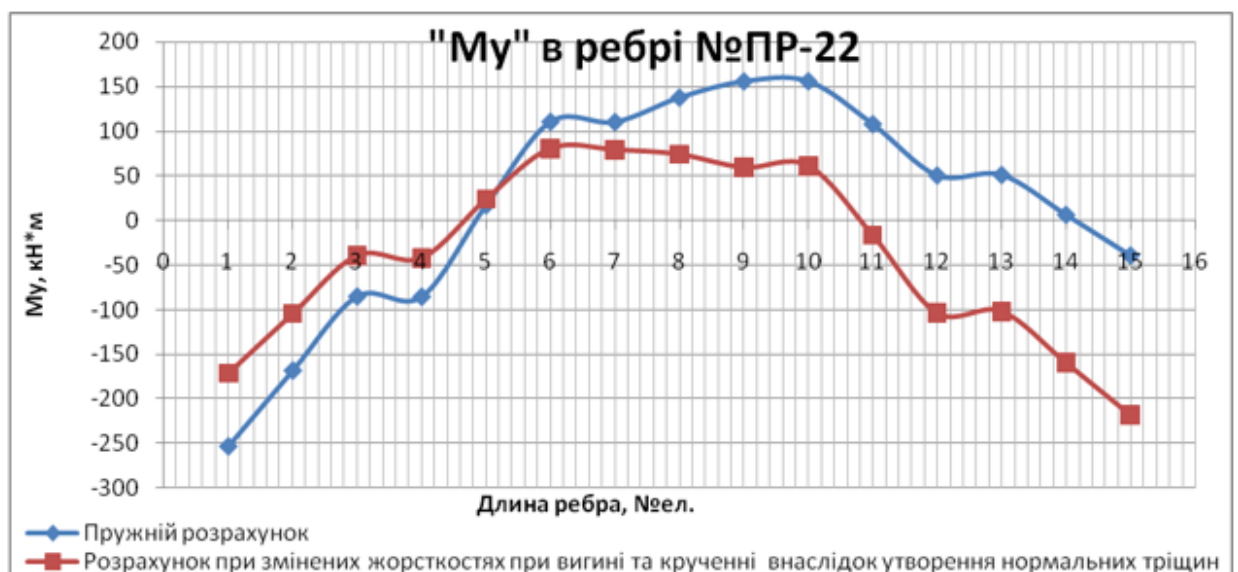
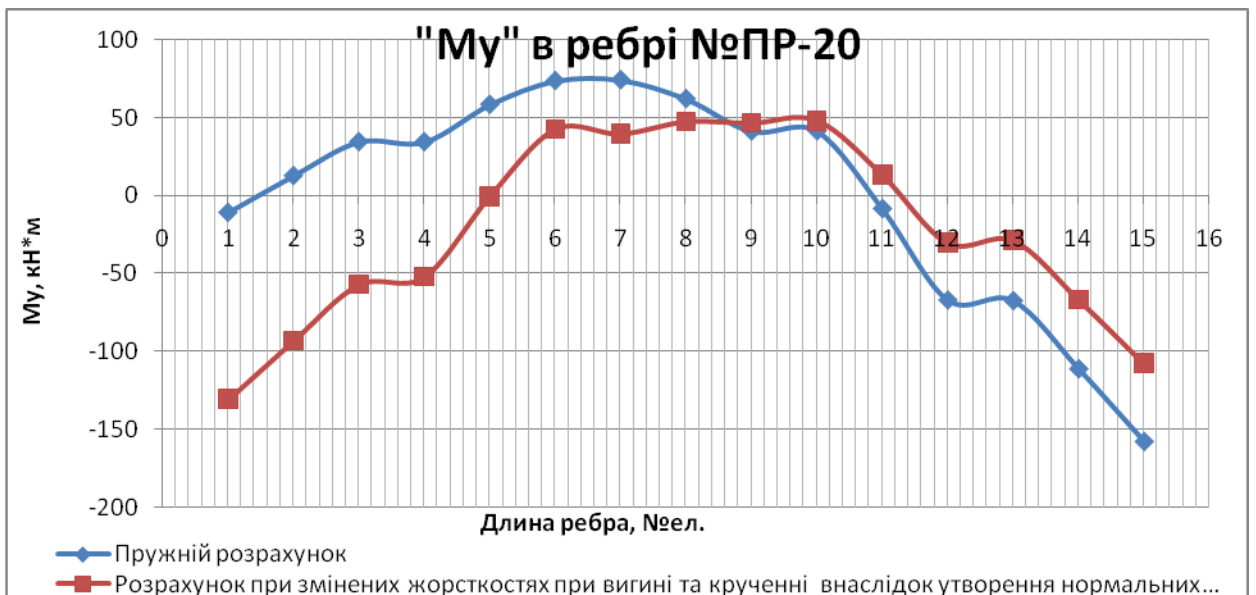
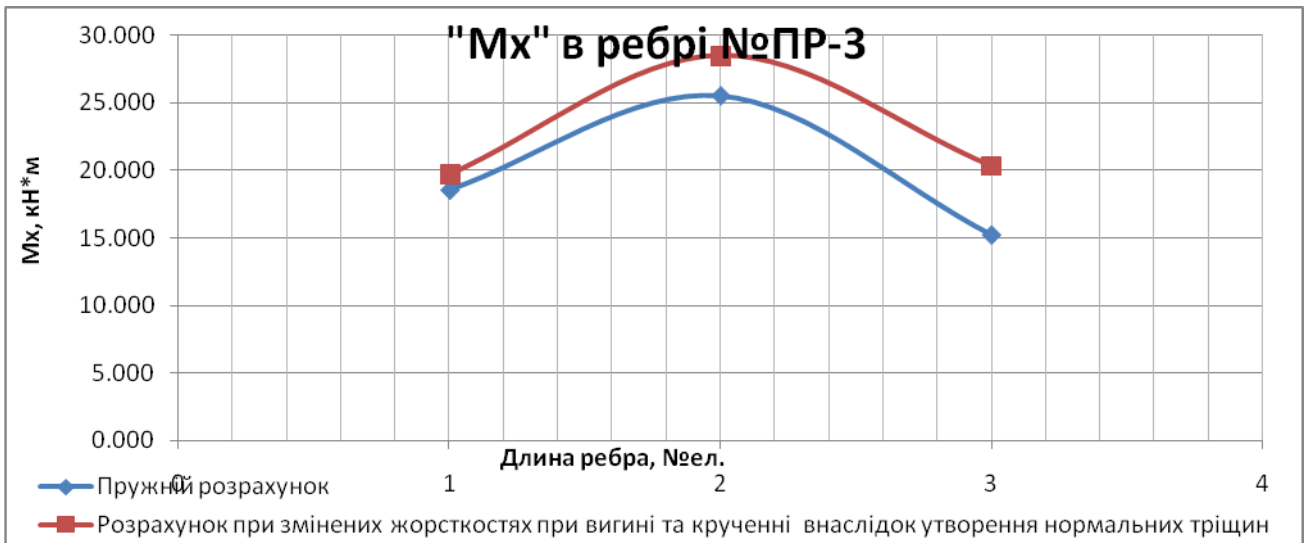
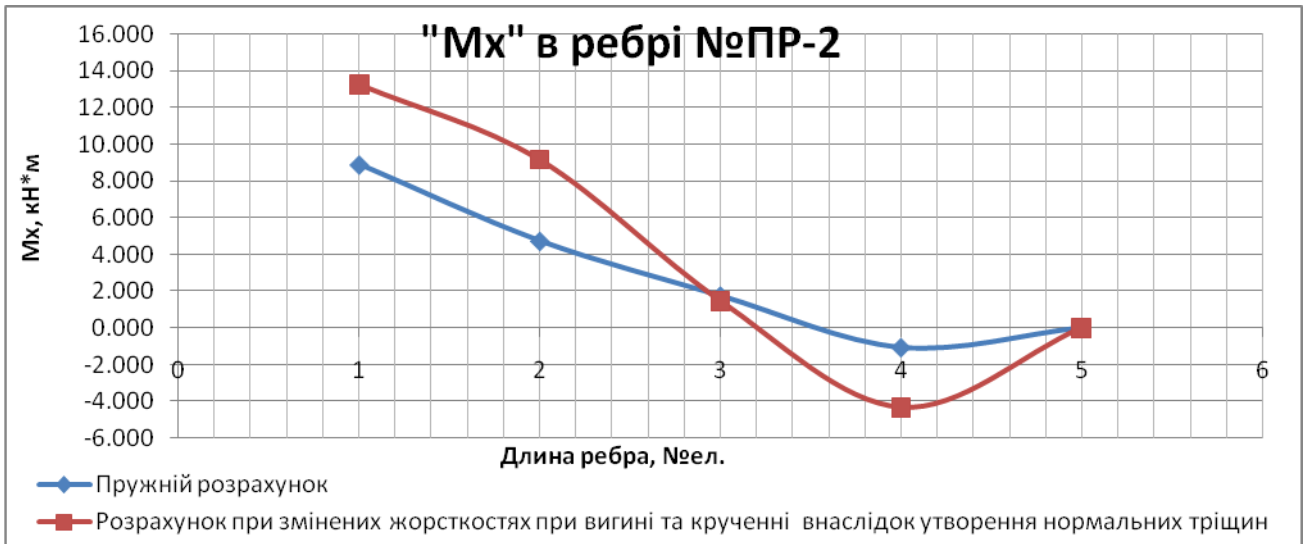
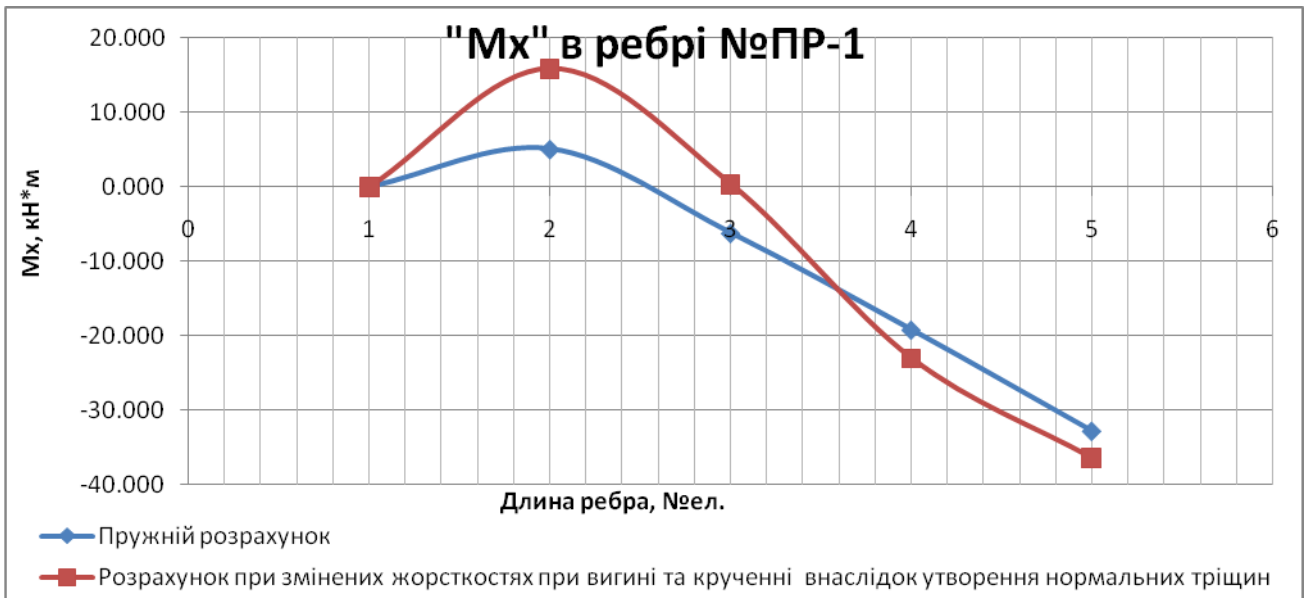
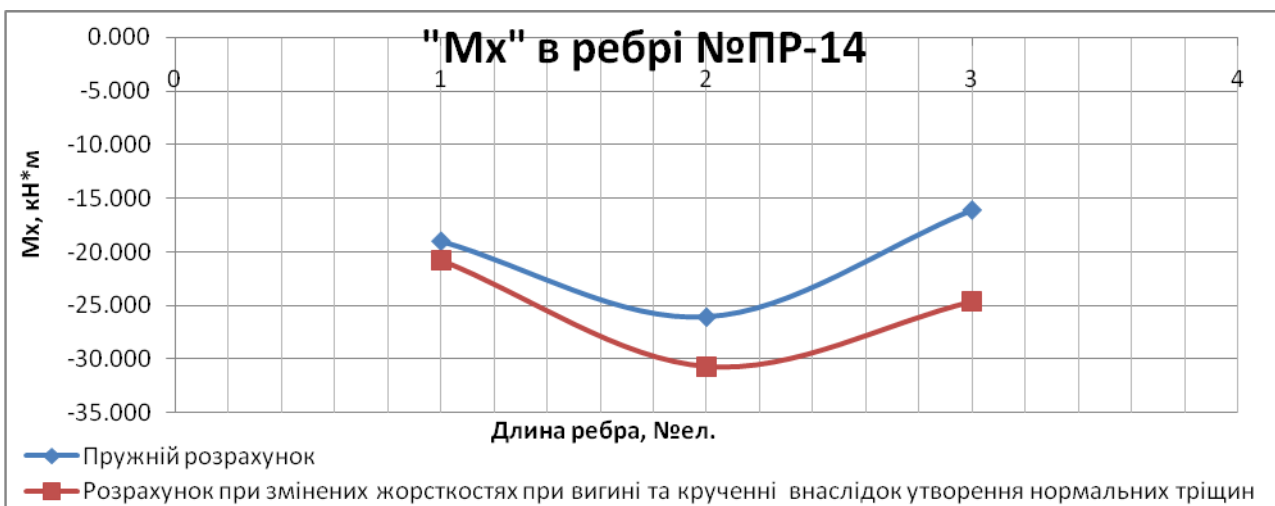
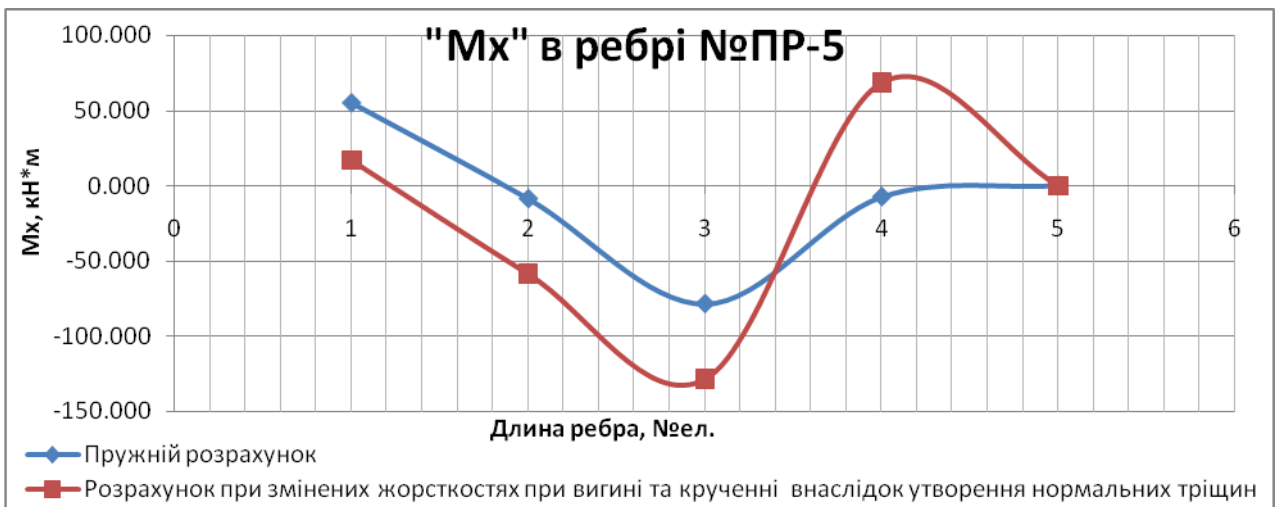
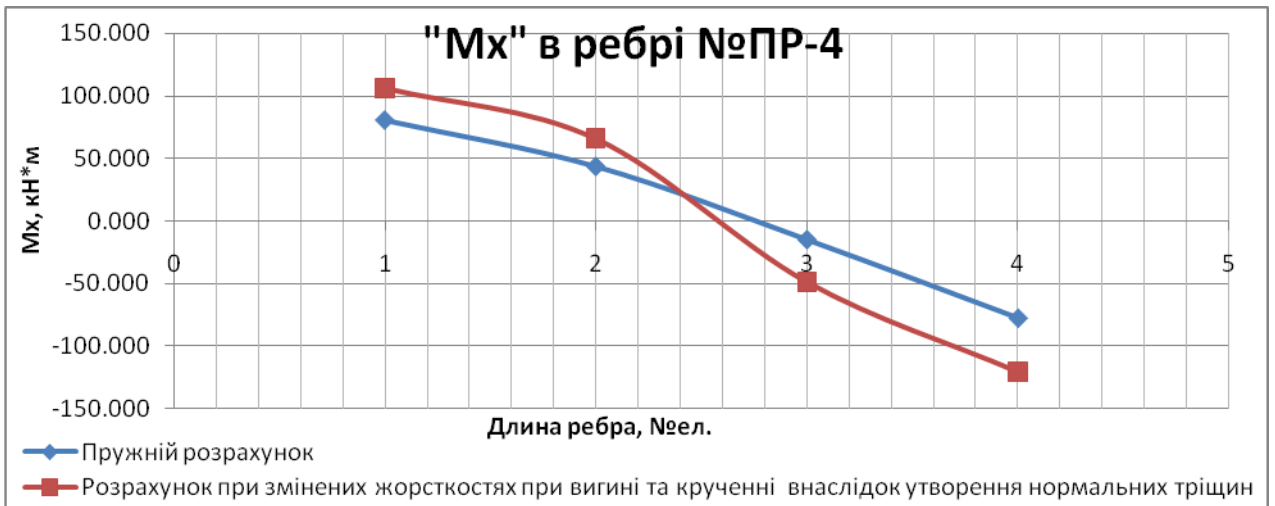
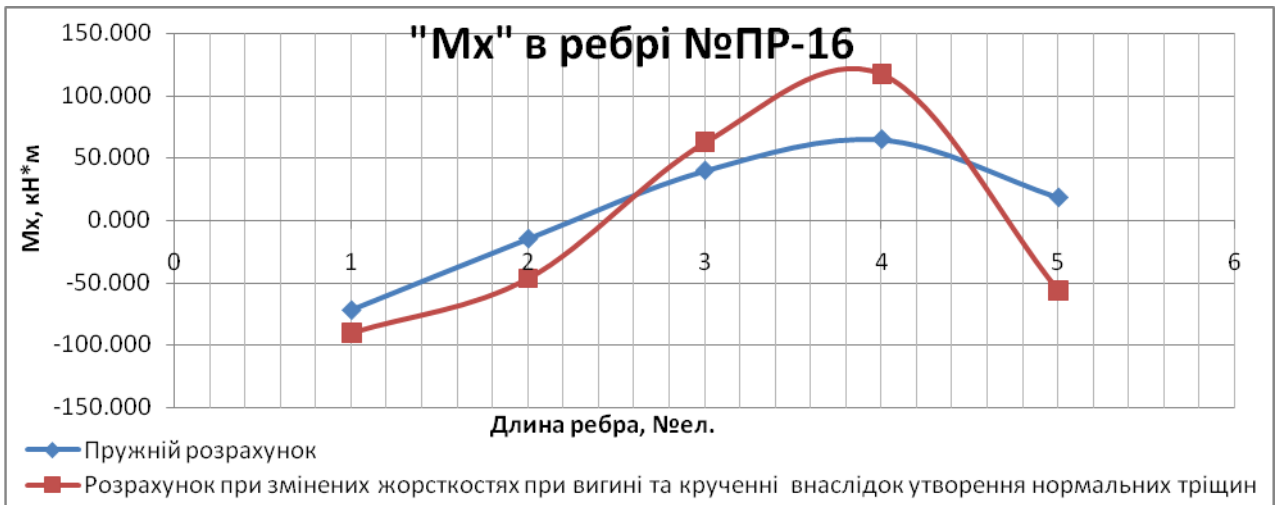
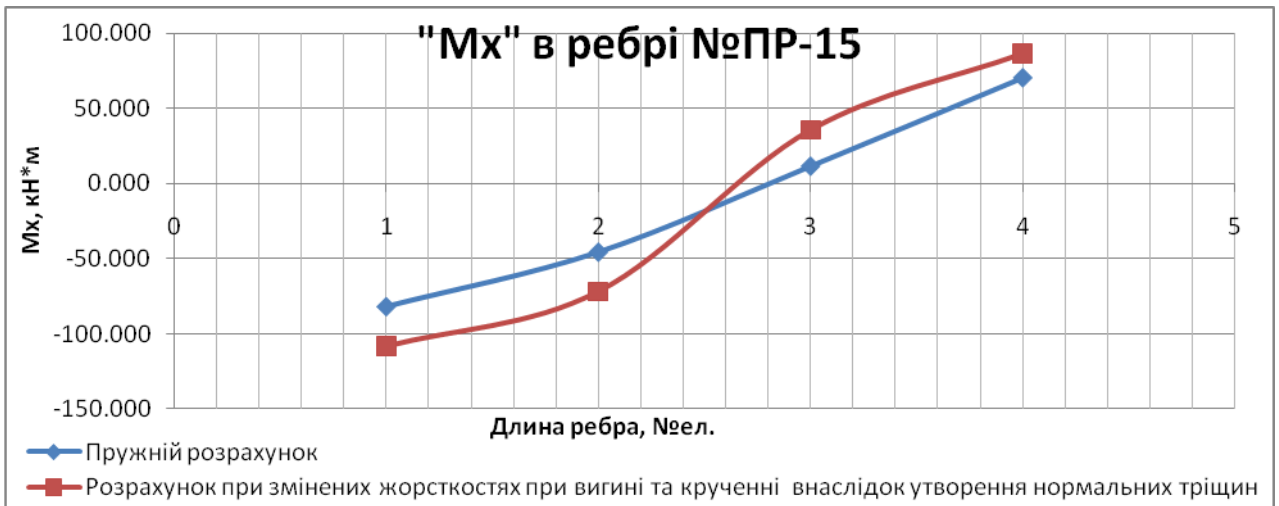


Рис. 5.8 Епюри згинальних моментів в ребрах перекриття для пружного розрахунку та для розрахунку з урахуванням нормальних тріщин







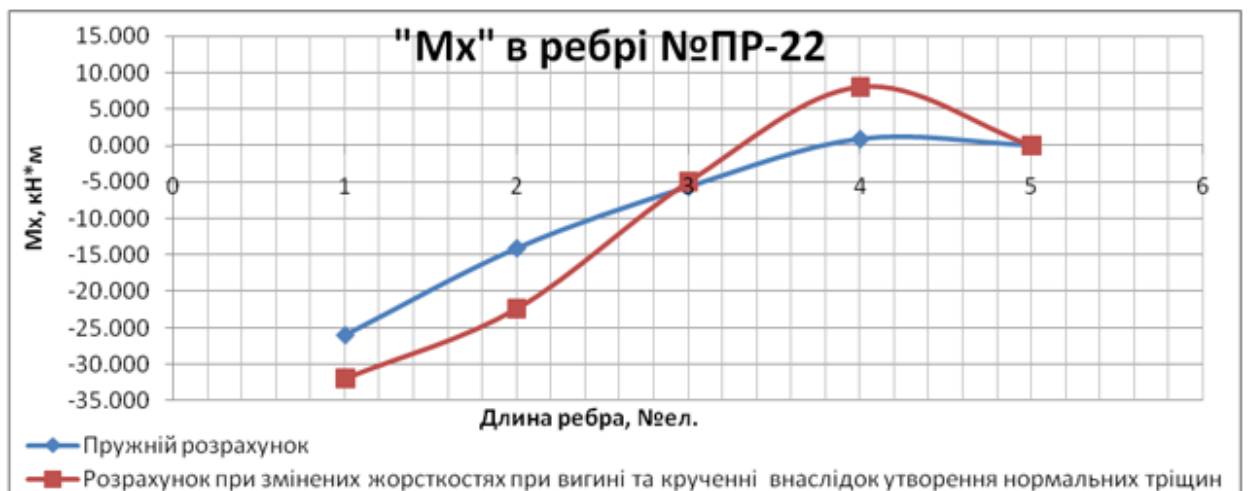
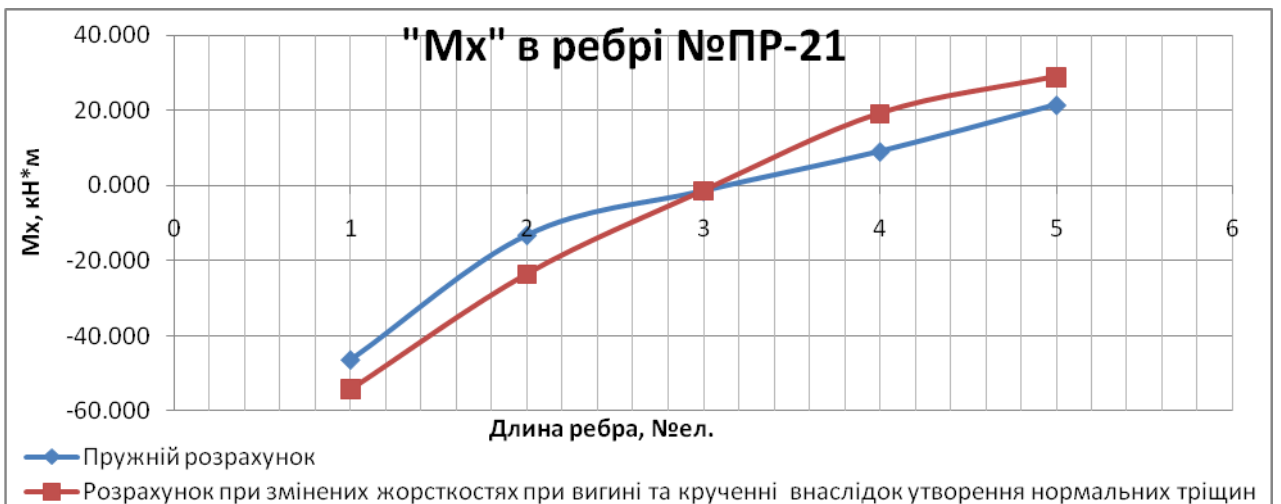
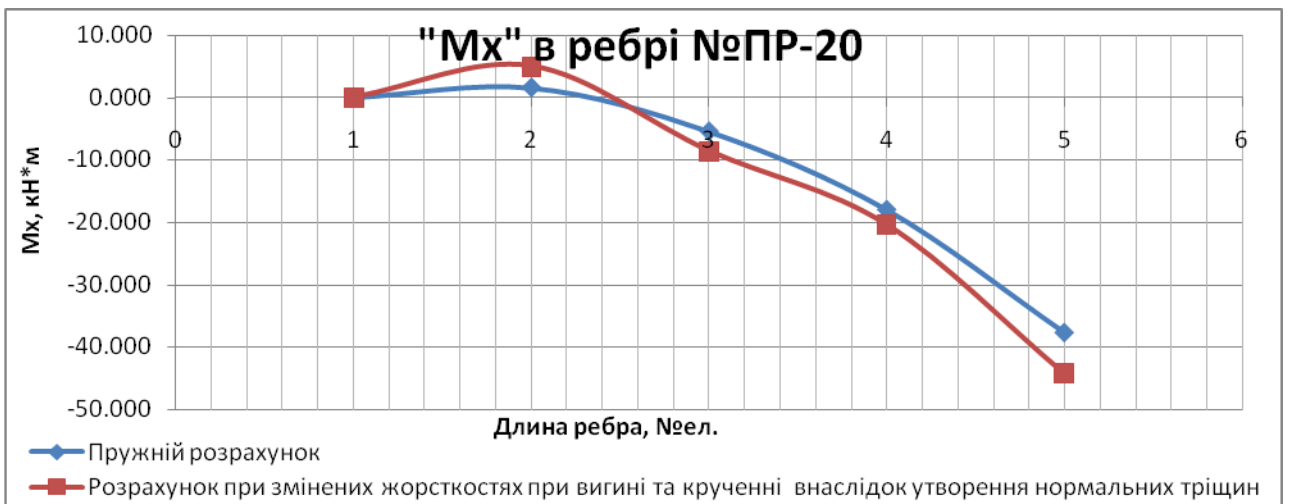


Рис. 5.9 Епюри крутних моментів в ребрах перекриття для пружного розрахунку та для розрахунку з урахуванням нормальних тріщин

Тепер змінимо лише **крутильну жорсткість** в поздовжніх ребрах схеми, а *жорсткість при згині залишимо постійною*. Виконаємо статичний розрахунок.

Зусилля, що виникають в ребрах системи в наслідок зниженої жорсткості при крученні наведено в таблицях 5.6–5.7.

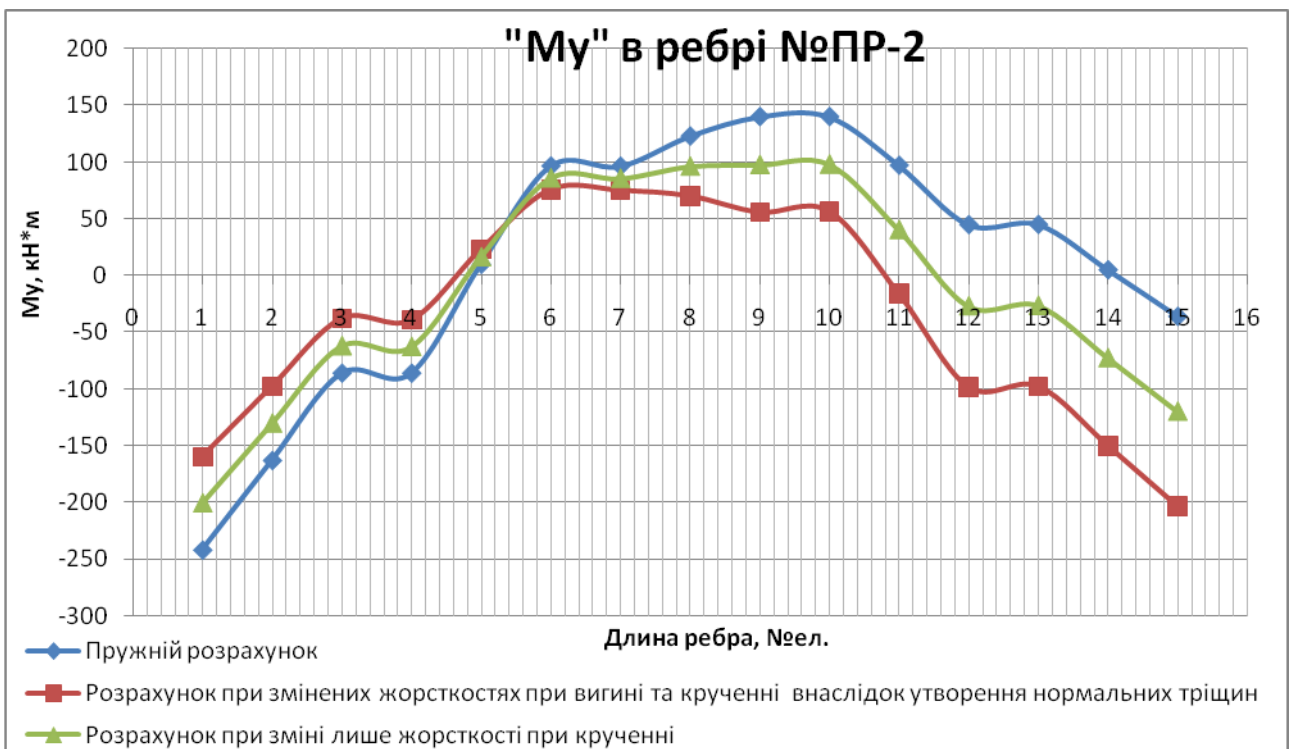
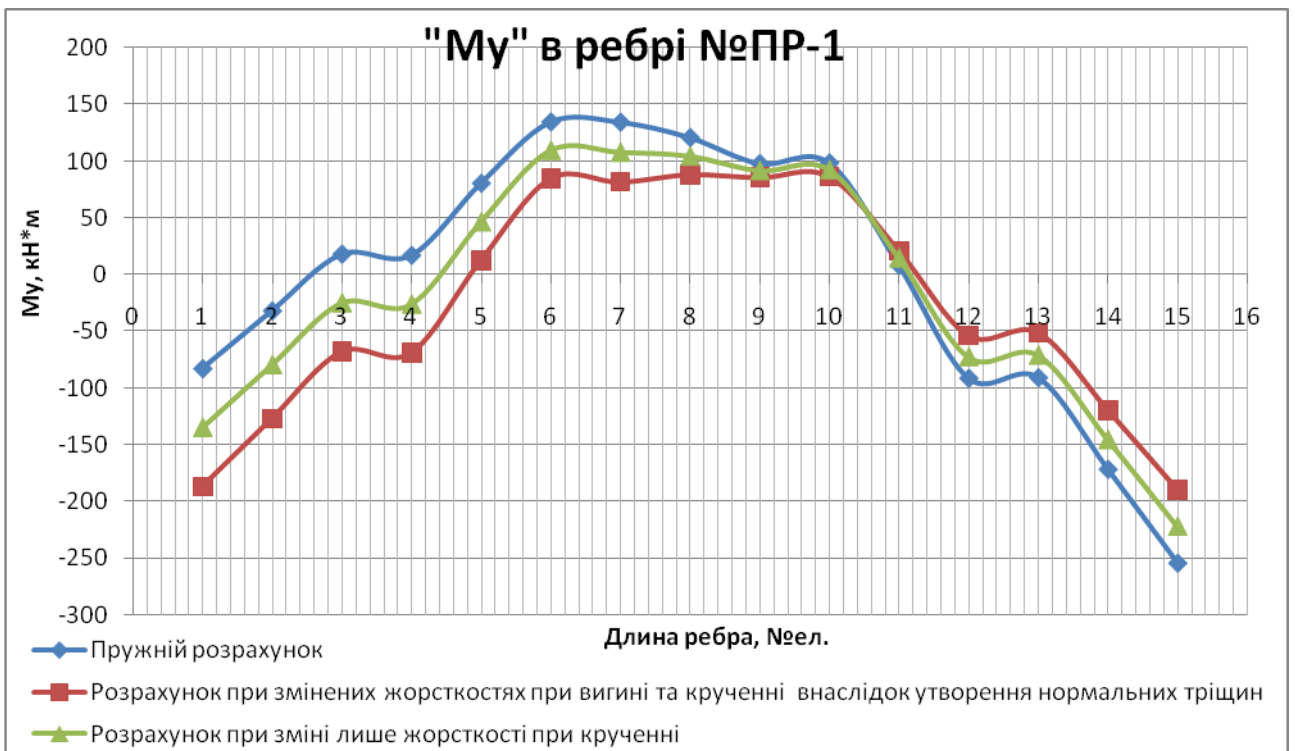
**Таблиця 5.6-Максимальні крутні моменти при пружному розрахунку і при розрахунку з урахуванням тільки крутильної жорсткості, змінної внаслідок наявності нормальних тріщин**

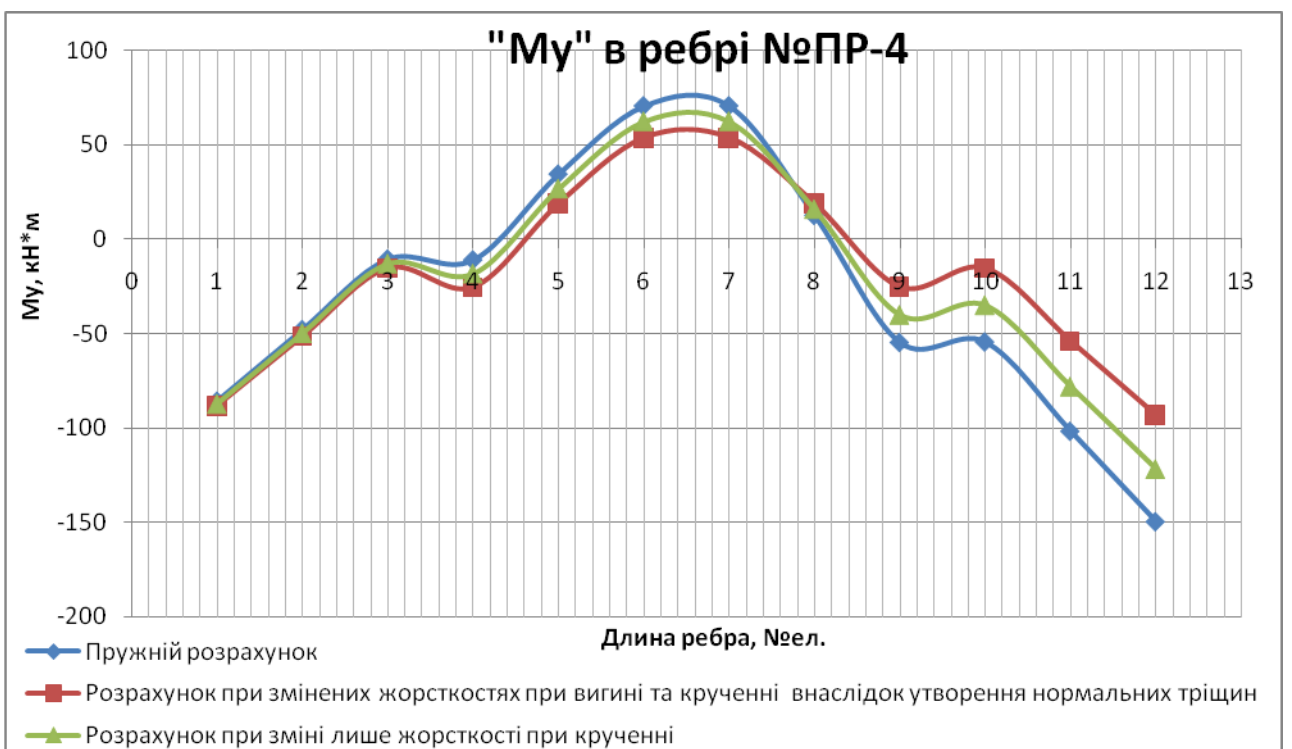
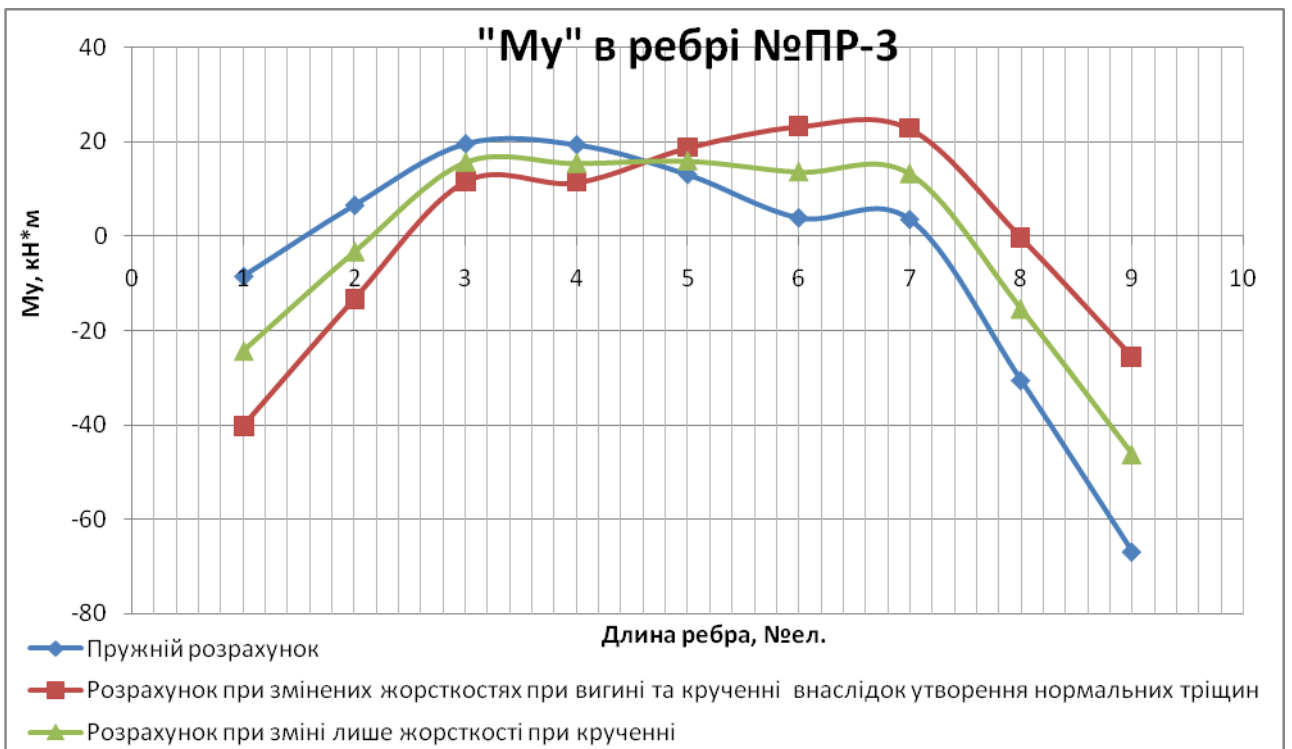
№ ребра	Mt, max (кН·м)		$\frac{M_{t,upr}}{M_{tresh}}$	Різниця, %
	Пружний розрахунок	Розрахунок з урахуванням тільки крутильної жорсткості, змінної внаслідок наявності нормальних тріщин		
ПР-1	32,73	34,591	0,95	5
ПР-2	8,892	11,07	0,80	20
ПР-3	25,484	26,9945	0,94	6
ПР-4	80,52	98,691	0,82	18
ПР-5	78,521	103,54	0,76	24
ПР-6	3,276	5,208	0,63	37
ПР-7	3,171	2,0115	1,58	58
ПР-8	0,262	1,27	0,21	79
ПР-9	0,905	11,427	0,08	92
ПР-10	10,051	26,829	0,37	63
ПР-11	32,658	68,653	0,48	52
ПР-12	1,785	1,7035	1,05	5
ПР-13	0,371	0,913	0,41	59
ПР-14	26,045	28,375	0,92	8
ПР-15	81,944	95,175	0,86	14
ПР-16	72,344	90,889	0,80	20
ПР-17	2,124	27,728	0,08	92
ПР-18	5,352	6,099	0,88	12
ПР-19	5,593	4,1775	1,34	34
ПР-20	37,614	40,933	0,92	8
ПР-21	46,41	50,359	0,92	8
ПР-22	25,925	28,938	0,90	10

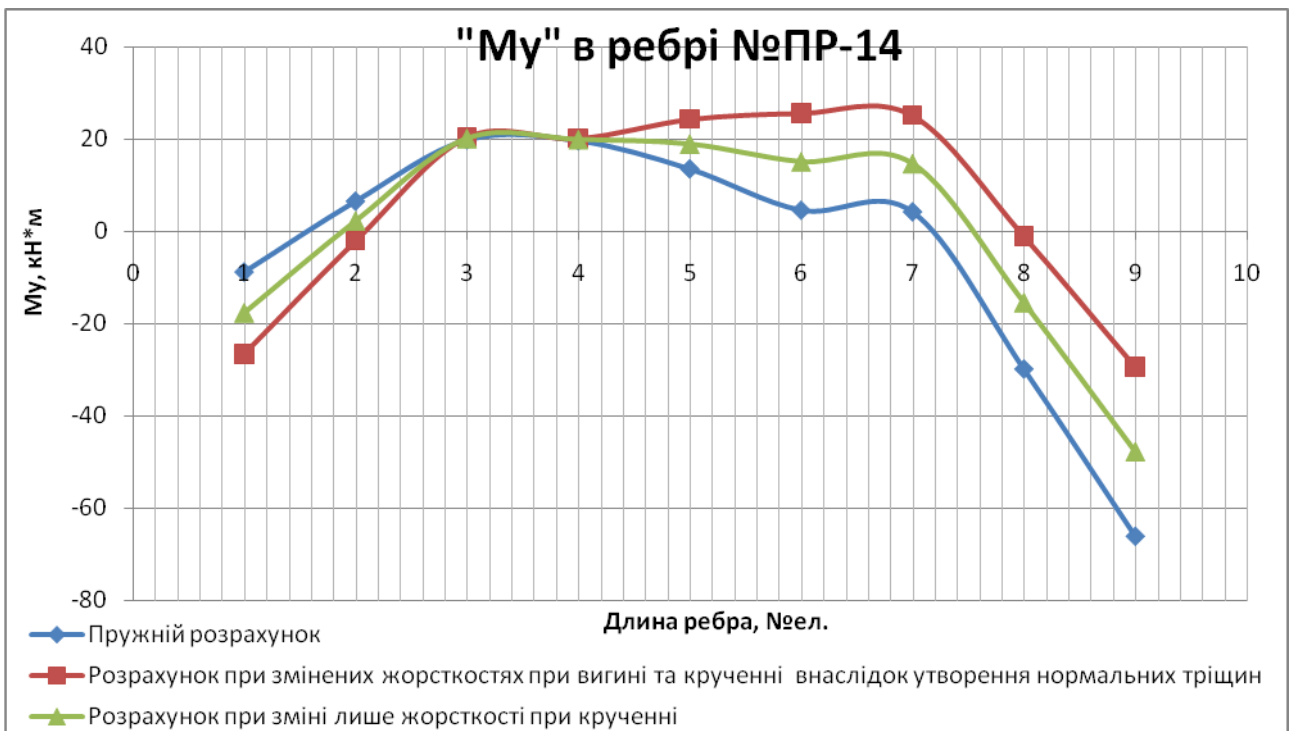
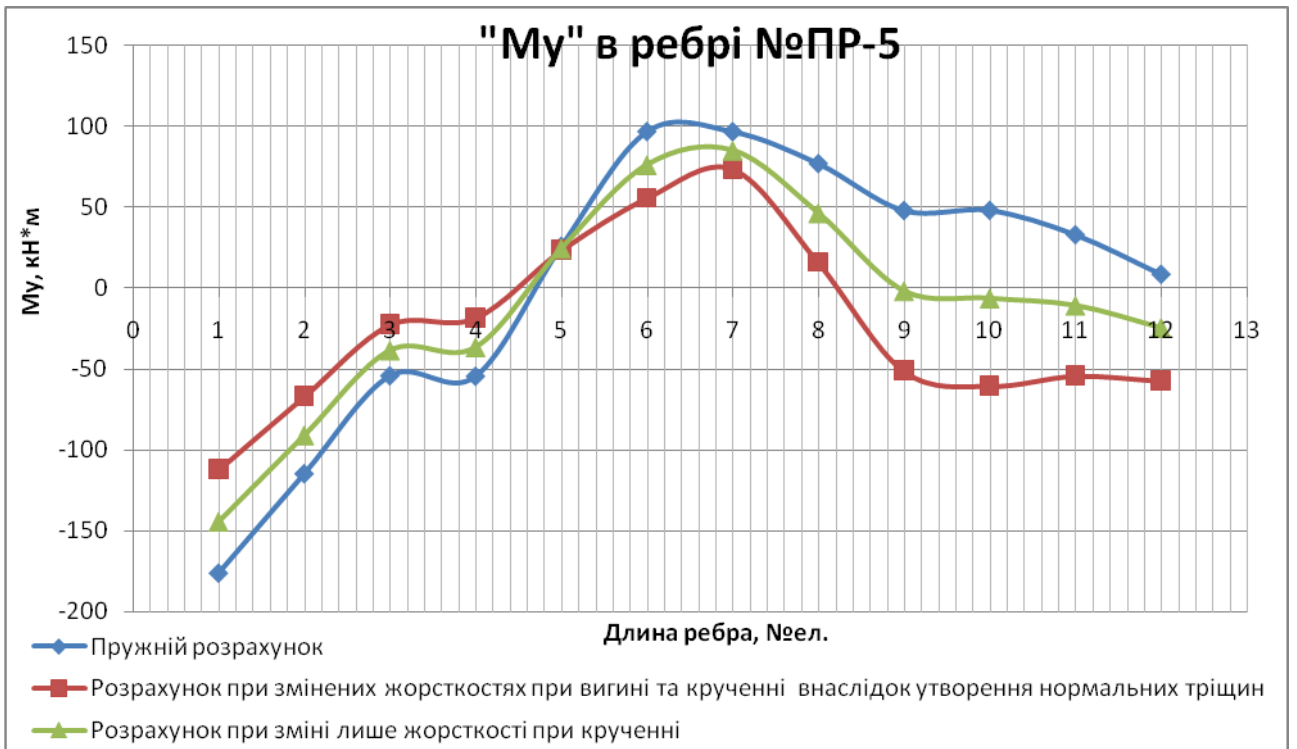
**Таблиця 5.7-Максимальні згинальні моменти при пружному розрахунку та при розрахунку при зміні тільки крутильної жорсткості внаслідок появи нормальних тріщин**

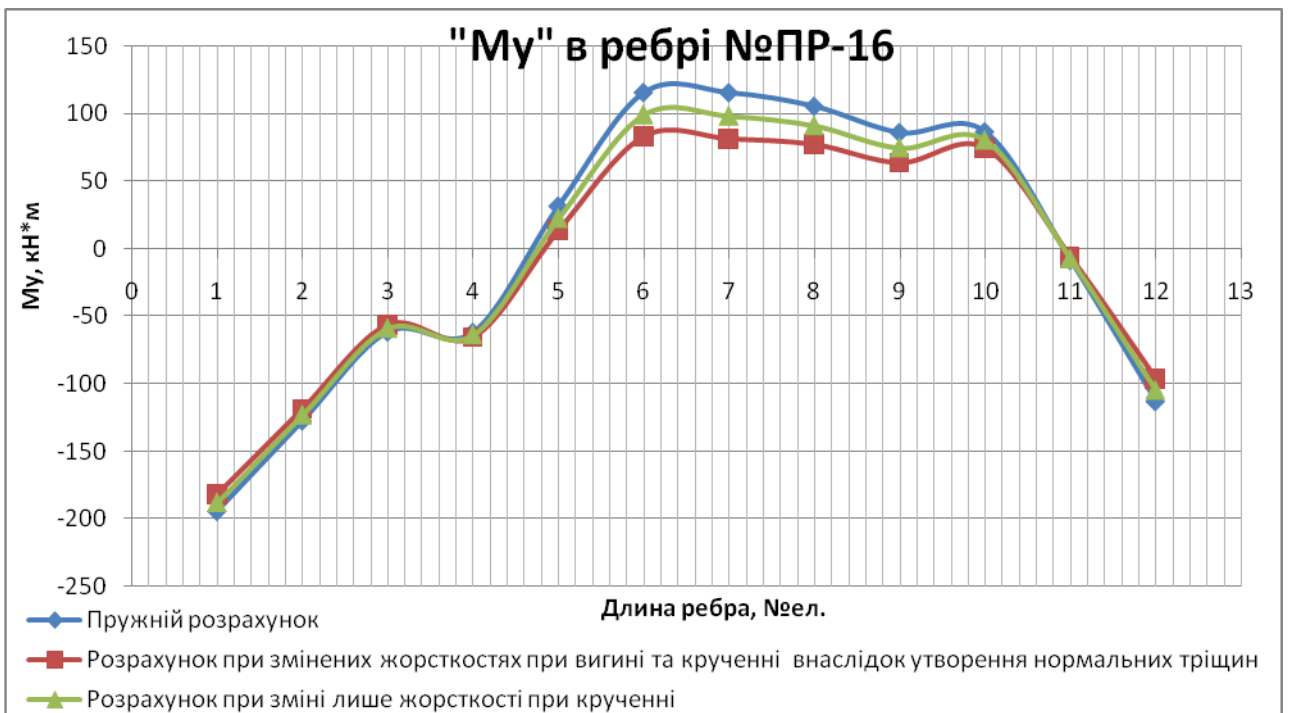
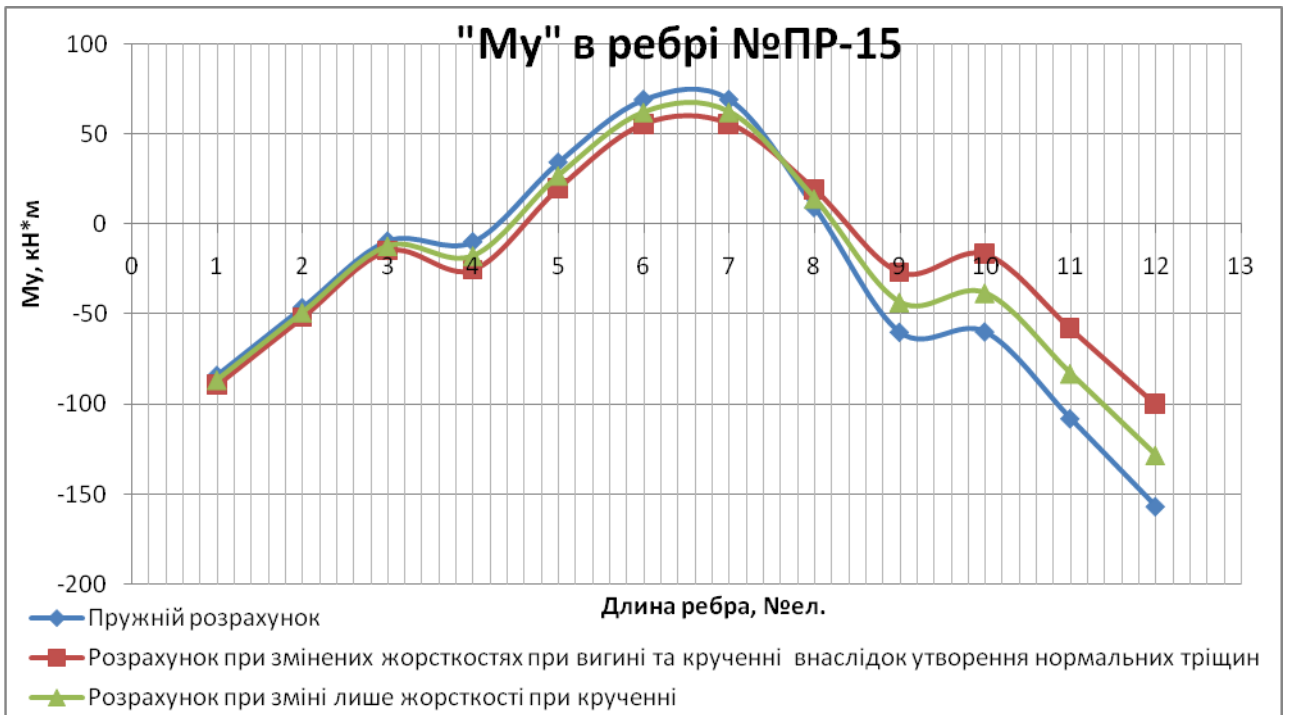
№ ребра	$M_{y, \max}$ (кН·м)		$\frac{M_{y, \text{пр}}}{M_{\text{треш}}}$	Різниця, %
	пружний розрахунок	Розрахунок при зміні тільки крутильної жорсткості внаслідок появи нормальних тріщин		
ПР-1	254,38	222,2	1,14	14
ПР-2	241,62	200,69	1,20	20
ПР-3	85,948	87,112	0,99	1
ПР-4	176,48	144,42	1,22	22
ПР-5	176,48	151,79	1,16	16
ПР-6	186,42	179,57	1,04	4
ПР-7	202,8	177,23	1,14	14
ПР-8	72,421	63,71	1,14	14
ПР-9	92,029	103,82	0,89	11
ПР-10	99,448	103,82	0,96	4
ПР-11	107,72	120,937	0,89	11
ПР-12	195,91	185,3	1,06	6
ПР-13	222,5	187,9	1,18	18
ПР-14	66,028	47,714	1,38	38
ПР-15	157,06	128,61	1,22	22
ПР-16	194,2	188,18	1,03	3
ПР-17	197,07	153,21	1,29	29
ПР-18	176,23	175,56	1,00	0
ПР-19	201,7	177,02	1,14	14
ПР-20	157,78	132,87	1,19	19
ПР-21	230,03	211,84	1,09	9
ПР-22	253,39	212,08	1,19	19

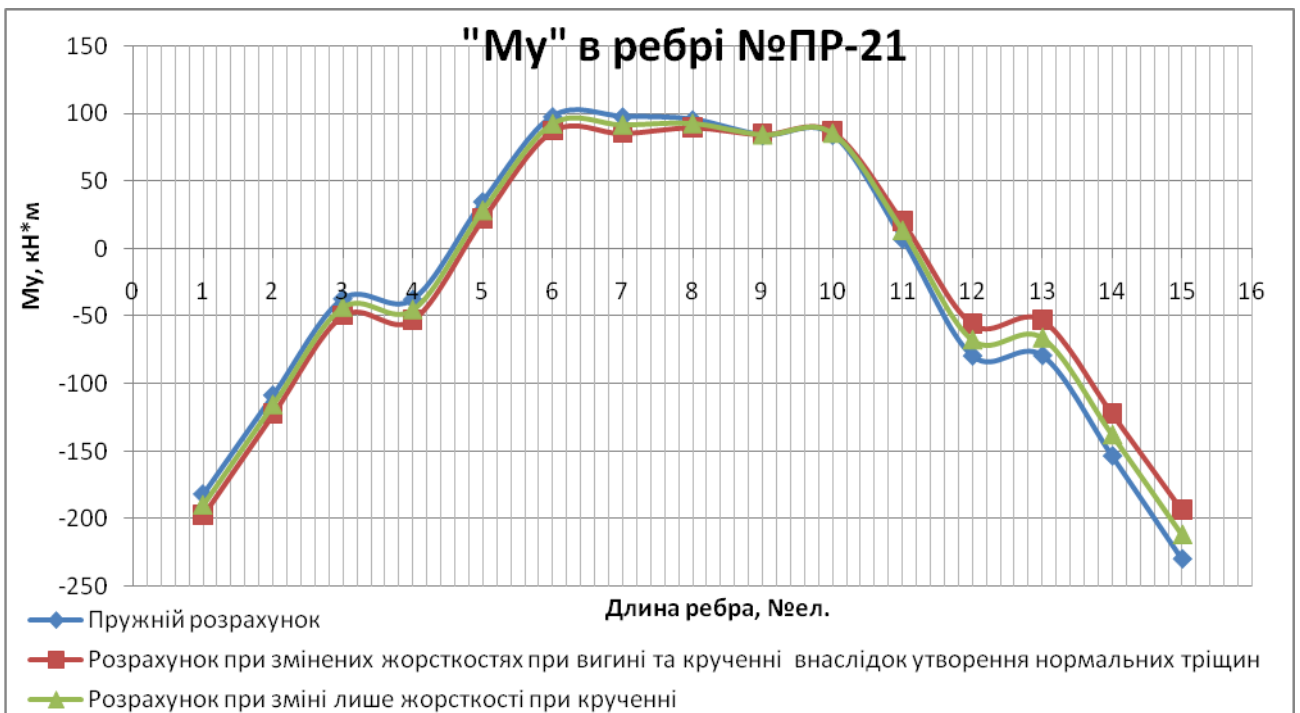
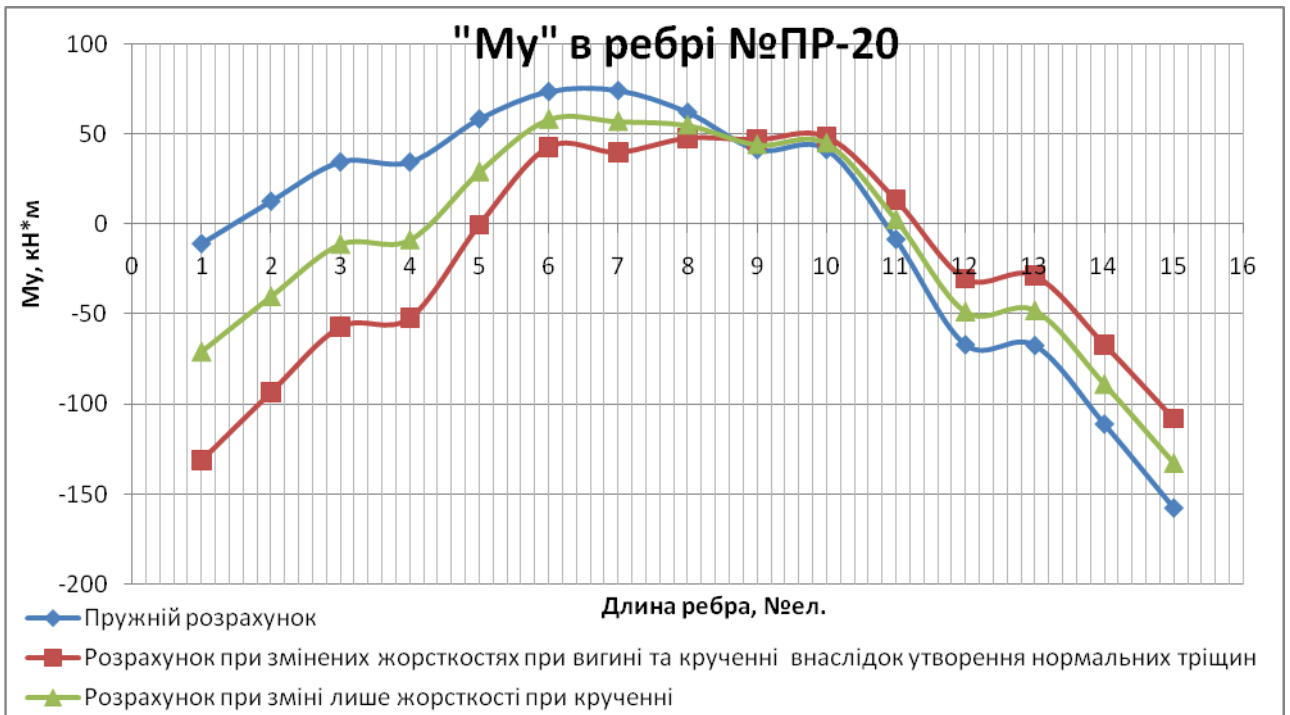
На рис. 5.10 показана еюра згинальних моментів і на рис. 18 – еюра крутних моментів для одного з ребер при крутильній жорсткості, що враховує нормальні тріщини, та постійній жорсткості при вигині.











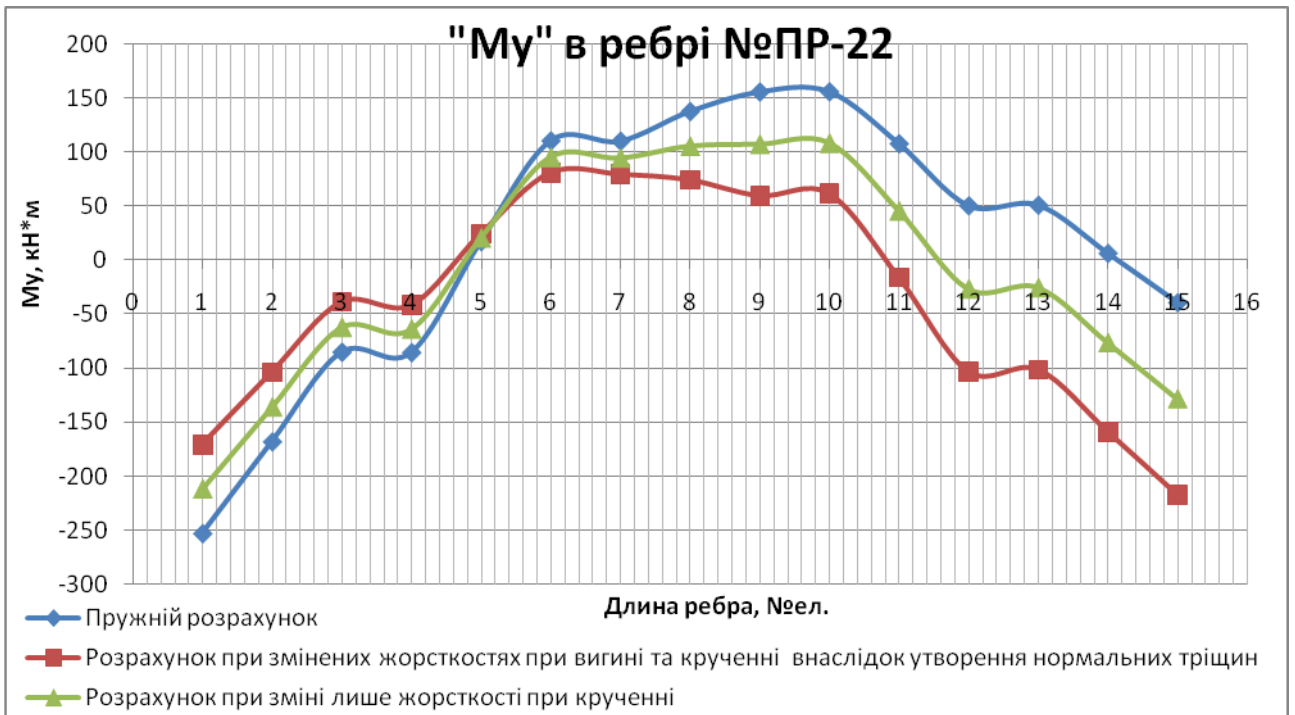
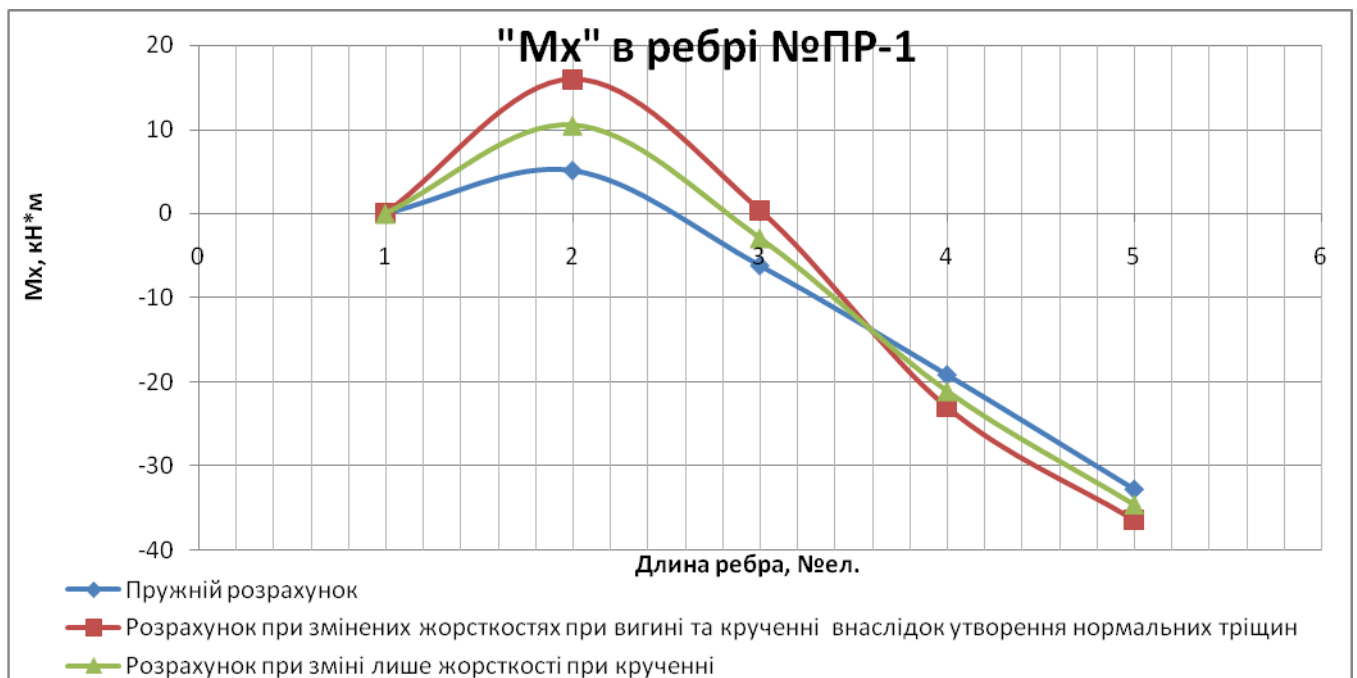
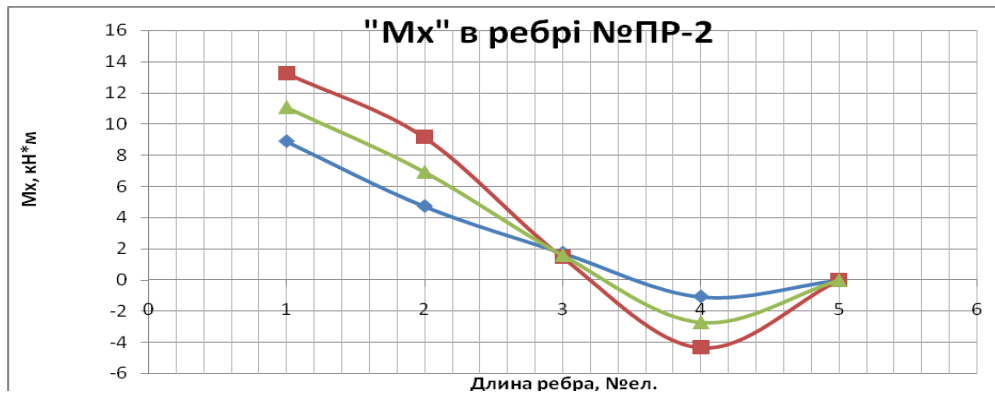
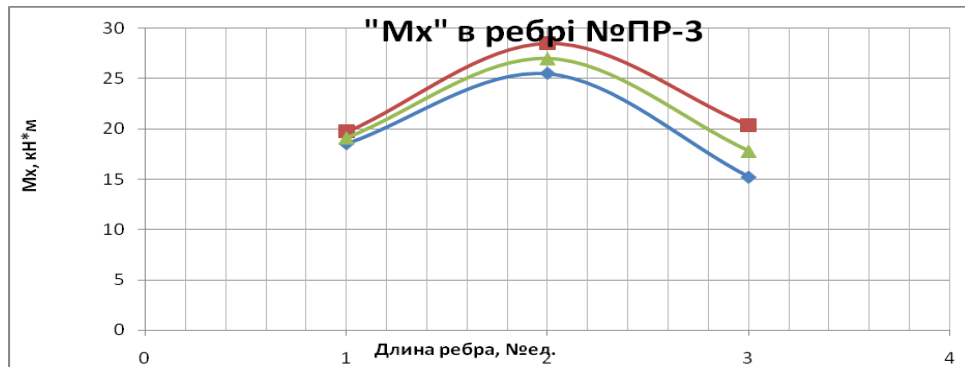


Рис.5.10 Епюри згинальних моментів в реберах перкриття для пружного розрахунку і для розрахунку з урахуванням нормальних тріщин, а також для розрахунку при зміні тільки крутильної жорсткості

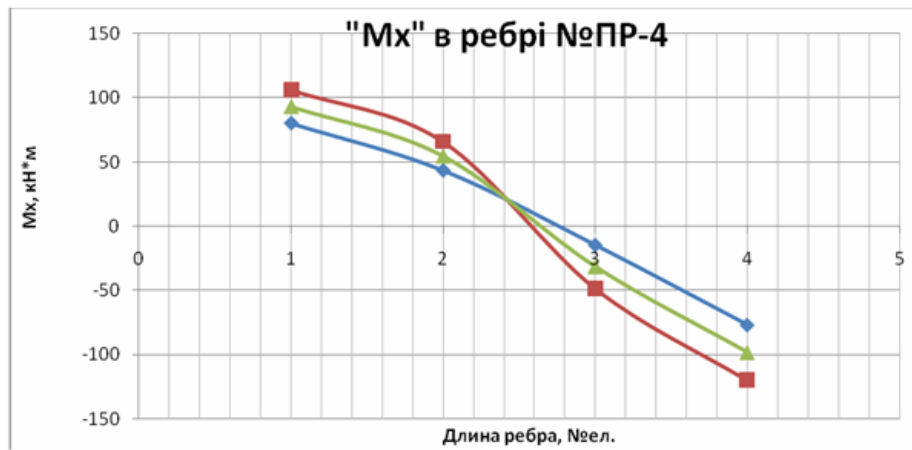




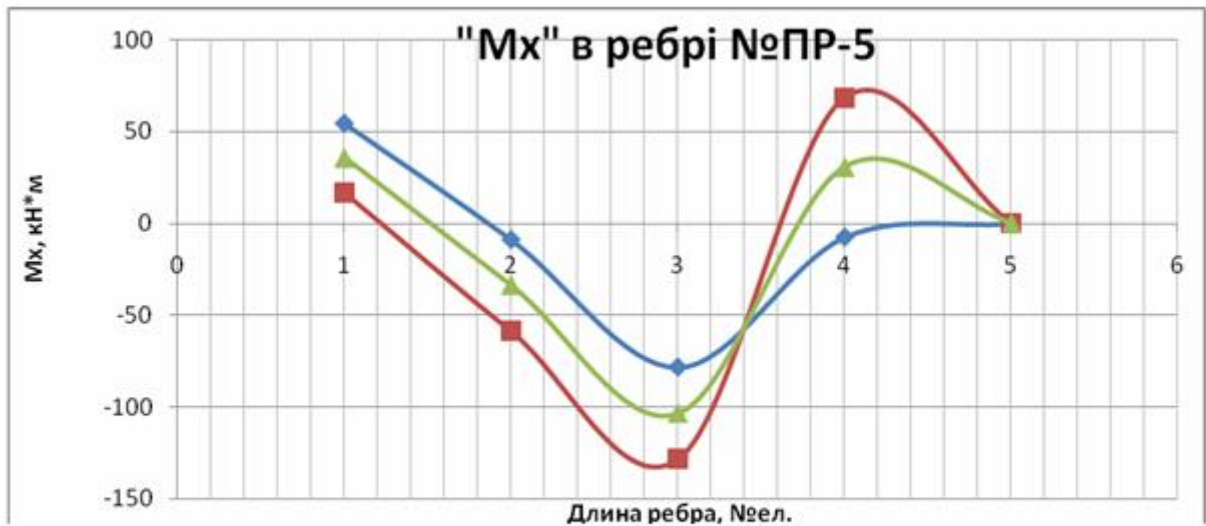
- ◆ Пружній розрахунок
- Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин
- ▲ Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



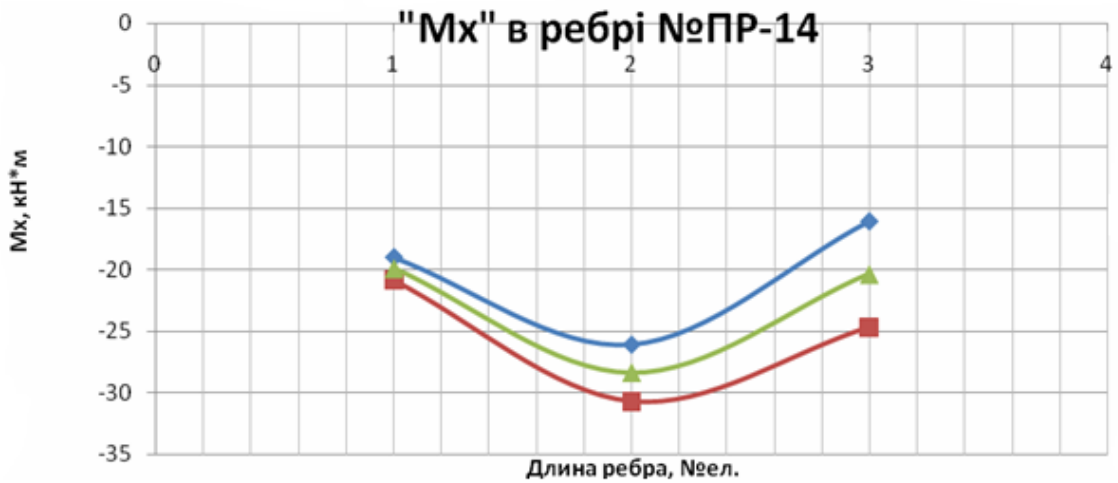
- ◆ Пружній розрахунок
- Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин
- ▲ Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



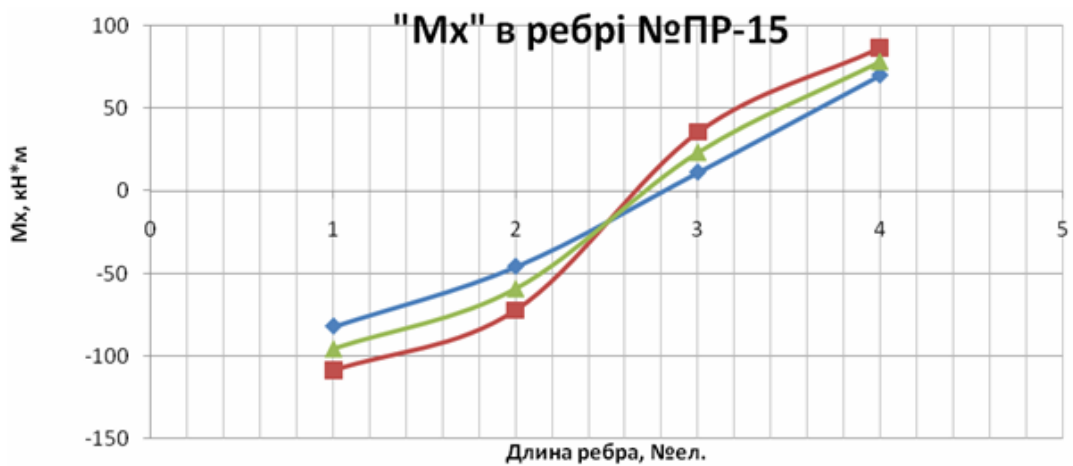
- ◆ Пружній розрахунок
- Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин
- ▲ Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



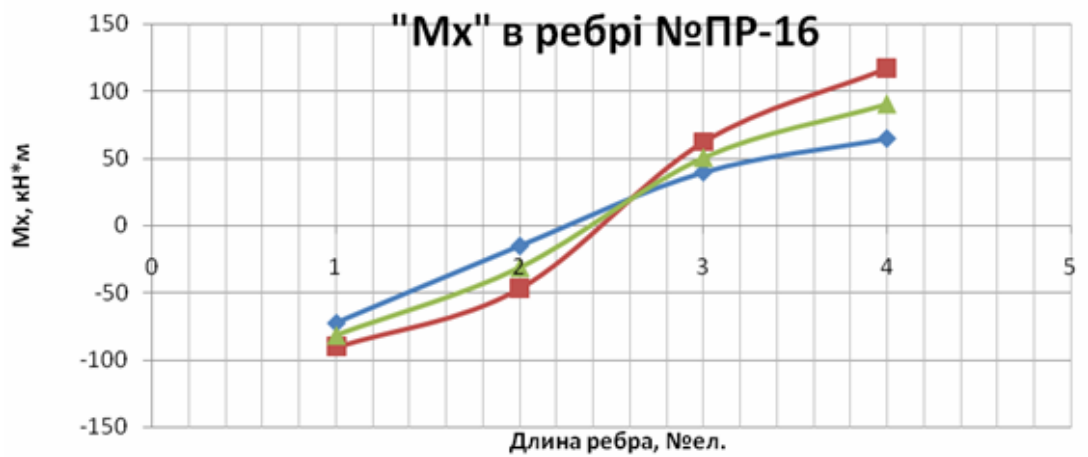
- ◆— Пружний розрахунок
- Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин
- ▲— Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



- ◆— Пружний розрахунок
- Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин
- ▲— Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



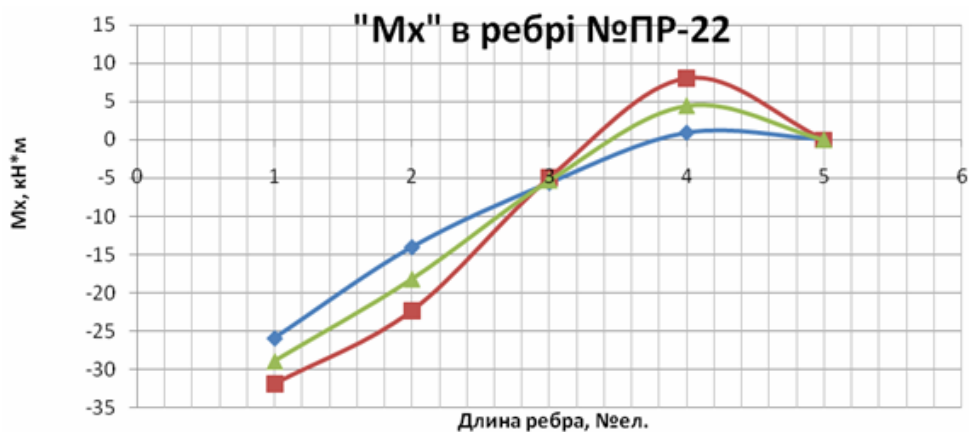
- ◆— Пружний розрахунок
- Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин
- ▲— Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



◆ Пружний розрахунок  
 ■ Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин  
 ▲ Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



◆ Пружний розрахунок  
 ■ Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин  
 ▲ Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні



◆ Пружний розрахунок  
 ■ Розрахунок при змінених жорсткостях при вигині та крученні внаслідок утворення нормальних тріщин  
 ▲ Розрахунок при зміні лише жорсткості при крученні

Рис. 5.11 Епюри крутних моментів в ребрі для пружного розрахунку і для розрахунку з урахуванням нормальних тріщин, а також для розрахунку при зміні тільки крутильної жорсткості

## РОЗДІЛ 6. ВИСНОВКИ

В якості висновків роботи можна сформулювати наступні тези:

1. Ребристе монолітне залізобетонне монолітне перекриття є ефективною конструкцією перекриття зважаючи на раціональний розподіл матеріалу в конструкції. Перекриття виступає в якості диску жорсткості будівлі. Перекриття характеризується спільною роботою з рештою вертикальних та горизонтальних конструктивів будівлі.
2. Елементи залізобетонного перекриття внаслідок його просторової роботи знаходяться складному напружено-деформованому стані (вгин з крученням).
3. Не лише жорсткості при згині, але й жорсткості при крученні, так і осьові жорсткості, зазнають змін в наслідок виникнення нормальних тріщин, що утворюються саме від вигину.
4. В результаті числово-аналітичних досліджень встановлено, що зміна лише **тільки одного параметру - однієї крутильної жорсткості суттєво впливає на перерозподіл внутрішніх сил** в статично невизначуваних системах залізобетонних перекриттів, що працюють просторово.
5. Визначено величини відношення початковій жорсткості елемента без тріщин до жорсткості елемента, в якому виникає нормальна тріщина (коефіцієнту "Kg") для залізобетонних елементів прямокутного перерізу. Жорсткості при крученні з нормальними тріщинами відрізняються від жорсткостей, що є пружними, на 23–75 %
6. В результаті виникнення нормальних тріщин в пластичній стадії роботи відбувається зміна жорсткостей перерізу (його ослаблення) й це суттєво впливає на зміну внутрішніх зусиль в ребрах для залізобетонного ребристого перекриття: моменти кручення змінюються до 97%, моменти вигину змінюють значення до 79%, поздовжні сили змінюють значення до 97%.

7. Числовий експеримент показав, що врахування лише одного типу жорсткості- жорсткості при крученні – суттєво впливає на величини внутрішніх зусиль наступним чином: моменти кручення змінюються до 92%, а моменти вигину - до 38%.

8. Отже, показано, що зміна саме жорсткості при крученні перерізів елементів залізобетонних перекриттів в наслідок виникнення нормальних тріщин істотно впливає на перерозподілення зусиль в системах, зусилля в яких не можна визначити із рівнянь статки. Пониження жорсткості при крученні за наявності лише нормальних тріщин раніше не враховувалася. Застосування методики [1] в розрахунках дає можливість враховувати цей фактор.

Таке врахування є важливим зважаючи на потребу в більш точному проектуванні армування залізобетонних ребристих елементів перекриттів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Срібняк Н.М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами. дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.01/ Н.М. Срібняк –Одеса, 2009.
2. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонні та залізобетонні конструкції
3. ACI Manual of Concrete Practice : ACI Committee 209. 2008. – U.S.A. : American Concrete Institute, 1980. – Part 1, 456 p. – (ACI Manual).
4. Lubel L., Popescu A. Recherche experimentale sur la repartition transversale des charges pour un pont-dalle. “Annales des Travaux Publics de Belgique”, № 5, 1967.
5. ДБН В.2.6-98:2009 БЕТОННІ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ Основні положення Київ Мінрегіонбуд України 2011. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/ebwod>
- 6 Карабанов Б.В. Практический способ расчета железобетонной балки коробчатого сечения на кручение// Бетон и железобетон. – 1994. – № 3. – С. 13–17.
7. Eurocode 2: EN 1992-1-1 «Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings» - Annex B(Informative) Commition of European Communities, Des 1991. P 226
8. Клованич С.Ф., Мироненко И.Н. Метод конечных элементов в механике железобетона. Одесса, 2007г. – 110с.
9. Азизов Т.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами//Дороги і мости. Збірник наукових праць. Вип. 7.Том 1. – Київ: ДерждорНДІ, 2007. – С. 3–8.
10. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий. – Киев: Науковий світ, 2001. – 276 с.
11. Азизов Т.Н. Просторова робота залізобетонних перекриттів. Теорія та методи розрахунку: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.01 /Азизов Талят

Нурединович. – Полтава, 2006. – 406 с. – (Полтавський національний технічний університет).

12. Монолитные ребристые перекрытия с балочными плитами. Режим доступа: <http://surl.li/nzhrm>. (дата звернення 27.10.2023)

13. Скорук Л.Н. «Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий» [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/nzhhk>.

14. ЛИРА–САПР. Книга I. Основы. Е.Б Стрелец–Стрелецкий, А.В. Журавлев, Р.Ю. Водопьянов. Под ред. докт. техн. наук, проф. А.С. Городецкого. – Издательство LIRALAND, 2019.– 154с.

15. Азизов Т.Н. Жесткость железобетонных элементов при кручении и ее влияние на пространственную работу мостов // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій// Збірник наукових праць. НАН України. Фізико-мех.інститут ім. В.Г. Карпенка. – Львів, 2009. – С. 576-590

16. Азизов Т.Н. Крутильная жесткость тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами/ Азизов Т.Н., Стадник В.И. // Вісник Одеської державної академії будвництва та архтектури. Вип.33. - Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. - С.4-11.

17. Азизов Т.Н. Крутильная жесткость тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами/ Азизов Т.Н., Стадник В.И. // Вісник Одеської державної академії будвництва та архтектури. Вип.33. - Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. - С.4-11.

18. Азизов Т.Н. Общий подход к определению крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами//Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 17., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – С. 92-99.

19. Лантух-Лященко А.И. Развитие дискретно-континуальных методов расчета комбинированных систем: Автореф. дисс. ... докт. техн. Наук: 05.23.17/ К.: КИСИ, 1992. – 30 с.
20. Мельник О.В. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Мельник О. В. – Одеса., 2012. – 255 с.
21. Мельник О.С. Жорсткість та міцність залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Мельник О. С. – Одеса., 2013. – 187 с.
22. Парамонов Д. Ю. Жесткость и прочность железобетонных элементов с нормальными трещинами при изгибе с кручением : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 «Будівельні конструкції будівлі та споруди» / Парамонов Д.Ю. – Одесса., 2012. – 290 с.
23. Яременко А.Ф. Инженерная методика определения крутильной жесткости железобетонных балок с нормальными трещинами/ Яременко А.Ф., Чучмай А.М., Яременко Н.А.// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 33 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – с.146-151.
24. Яременко А.Ф. Механика материалов и конструкций/ Яременко А.Ф., Балдук П.Г.// Одесса: "Внешрекламсервис", 2001.- 256 с.
25. Яременко О.Ф. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані/ О.Ф. Яременко, Ю.О. Школа. – Одеса: ОДАБА, 2010. – 136 с.

## **ДОДАТКИ**

*Зусилля в ребрах при зміні параметрів жорсткості згідно методик [1] та [2]*

**Таблиця А.1 Жорсткість при крученні GJк**

№ варіанту	№ ділянки				
	1	2	3	4	5
<b>Варіант 1</b>	778.14	778.14	778.14	778.14	778.14
<b>Варіант 2</b>	739.23	700.32	661.42	622.51	583.60
<b>Варіант 3</b>	700.32	661.42	622.51	583.60	544.70
<b>Варіант 4</b>	661.42	622.51	583.60	544.70	505.79
<b>Варіант 5</b>	622.51	583.60	544.70	505.79	466.88
<b>Варіант 6</b>	583.60	544.70	505.79	466.88	427.98
<b>Варіант 7</b>	544.70	505.79	466.88	427.98	389.07
<b>Варіант 8</b>	466.88	427.98	389.07	350.16	311.25
<b>Варіант 9</b>	389.07	350.16	311.25	272.35	233.44

**Таблиця А.2 Варіанти зміни жорсткості при крученні по довжині**

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$
Варіант 1	1	1	1	1	1
Варіант 2	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75
Варіант 3	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
Варіант 4	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65
Варіант 5	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
Варіант 6	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55
Варіант 7	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
Варіант 8	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
Варіант 9	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3

**Таблиця А.3 Внутрішні зусилля БК 1 (варіант 1)**

Координати по довжирні балки, м	БГ 1		БГ 2		БГ 3		БГ 4		БГ 5	
	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м
<b>X=0</b>	-0.175	0	-0.542	0	0	0	0.542	0	0.175	0
<b>X=0.5</b>	-0.175	0.061	-0.542	0.377	0	1.227	0.542	0.377	0.175	0.061
<b>X=0.5</b>	-0.175	0.061	-0.542	0.377	0	1.227	0.542	0.377	0.175	0.061
<b>X=1</b>	-0.175	0.122	-0.542	0.753	0	2.073	0.542	0.753	0.175	0.122
<b>X=1</b>	-0.128	0.138	-0.391	0.765	0	2.017	0.391	0.765	0.128	0.138
<b>X=1.5</b>	-0.128	0.183	-0.391	1.037	0	2.722	0.391	1.037	0.128	0.183
<b>X=1.5</b>	-0.128	0.183	-0.391	1.037	0	2.722	0.391	1.037	0.128	0.183
<b>X=2</b>	-0.128	0.228	-0.391	1.308	0	3.046	0.391	1.308	0.128	0.228
<b>X=2</b>	-0.047	0.237	-0.141	1.314	0	3.016	0.141	1.314	0.047	0.237
<b>X=2.5</b>	-0.047	0.254	-0.141	1.412	0	3.36	0.141	1.412	0.047	0.254
<b>X=2.5</b>	-0.047	0.254	-0.141	1.412	0	3.36	0.141	1.412	0.047	0.254
<b>X=3</b>	-0.047	0.27	-0.141	1.51	0	3.322	0.141	1.51	0.047	0.27
<b>X=3</b>	0.047	0.27	0.141	1.51	0	3.322	-0.141	1.51	-0.047	0.27
<b>X=3.5</b>	0.047	0.254	0.141	1.412	0	3.36	-0.141	1.412	-0.047	0.254
<b>X=3.5</b>	0.047	0.254	0.141	1.412	0	3.36	-0.141	1.412	-0.047	0.254
<b>X=4</b>	0.047	0.237	0.141	1.314	0	3.016	-0.141	1.314	-0.047	0.237
<b>X=4</b>	0.128	0.228	0.391	1.308	0	3.046	-0.391	1.308	-0.128	0.228
<b>X=4.5</b>	0.128	0.183	0.391	1.037	0	2.722	-0.391	1.037	-0.128	0.183
<b>X=4.5</b>	0.128	0.183	0.391	1.037	0	2.722	-0.391	1.037	-0.128	0.183
<b>X=5</b>	0.128	0.138	0.391	0.765	0	2.017	-0.391	0.765	-0.128	0.138
<b>X=5</b>	0.175	0.122	0.542	0.753	0	2.073	-0.542	0.753	-0.175	0.122
<b>X=5.5</b>	0.175	0.061	0.542	0.377	0	1.227	-0.542	0.377	-0.175	0.061
<b>X=5.5</b>	0.175	0.061	0.542	0.377	0	1.227	-0.542	0.377	-0.175	0.061
<b>X=6.0</b>	0.175	0	0.542	0	0	0	-0.542	0	-0.175	0

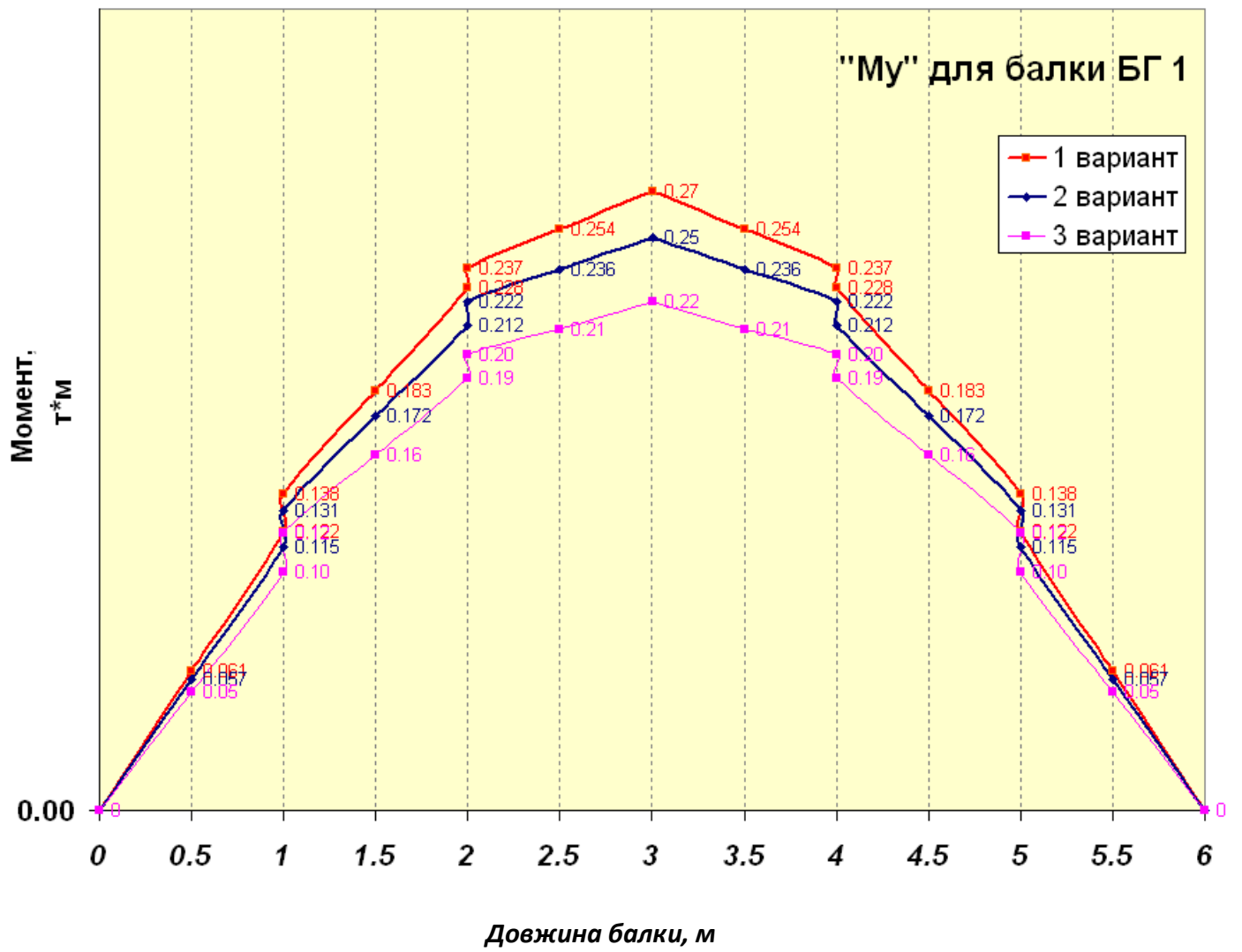
**Таблиця А.4 Внутрішні зусилля БК 6 (варіант 2)**

Координати по довжирні балки, м	БГ 1		БГ 2		БГ 3		БГ 4		БГ 5	
	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м
<b>X=0</b>	-0.162	0	-0.541	0	0.002	0	0.542	0	0.175	0
<b>X=0.5</b>	-0.162	0.057	-0.541	0.379	0.002	1.229	0.542	0.377	0.175	0.061
<b>X=0.5</b>	-0.162	0.057	-0.541	0.379	0.002	1.229	0.542	0.377	0.175	0.061
<b>X=1</b>	-0.162	0.115	-0.541	0.758	0.002	2.075	0.542	0.754	0.175	0.122
<b>X=1</b>	-0.115	0.131	-0.389	0.77	0.001	2.019	0.391	0.766	0.128	0.138
<b>X=1.5</b>	-0.115	0.172	-0.389	1.045	0.001	2.726	0.391	1.037	0.128	0.183
<b>X=1.5</b>	-0.115	0.172	-0.389	1.045	0.001	2.726	0.391	1.037	0.128	0.183
<b>X=2</b>	-0.115	0.212	-0.389	1.319	0.001	3.05	0.391	1.309	0.128	0.228
<b>X=2</b>	-0.041	0.222	-0.14	1.325	0	3.02	0.142	1.314	0.047	0.237
<b>X=2.5</b>	-0.041	0.236	-0.14	1.425	0	3.364	0.142	1.413	0.047	0.254
<b>X=2.5</b>	-0.041	0.236	-0.14	1.425	0	3.364	0.142	1.413	0.047	0.254
<b>X=3</b>	-0.041	0.25	-0.14	1.525	0	3.327	0.142	1.511	0.047	0.27
<b>X=3</b>	0.041	0.25	0.14	1.525	0	3.327	-0.142	1.511	-0.047	0.27
<b>X=3.5</b>	0.041	0.236	0.14	1.425	0	3.364	-0.142	1.413	-0.047	0.254

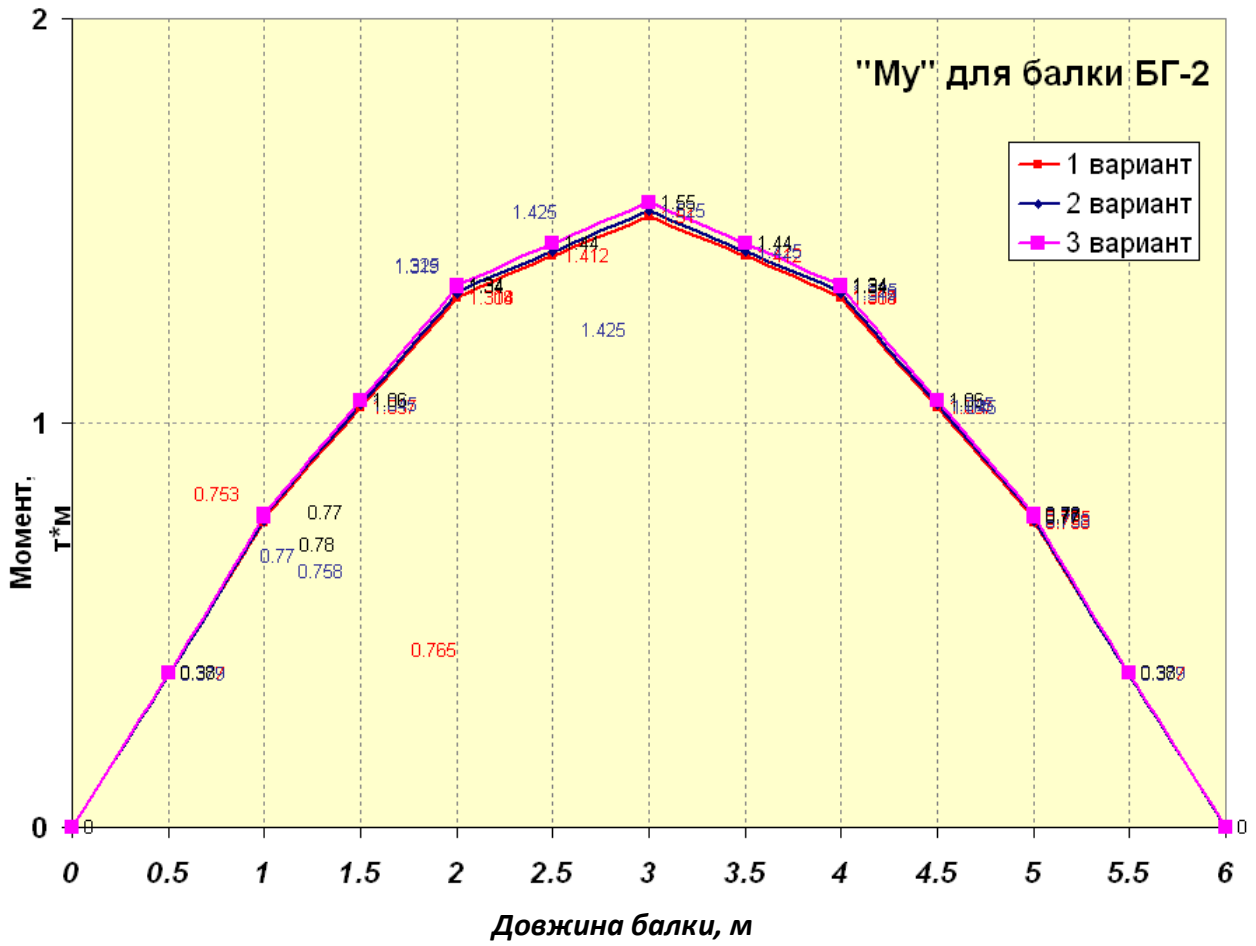
<b>X=3.5</b>	0.041	0.236	0.14	1.425	0	3.364	-0.142	1.413	-0.047	0.254
<b>X=4</b>	0.041	0.222	0.14	1.325	0	3.02	-0.142	1.314	-0.047	0.237
<b>X=4</b>	0.115	0.212	0.389	1.319	-0.001	3.05	-0.391	1.309	-0.128	0.228
<b>X=4.5</b>	0.115	0.172	0.389	1.045	-0.001	2.726	-0.391	1.037	-0.128	0.183
<b>X=4.5</b>	0.115	0.172	0.389	1.045	-0.001	2.726	-0.391	1.037	-0.128	0.183
<b>X=5</b>	0.115	0.131	0.389	0.77	-0.001	2.019	-0.391	0.766	-0.128	0.138
<b>X=5</b>	0.162	0.115	0.541	0.758	-0.002	2.075	-0.542	0.754	-0.175	0.122
<b>X=5.5</b>	0.162	0.057	0.541	0.379	-0.002	1.229	-0.542	0.377	-0.175	0.061
<b>X=5.5</b>	0.162	0.057	0.541	0.379	-0.002	1.229	-0.542	0.377	-0.175	0.061
<b>X=6.0</b>	0.162	0	0.541	0	-0.002	0	-0.542	0	-0.175	0

**Таблиця А.5 Внутрішні зусилля БК 9 (варіант 3)**

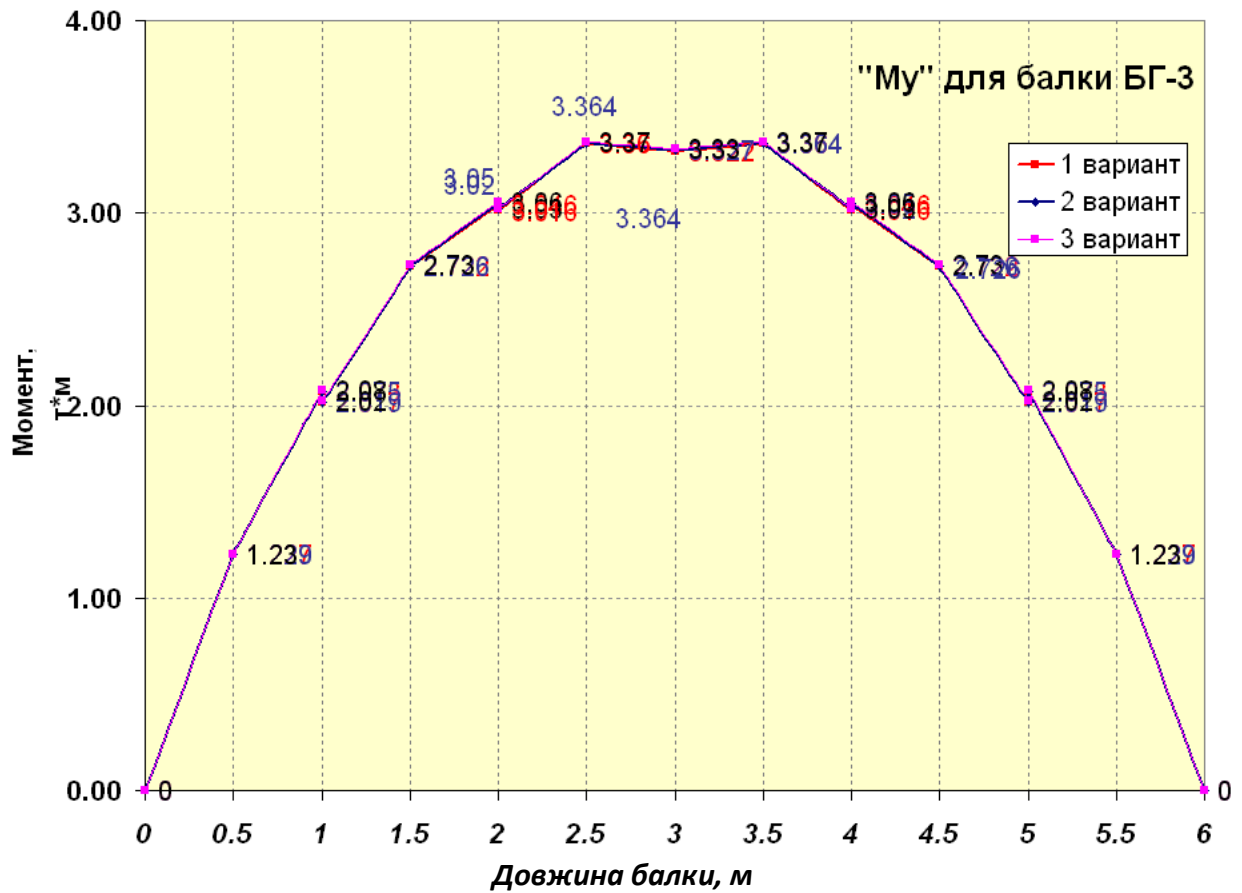
Координати по довжирні балки, м	БГ 1		БГ 2		БГ 3		БГ 4		БГ 5	
	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м	Мк, т*м	Му, т*м
<b>X=0</b>	-0.14	0	-0.54	0	0.004	0	0.54	0	0.18	0
<b>X=0.5</b>	-0.14	0.05	-0.54	0.38	0.004	1.23	0.54	0.38	0.18	0.06
<b>X=0.5</b>	-0.14	0.05	-0.54	0.38	0.004	1.23	0.54	0.38	0.18	0.06
<b>X=1</b>	-0.14	0.10	-0.54	0.77	0.004	2.08	0.54	0.75	0.18	0.12
<b>X=1</b>	-0.10	0.12	-0.39	0.78	0.003	2.02	0.39	0.77	0.13	0.14
<b>X=1.5</b>	-0.10	0.16	-0.39	1.06	0.003	2.73	0.39	1.04	0.13	0.18
<b>X=1.5</b>	-0.10	0.16	-0.39	1.06	0.003	2.73	0.39	1.04	0.13	0.18
<b>X=2</b>	-0.10	0.19	-0.39	1.34	0.003	3.06	0.39	1.31	0.13	0.23
<b>X=2</b>	-0.03	0.20	-0.14	1.34	0.001	3.03	0.14	1.32	0.05	0.24
<b>X=2.5</b>	-0.03	0.21	-0.14	1.44	0.001	3.37	0.14	1.41	0.05	0.25
<b>X=2.5</b>	-0.03	0.21	-0.14	1.44	0.001	3.37	0.14	1.41	0.05	0.25
<b>X=3</b>	-0.03	0.22	-0.14	1.55	0.001	3.33	0.14	1.51	0.05	0.27
<b>X=3</b>	0.03	0.22	0.14	1.55	-0.001	3.33	-0.14	1.51	-0.05	0.27
<b>X=3.5</b>	0.03	0.21	0.14	1.44	-0.001	3.37	-0.14	1.41	-0.05	0.25
<b>X=3.5</b>	0.03	0.21	0.14	1.44	-0.001	3.37	-0.14	1.41	-0.05	0.25
<b>X=4</b>	0.03	0.20	0.14	1.34	-0.001	3.03	-0.14	1.32	-0.05	0.24
<b>X=4</b>	0.10	0.19	0.39	1.34	-0.003	3.06	-0.39	1.31	-0.13	0.23
<b>X=4.5</b>	0.10	0.16	0.39	1.06	-0.003	2.73	-0.39	1.04	-0.13	0.18
<b>X=4.5</b>	0.10	0.16	0.39	1.06	-0.003	2.73	-0.39	1.04	-0.13	0.18
<b>X=5</b>	0.10	0.12	0.39	0.78	-0.003	2.02	-0.39	0.77	-0.13	0.14
<b>X=5</b>	0.14	0.10	0.54	0.77	-0.004	2.08	-0.54	0.75	-0.18	0.12
<b>X=5.5</b>	0.14	0.05	0.54	0.38	-0.004	1.23	-0.54	0.38	-0.18	0.06
<b>X=5.5</b>	0.14	0.05	0.54	0.38	-0.004	1.23	-0.54	0.38	-0.18	0.06
<b>X=6.0</b>	0.14	0	0.54	0	-0.004	0	-0.54	0	-0.18	0



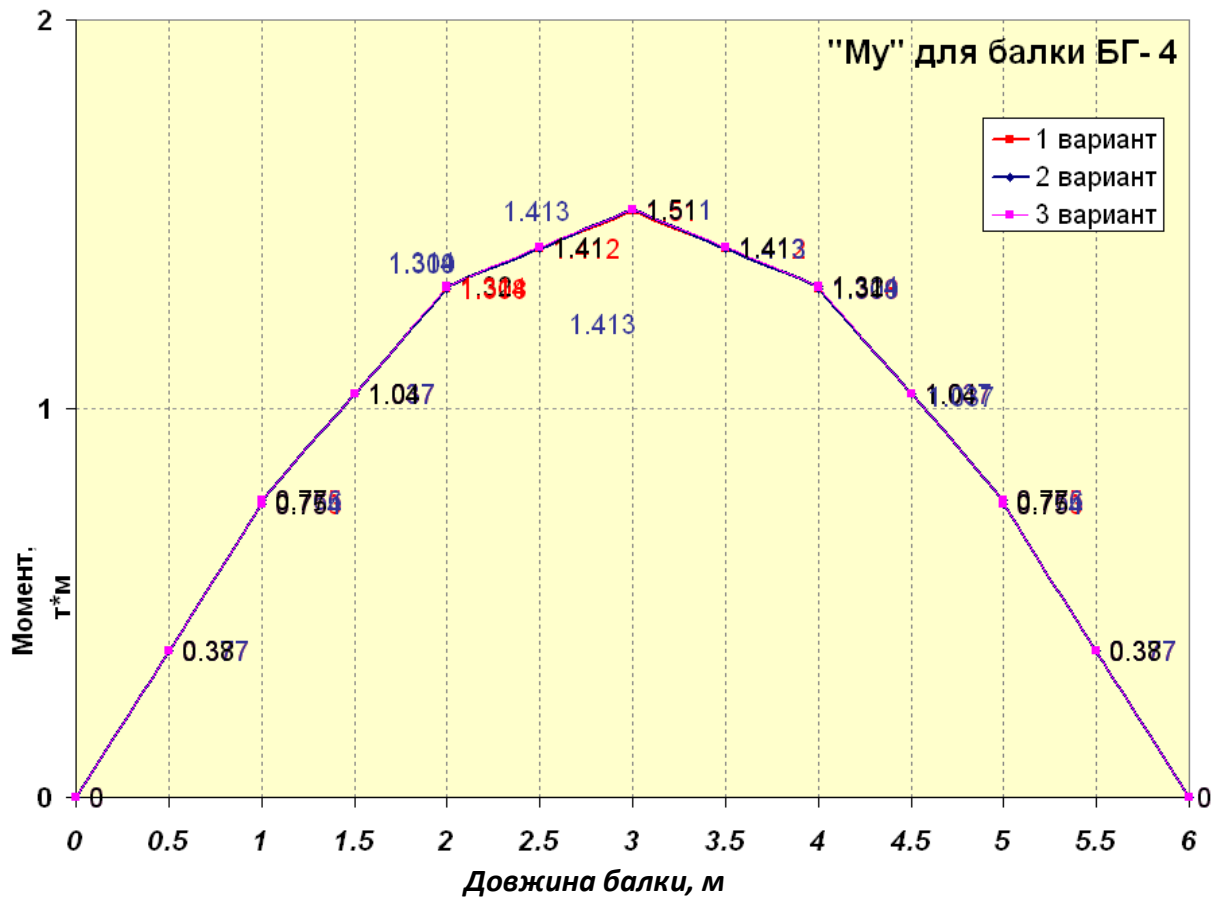
**Рис. А1 Епюра моментів вигину Mu для балки БГ-1**



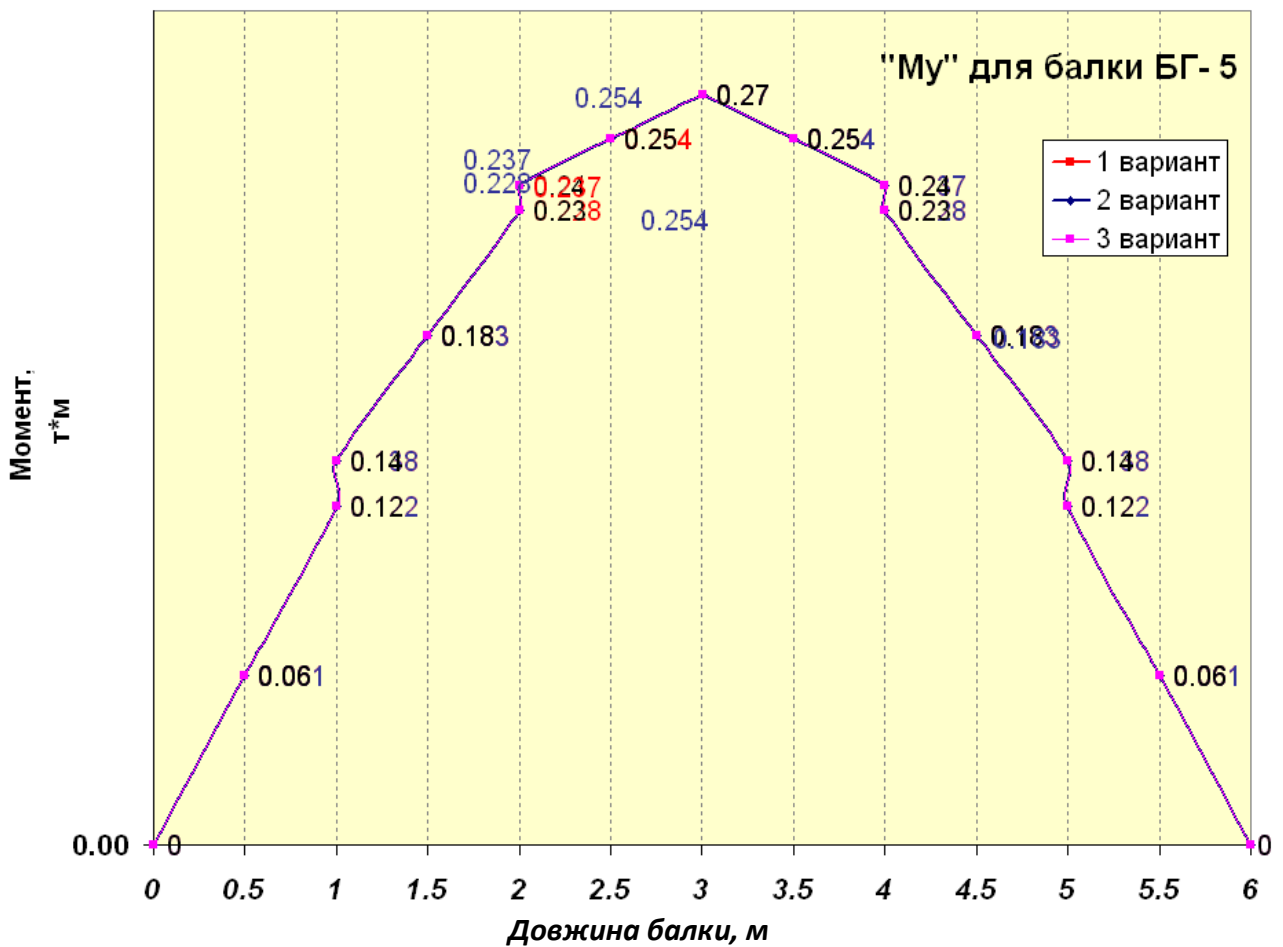
**Рис. А2 Епюра моментів вигину Му для балки БГ-2**



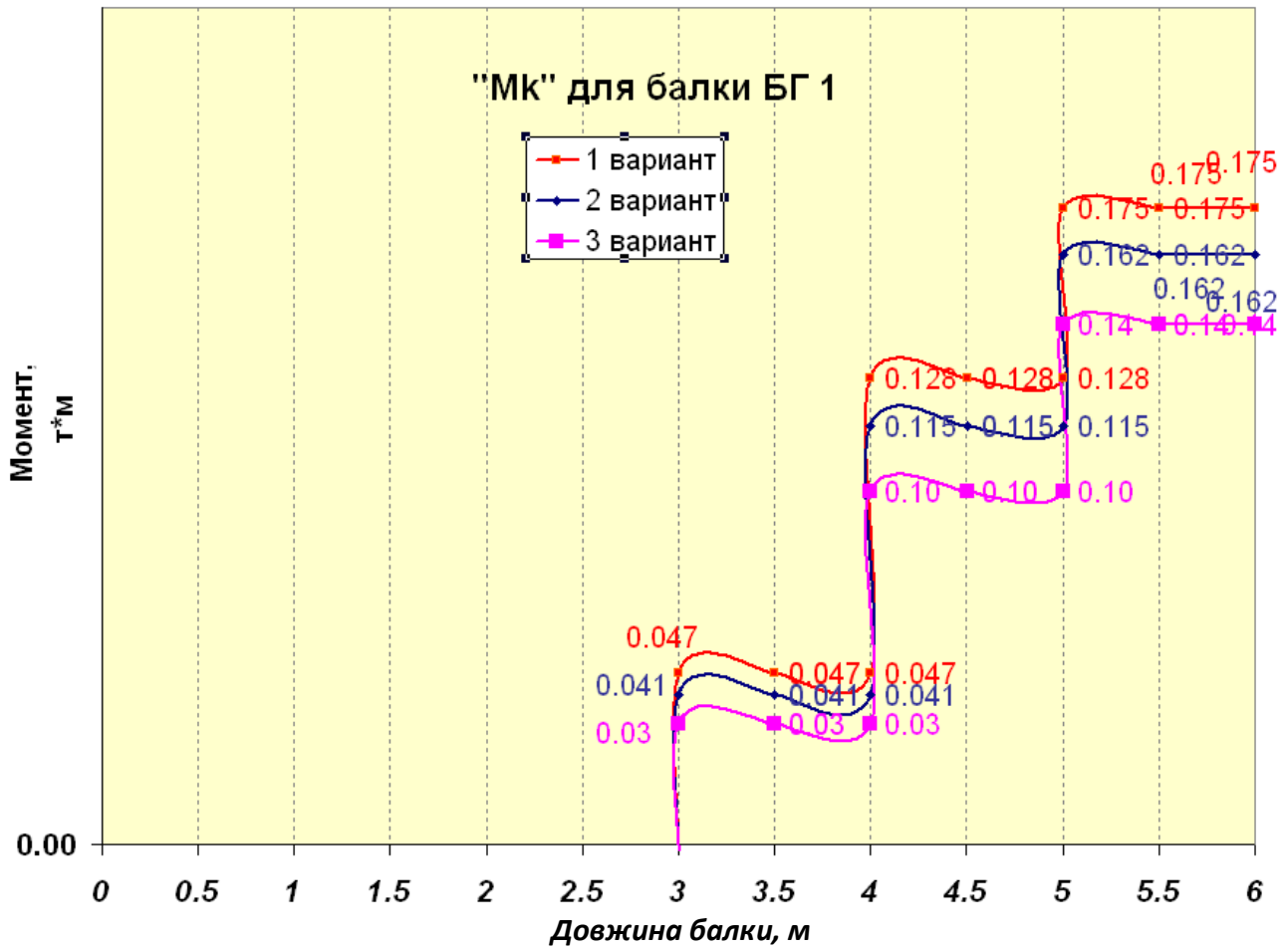
**Рис. А3 Епюра моментів вигину Му для балки БГ-3**



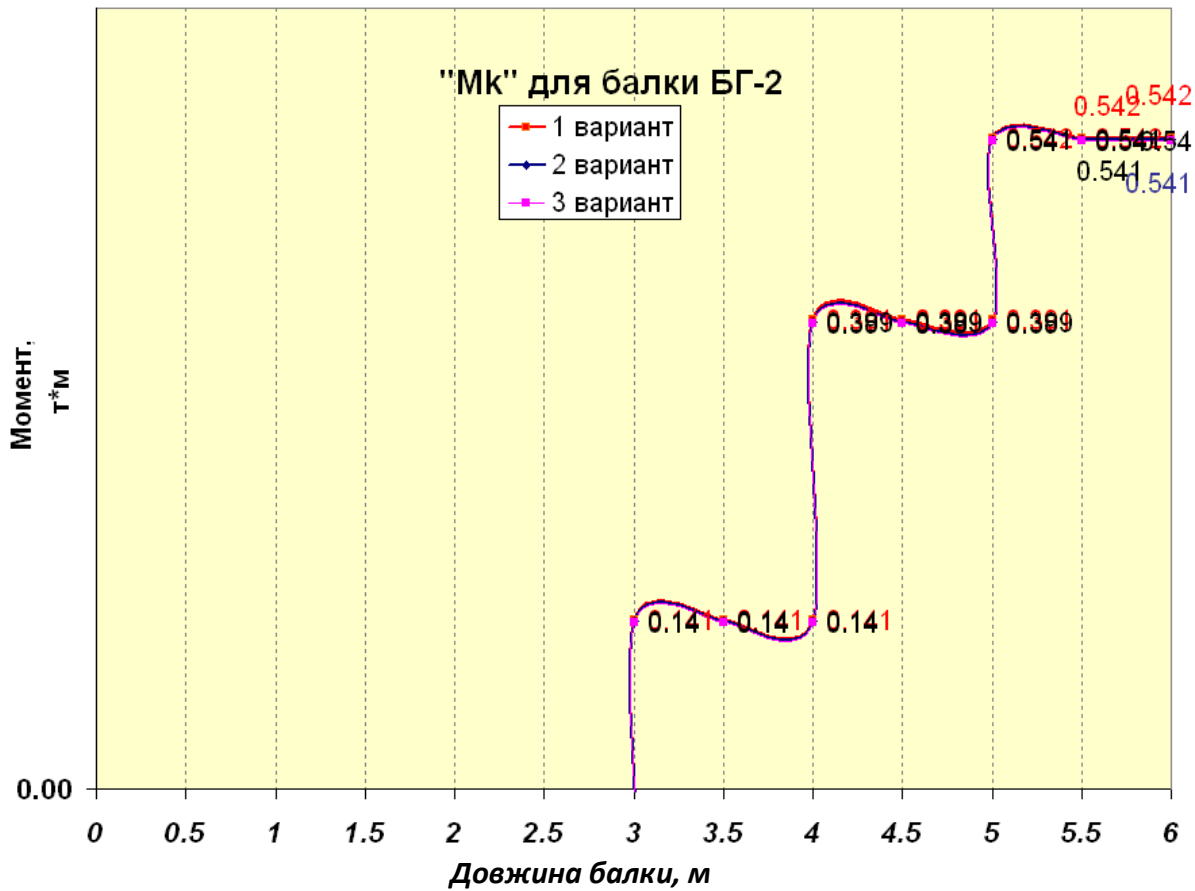
**Рис. А4** Епюра моментів вигину  $M_u$  для балки БГ-4



**Рис. А5** Епюра моментів вигину  $M_u$  для балки БГ-4



**Рис. А6 Епюра моментів кручення Mк для балки БГ-1**



**Рис. А7 Епюра моментів кручення Mк для балки БГ-2**

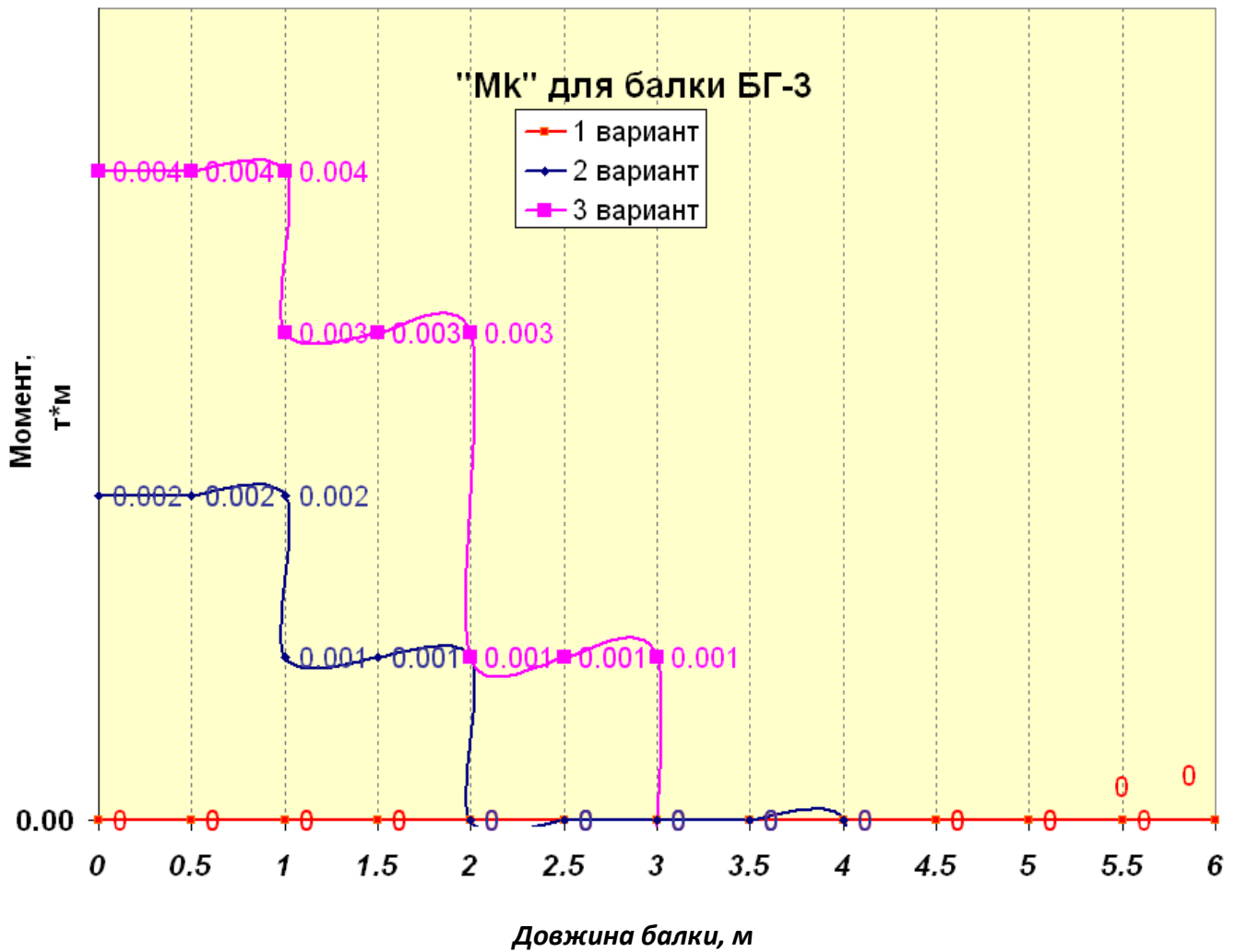


Рис. А8 Епюра моментів кручення Мк для балки БГ-3

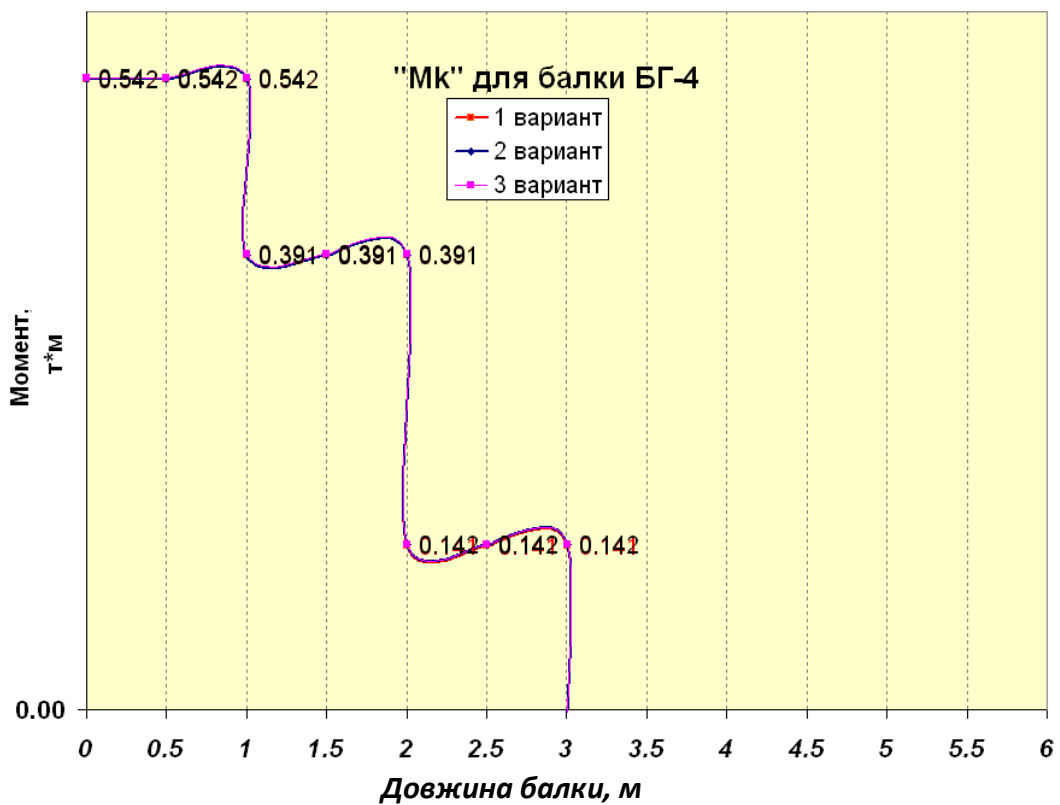
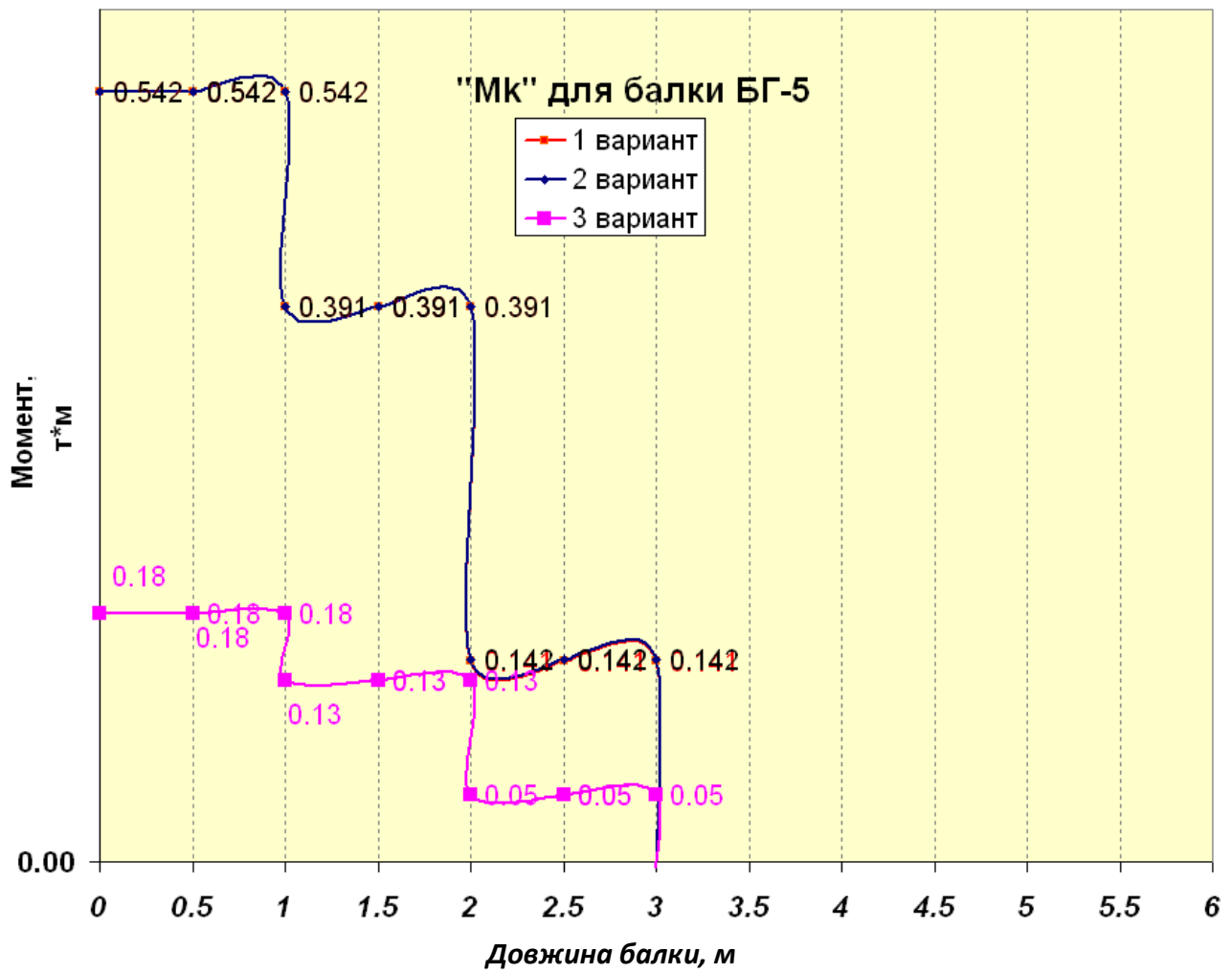


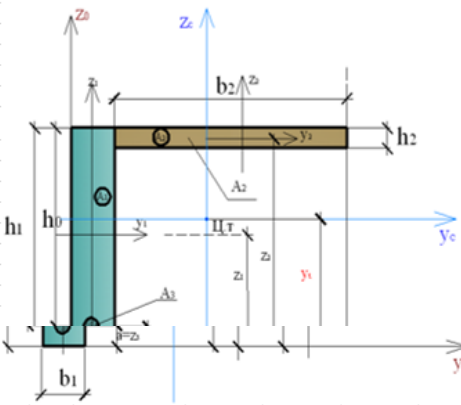
Рис. А9 Епюра моментів кручення Мк для балки БГ-4



**Рис. А10 Епюра моментів кручення Mк для балки БГ-5**

# ДОДАТОК Б

## Програма з визначення згинальної та осьової жорсткості для елементів ребристих залізобетонних перекриттів з нормальними тріщинами (за методикою СНиП 2.03.01-84\*)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Програма з визначення згинальної та осьової жорсткості для елементів ребристих залізобетонних перекриттів з нормальними тріщинами (за методикою СНиП 2.03.01-84*)												
1	дані, що задаємо												
2	1 Вихідні дані												
3	величини, що визначаємо												
4	величини, що визначаємо												
5	Rbt,ser	1800	кН/м <sup>2</sup>										
6	Rb,ser	22000	кН/м <sup>2</sup>										
7	Es	200000000	кН/м <sup>2</sup>										
8	Eb	290000000	кН/м <sup>2</sup>										
9	2 Геометричні характеристики перерізу												
10													
11	b1	0,350	м										
12	b2	4,325	м										
13	h1	0,75	м										
14	h2	0,10	м										
15	a=z3	0,04	м										
16	As=A3	0,00180	м <sup>2</sup>										
17	3. Коефіцієнти												
18	γ	1,3											
19	φb,crc	2,50											
20	εb1,red	0,0015											
21	2.Визначення Mсгс на ділянці без урахування непружних деформацій бетону												
22	J1	0,0123047	м <sup>4</sup>	<p>1. Якщо <math>M_{сгс} &lt; M_{max}</math>, то на ділянці нормальні тріщини не будуть утворюватися, тоді нові жорсткості для даної ділянки приймаємо з п.4</p> <p>2. Якщо <math>M_{сгс} &gt; M_{max}</math>, то обираємо нові жорсткості з пункту 5.1 чи 5.2</p> <p>3. Який пункт обрати, визначимо за величиною "X" з п.5.</p> <p>Якщо величина X є в межах <math>h_2</math>, то обираємо з п 5.2, якщо більше ніж <math>h_2</math>, то обираємо з п.5.1</p>									
23	J2	0,0003604	м <sup>4</sup>										
24	α	6,90											
25	A1	0,2625	м <sup>2</sup>										
26	A2	0,4325	м <sup>2</sup>										
27	z1	0,375	м										
28	z2	0,7	м										
29	Ared	0,7074138	м <sup>2</sup>										
30	Sred	0,4016841	м <sup>3</sup>										
31	yt	0,5678205	м										
32	Jred	0,0334396	м <sup>4</sup>										
33	W	0,0588911	м <sup>3</sup>										
34	<b>Mсгс</b>	<b>106,00403</b>	<b>кН*м</b>										
35	3. Максимальний згинальний момент на ділянці												
36	Mmax	69,841742	кН*м										
37	4. Жорсткість згинального залізобетонного елемента на ділянці без тріщин у розтягнутій зоні												
38	A	1											
39	Eb1	24650000	кН/м <sup>2</sup>										
40	Bi	824285,91	кН*м <sup>2</sup>	Жорсткість при вигині									
41	EA	20515000	кН	Жорсткість осьова (при стиску-розтягу)									
42	5. Жорсткість згинального залізобетонного елемента на ділянці з тріщинами в розтягнутій зоні												
43	z	1,2793534	м	0,959699264	0,979642416	-0,29971096	-0,2						
44	x	-0,212795	м	висота стиснутої зони перерізу									
45	Умова												
46	5.1 Визначення геометричних характеристик перерізу, якщо стиснена зона проходить у ребрі перерізу												
47	Jred,crc	0,0026023	м <sup>4</sup>					-0,00328322	0,0026				
48	Bi,crc	38167,601	кН*м <sup>2</sup>	жорсткість при стиснутій зоні в ребрі пере				0,004565383					
49	EA,crc	5433055,8	кН										
50	5.2 Визначення геометричних характеристик перерізу, якщо стиснена зона проходить у полиці перерізу												
51	Bi',crc	67845,32	кН*м <sup>2</sup>	жорсткість при стиснутій зоні в полиці перерізу									
52	EA,crc	-14408560	кН										

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРІАЛИ  
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ СТУДЕНТІВ  
ТА АСПІРАНТІВ, ПРИСВЯЧЕНОЇ  
МІЖНАРОДНОМУ ДНЮ СТУДЕНТА**

**(13 - 17 листопада 2023 р., м. Суми)**

Рекомендовано до друку науково-координаційною радою Сумського національного аграрного університету (протокол № 6 від 24.11.2023 р.)

**Редакційна рада:**

Ладика В.І., академік НААН України  
Данько Ю.І., д.е.н., професор  
Пасько О.В., к.е.н., доцент

**Редакційна колегія:**

Бричко А.М., к.е.н., доцент  
Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент  
Кисельов О.Б., к.с.-г.н., доцент  
Масик І.М., к.с.-г.н., доцент  
Михайліченко М.А., к.і.н., доцент  
Срібняк Н.М., к.т.н., доцент  
Степанова Т.М., к.т.н., доцент  
Шкромада О.І., д.вет.н., професор

**Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів,  
присвяченої Міжнародному дню студента – (13-17 листопада 2023 р.). –  
Суми, 2023. – 700 с.**

У збірку увійшли тези доповідей Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів,  
присвяченої Міжнародному дню студента.  
Для викладачів, студентів, аспірантів.

## ВПЛИВ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ В ПЕРЕКРИТТЯХ

Надеїна О.В., студ. 2 курсу ОС «Магістр», спец.192 «Будівництво та цивільна інженерія», ФБТ  
Срібняк Н.М., к.т.н., доцент  
Галушка С.А., ст. викладач  
Сумський НАУ

Статично невизначувані системи перекриттів та покриттів здебільшого являють собою плитно-балочні системи. В таких системах від завантаження вертикальним навантаженням виникають в тому числі й моменти вигину, максимальні значення яких виникають в перерізах посередині прольоту. Але за певних умов ( локальне завантаження, нерегулярна геометрична система перекриття) досить значних значень можуть набувати крутні моменти. Ці два фактора - моменти вигину й моменти кручення в пластичній стадії роботи залізобетону залежать від реальних параметрів жорсткості перерізу. В пластичній стадії роботи залізобетону жорсткість перерізу на різні види деформацій не є лінійною (пружною) й залежить від багатьох факторів, зокрема від тріщиноутворення

Плитно-балочні системи перекриттів характеризуються, здебільшого, нормальними від вигину тріщинами. Таке тріщиноутворення приводить до зміни як жорсткості при вигині, так і жорсткості при крученні. Зміни жорсткостей важливо враховувати з метою більш точного обчислення зусиль в елементах перекриттів, а, значить, й для більш точного їх конструювання. Виконано числовий експеримент на моделі плитно-ребристої системи перекриття метою якого є виявити вплив нормальних тріщин на пониження жорсткостей та перерозподіл зусиль в елементах таких систем.

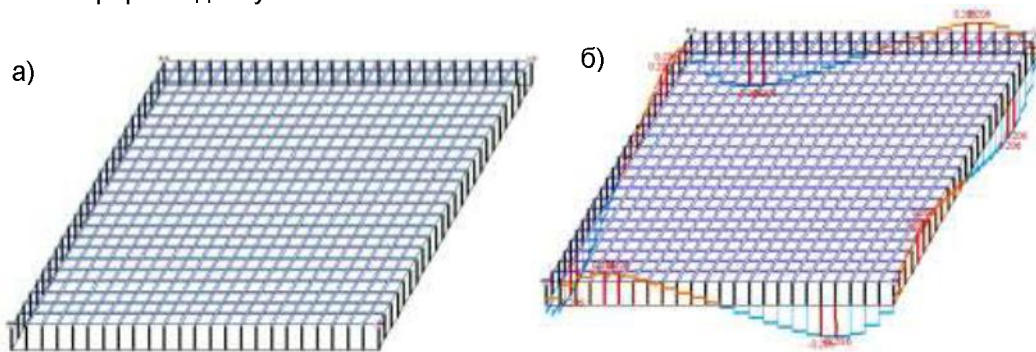


Рис.1 Скінченоелементна схема залізобетонної плитно-ребристої системи перекриття



Рис. 2 Максимальні значення параметрів НДС в скінчено-елементній схемі

### Література

1. Азизов Т.Н. Пространственная работа железобетонных перекрытий. Теория и методы расчета: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.01 /Азизов Талят Нурединович. – Полтава, 2006. – 406

Жаріков Е.С., Волошко Т.П. РОЛЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	72
Жогло Д.О., Бородай А.С. ДО АНАЛІЗУ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПАМ'ЯТОК КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ В СУМСЬКІЙ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ.....	73
Забуга О.О., Срібняк Н.М. КЛАСИФІКАЦІЯ УКРИТТІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ .....	74
Заворотько Є.О., Бородай Д.С. ФАКТОРИ І ПРИНЦИПИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЄКТУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ.....	75
Загоруйко І.Ю., Циганенко Л.А., Циганенко Г.М. ВРАХУВАННЯ ПРОГРЕСУЮЧОГО РУЙНУВАННЯ НА КАРКАС БУДІВЛІ НА ПРИКЛАДІ ТОРГОВО-ОФІСНОГО ЦЕНТРУ У М. ПОЛТАВА .....	76
Іваній А. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ ПОКРИТТЯ ПРИ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ МОНТАЖУ СЕС.....	77
Кизим К.Р., Бородай Д.С. КРИТЕРІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ВІДПОЧИНКУ У КАРПАТАХ.....	78
Клименко В.О., Бородай Д.С. АНАЛІЗ МЕРЕЖІ ГОТЕЛІВ В СТРУКТУРІ МІСТА СУМИ .....	79
Кравченко А.В., Савченко О.С., Савченко Л.Г. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРНИХ ЗГИНАЛЬНИХ МОМЕНТІВ В ЗАЦЕМЛЕНИХ БАГАТОПУСТОТНИХ ПЛИТАХ ПЕРЕКРИТТЯ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМУВАННЯ ВІД ЖОРСТКОСТІ ОСНОВИ.....	80
Кручик А.М., Андрух С.Л. ГІДРОІЗОЛЯЦІЯ СТАРОЇ ЗАБУДОВИ.....	81
Кулик В.Ю., Срібняк Н.М., Галушка С.А. МЕТОД РЕГУЛЯЦІЇ ЗУСИЛЬ В СТРУКТУРНІЙ ПЛИТІ.....	82
Кучерявенко С.В., Андрух С.Л. ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПОЛІКАРБОНАТНИХ СИСТЕМ В БУДІВНИЦТВІ .....	83
Лампак В.М., Рудіченко О.І., Роговий С.І. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	84
Левицький А.О., Новицький О.П. СУМІСНА РОБОТА ТРУБОБЕТОННИХ КОЛОН ІЗ СТАЛЕВИМ ПЕРЕКРИТТЯМ .....	85
Левікова А.І., Бородай Д.С. ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО ВИРІШЕННЯ ДИТЯЧИХ САДКІВ .....	86
Левікова А.І., Бородай Я.О. ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРИЙОМИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО ВИРІШЕННЯ БУДІВЕЛЬ ДИТЯЧИХ САДКІВ.....	87
Лимаренко Р., Сохошко В., Циганенко Л.А., Циганенко Г.М. ПИТАННЯ ЗАХИСНИХ УКРИТТІВ .....	88
Лихіцький Ю.В., Горлач Т.Л. УМОВИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ .....	89
Лихіцький Ю.В., Горлач Т.Л. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ЯК ВАНТАЖУ, ЩО ПЕРЕВОЗИТЬСЯ.....	90
Лобанов В.В., Бородай А.С. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СУЧАСНИХ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ .....	91
Лободін В.М., Новицький О.П. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАКРІПЛЕННЯ ОСНОВ ПРИ ЗВЕДЕННІ БУДІВЕЛЬ БІЛЯ РІЧОК.....	92
Лузан Є.А., Бородай А.С. ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЗАКЛАДІВ ДЛЯ ВІДПОЧИНКУ І ОЗДОРОВЛЕННЯ В УКРАЇНІ.....	93
Макаренко В., Циганенко Л.А. ФОРМОУТВОРЕННЯ СТРУКТУРНИХ ГРАТОК.....	94
Макаров Ю.Ю., Сирота М.М., Срібняк Н.М. НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ В ЗАЛЕЖНОСТІ СТРИЛИ ПІДЙОМУ" .....	95
Мельниченко Ю.М., Саржанов О.А. ЗЕРНОВА КРИЗА ТА НАВІГАЦІЯ: ВИКЛИКИ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОЇ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ.....	96
Митрофанов В.В., Срібняк Н.М. ВРАХУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОСТІ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПЛОСКОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ РАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПК ЛИРА.....	97
Мірошник М.О., Бородай А.С. СИМВОЛІЗМ АРХІТЕКТУРИ СОБОРУ ПАРИЗЬКОЇ БОГОМАТЕРІ.....	98
Надеїна О.В., Срібняк Н.М., Галушка С.А. ВПЛИВ ТРИЩИНОУТВОРЕННЯ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ В ПЕРЕКРИТТЯХ.....	99
Надтачєєв О.М., Новицький О.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ НАЙШВИДШИХ ВАРИАНТІВ УТЕПЛЕННЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ З УРАХУВАННЯМ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ РОБІТ .....	100
Нежинський Д.П., Новицький О.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО УТЕПЛЕННЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПОРІВНЯННІ З ВНУТРІШНІМ УТЕПЛЕННЯМ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	101
Нежинський Д.П., Новицький О.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НАБРИЗНОГО УТЕПЛЮВАЧА ПІНОПОЛІУРЕТАНУ НА ВІДМІНУ ВІД МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	102
Петрова С.М., Бородай Д.С. ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОСТОРУ ВЕТЕРИНАРНИХ КЛІНІК.....	103

Сумський національний аграрний університет

Кафедра будівельних конструкцій

**ВРАХУВАННЯ КРУЧЕННЯ  
В РОЗРАХУНКАХ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
СТАТИЧНО  
НЕВИЗНАЧЕНИХ СИСТЕМ**

Здобувач – Надеїна  
Олена Вікторівна

Керівник - к.т.н.,  
доцент Срібняк  
Наталія Миколаївна

2023 р.

# Актуальність теми

- У ребрах як збірних, так і монолітних перекриттів, виникають різні згинальні та крутні моменти, що залежать від жорсткостей на вигин та кручення та прикладеного навантаження.
- Залізобетонні елементи відрізняються особливістю тріщиноутворення, що впливає на напружено-деформований стан і характеристики жорсткості перерізів.
- Експериментальними дослідженнями встановлено вплив таких тріщин на зміну не лише жорсткостей при згині, але й *жорсткостей при крученні*.

## Мета роботи:

- отримання уточнених зусиль в окремих конструктивних елементах монолітного залізобетонного ребристого перекриття під час його розрахунку із врахуванням просторової роботи та тріщиноутворення.

# Задачі дослідження

- ознайомитися з дослідженнями, як теоретичними, так і експериментальним, що існують, стосовно просторової роботи будівельних систем; досліджень, пов'язаних із визначенням жорсткості при крученні й міцності при крученні для елементів залізобетонних плоских систем перекриття;
- ознайомитися з методологією, яка існує, щодо обчислення жорсткості при вигині елементів ребристих перекриттів, в яких виникають нормальні від вигину тріщини;
- ознайомитися з методологією, яка існує, стосовно визначення крутильної жорсткості елементів ребристих перекриттів, в яких виникають нормальні від вигину тріщини;

# Задачі дослідження

- ознайомитися з програмою-алгоритмом визначення жорсткості при вигині елементів ребристих перекриттів, які мають нормальні тріщини, що розроблена на мові
- ознайомитися з програмою визначення крутильної жорсткості елементів ребристих перекриттів, що мають нормальні тріщини, й яка розроблена на мові
- виконати числовий експеримент із застосуванням інженерної методики за обчислення жорсткості при крученні для елементів залізобетонного ребристого перекриття, що мають нормальні від вигину тріщини. В рамках експерименту необхідно дослідити впливу зміни крутильної жорсткості залізобетонних елементів ребристих перекриттів в результаті виникнення в них нормальних тріщин на характер й величини внутрішніх зусиль (моментів вгину та моментів кручення).

- **Об'єкт дослідження** – залізобетонні елементи ребристого перекриття, в яких, внаслідок роботи на вигин, виникають нормальні тріщини
- **Предмет дослідження** – крутильна жорсткість залізобетонних елементів прямокутного перерізу із нормальними тріщинами; напружений стан ділянки перекриття при врахуванні зміни крутильної жорсткості внаслідок виникнення нормальних тріщин в поздовжніх ребрах плити.

# Методи дослідження

- Серед методів, що використовуються в роботі, можна виділити: **аналітичний метод збору та вивчення інформації**, що дозволяє зібрати та проаналізувати дослідження з питання, що вивчається.
- Застосовано також математичний метод – **метод скінчених елементів (МСЕ)** при моделюванні та статичному розрахунку конструкції.
- Згідно методу СЕ реальна конструкція представляється у вигляді моделі, що складається з певної кількості скінчених елементів. Між собою ці елементи з'єднуються у вузлах. Будівельна СЕ схема характеризується певною граничною кількістю скінчених елементів та вузлів, якими ці елементи з'єднуються. Від особливостей побудови скінченоелементної розрахункової схеми (моделі) залежить вірність її побудови, а значить й достовірність отриманого результату розрахунку, тобто правильність визначення зусиль, напружень в скінчених елементах та переміщень вузлів (деформацій конструкції).
- Принцип визначення зусиль за МСЕ полягає у визначенні деформацій системи, та, як наслідок, напружень чи зусиль, що залежать від деформацій. Таким чином, базою для МСЕ є відомий аналітичний метод будівельної механіки- метод переміщень (деформацій).
- **Числово-аналітична методика, запропонована Т.Н. Азізовим [10,11,17,18]**, на базі якої створена програма на мові BASIC (дивись додаток [1]). Методика дозволяє визначити понижуючий коефіцієнт  $K_g$  до пружної жорсткості при крученні для ділянок стержньового елемента (ребра), де утворюються нормальні тріщини.

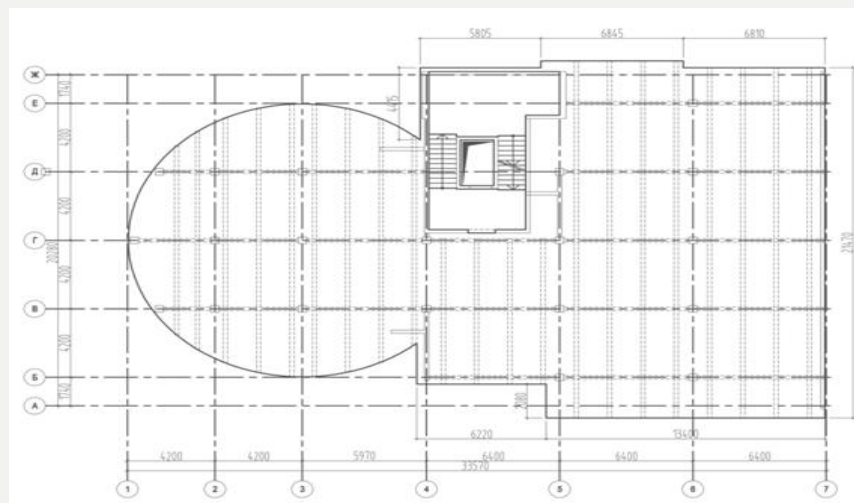
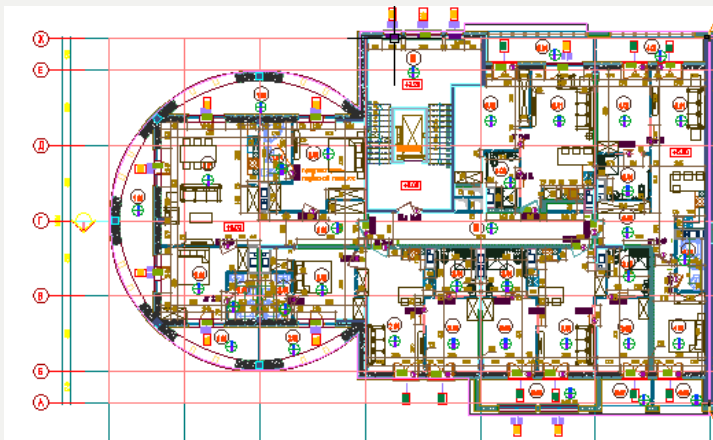
# Практичне значення отриманих результатів

- Результати числового експерименту дозволяють врахувати фактори, які не враховуються сучасними нормами проектування, як в Україні, так і за кордоном (ЕС, США).
- Уточнений напружено-деформований стан статично невизначуваної системи перекриття, що визначається за допомогою нових методик дозволяє більш точно й раціонально запроектувати (заармувати) конструкцію залізобетонного перекриття.

# Апробація та публікація результатів роботи

- Надеїна О.В., Срібняк Н.М., Галушка С.А. Вплив тріщиноутворення на перерозподіл зусиль в перекриттях // // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023. С.99

# Фрагмент плану будівлі



# Конструктивне вирішення монолітного перекриття

- Монолітне плитно-ребристе перекриття (рис.1) являє собою комбіновану систему, що складається з плити (що працює як балка чи пластина, оперта по контуру) і замонолічених одночасно з нею балок, які можуть розташовуватися в різних напрямках і перетинатися один з одним.

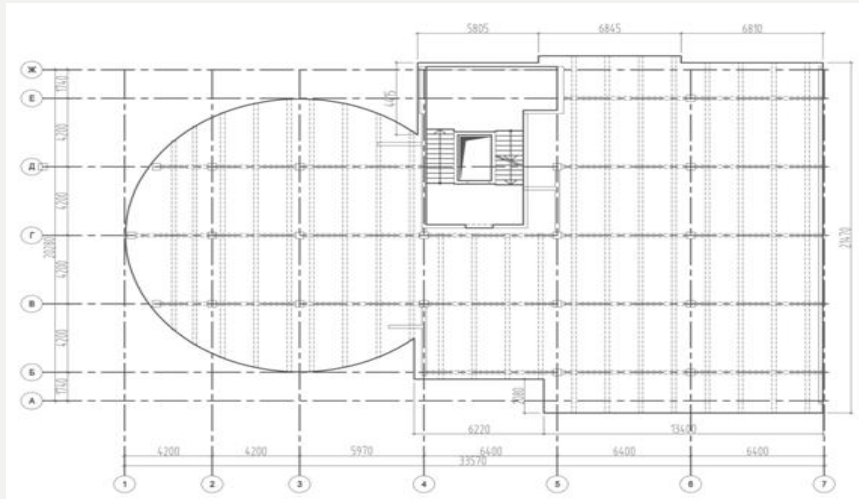


Рис.1 План монолітної плити перекриття

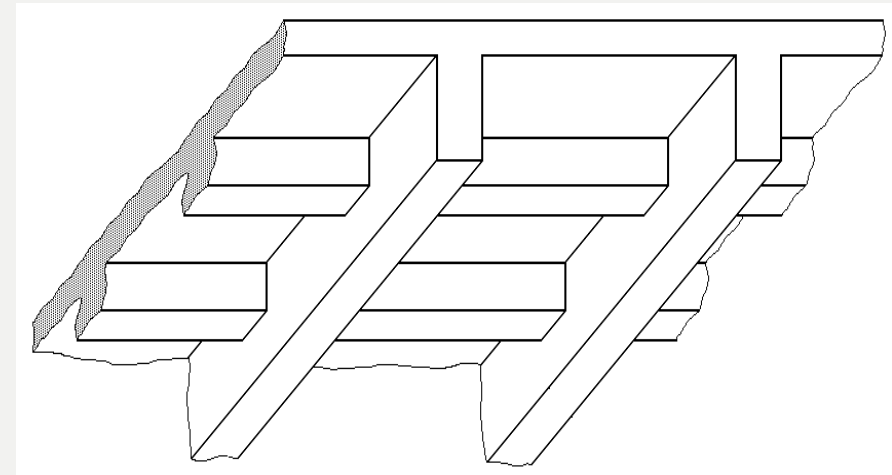


Рис.2 Фрагмент ребристого перекриття

# Алгоритм числового експерименту

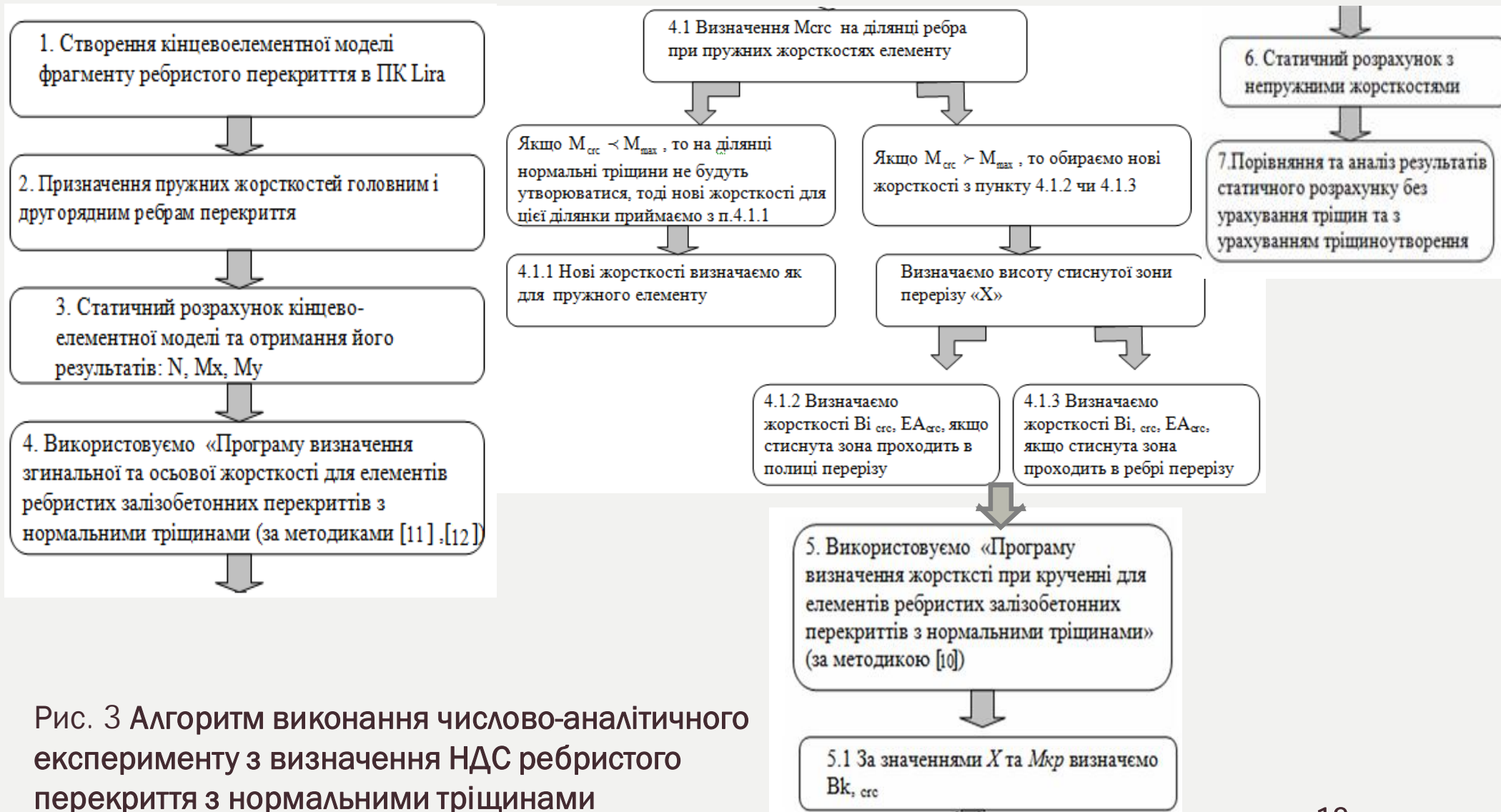


Рис. 3 Алгоритм виконання числово-аналітичного експерименту з визначення НДС ребристого перекриття з нормальними тріщинами

# Методики, що прийнято для обчислення жорсткостей ребер

На вигин

Методика СНіП  
(додаток Б)

На кручення

Методика Т.Н. Азізова  
(listing програми в [1])

Розрахунки

Операції Довідка Про програму

**Початкові дані**

Геометричні характеристики перерізу

b1  м

b2  м

h1  м

h2  м

a  м

As  м<sup>2</sup>

Характеристики важкого бетону

Для вибору фізико-механічних характеристик важкого бетону натисніть тут праву клавішу миші

Коефіцієнти

$\varphi_{b,crc}$  2.5  $\gamma$  1.3

$\varepsilon_{b1,red}$  0.0015

Розрахунок жорсткості при крученні для двохшарового стрижня (з одним членом ряду Фур'є)

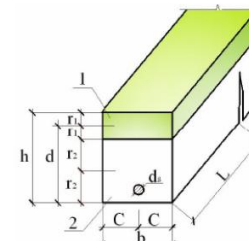


Рис. 3.1 Розрахункова схема блоку з шуканою крутильною жорсткістю: 1-верхній стержень (стиснута зона); 2- нижній стержень; L –довжина блоку між тріщинами

Програма для визначення жорстких та міцнісних характеристик залізобетонного елемента прямокутного перерізу з нормальними тріщинами (listing)

```
dim Mt0(100)
dim MQ(30),b(30),A(30,30),a1(30,30),x(30)
dim TT(50,50),Tau(50,50),QS(50,50),S(50,50)
dim Smax(100),Tmax(100),Tauxmax(100),Qmax(100)
dim fimtver(50,50),fimtng(50,50),fitot(100)
dim fimsver(50,50),fimsng(50,50)
dim AAA(50),BBB(50),CCC(50),bet(50),delt(50),gamm(50),ksi(50),ny(50)
dim etta(50),omeg(50),fi(50),ny(50)
dim rr(50),GJ(50),deltanig(5)
Pi=3.14159
```

# Створення кінцевоелементної моделі фрагменту каркасу

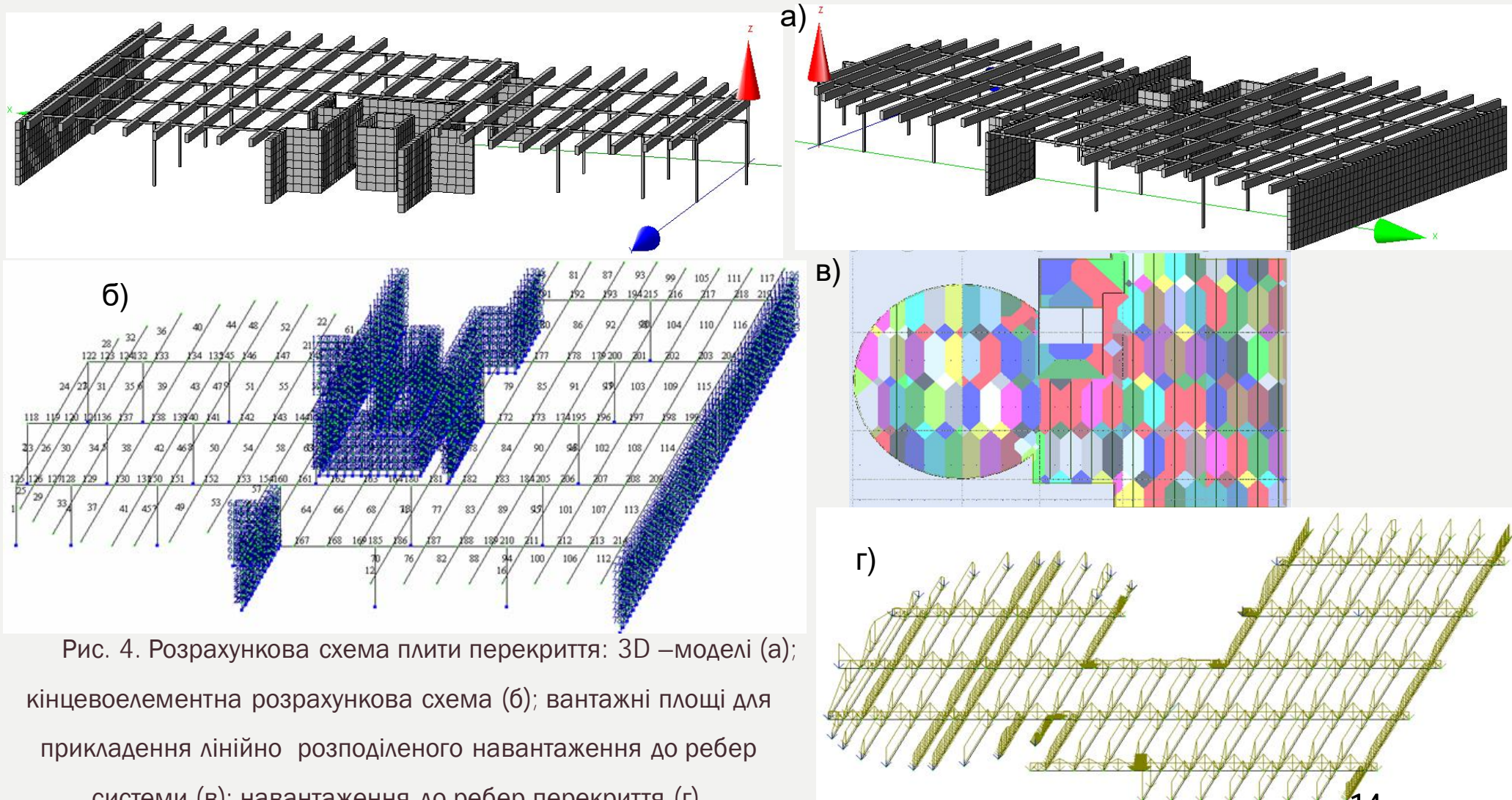


Рис. 4. Розрахункова схема плити перекриття: 3D – моделі (а); кінцевоелементна розрахункова схема (б); вантажні площі для прикладення лінійно розподіленого навантаження до ребер системи (в); навантаження до ребер перекриття (г).

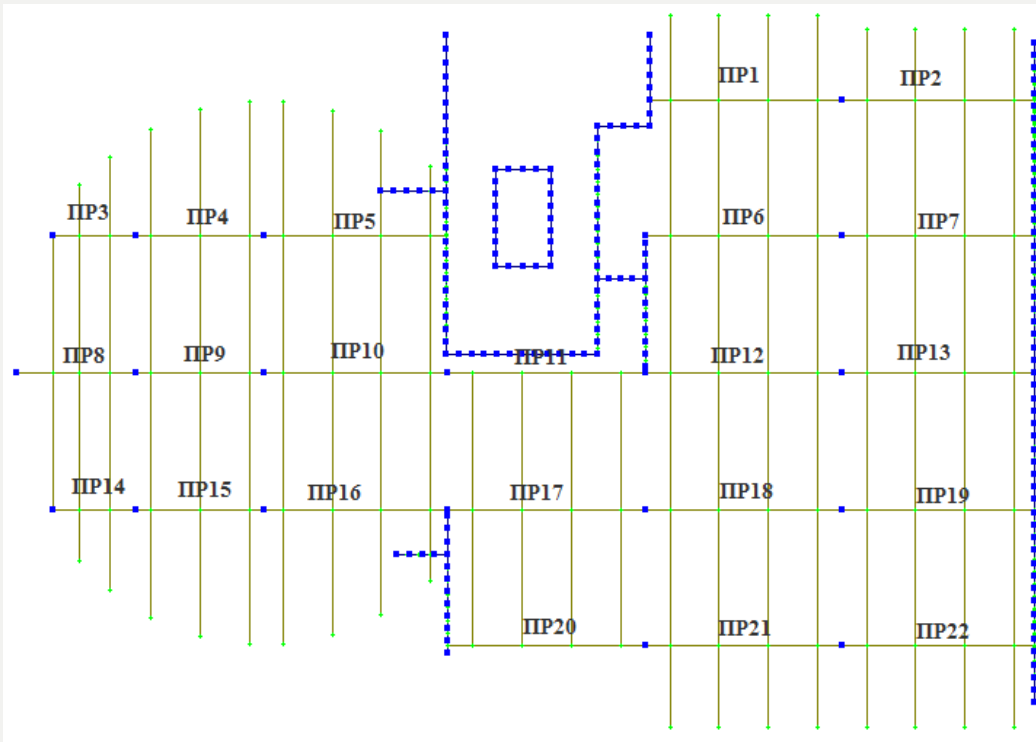


Рис. 5. Схема розташування поздовжніх ребер перекриття (головних балок)

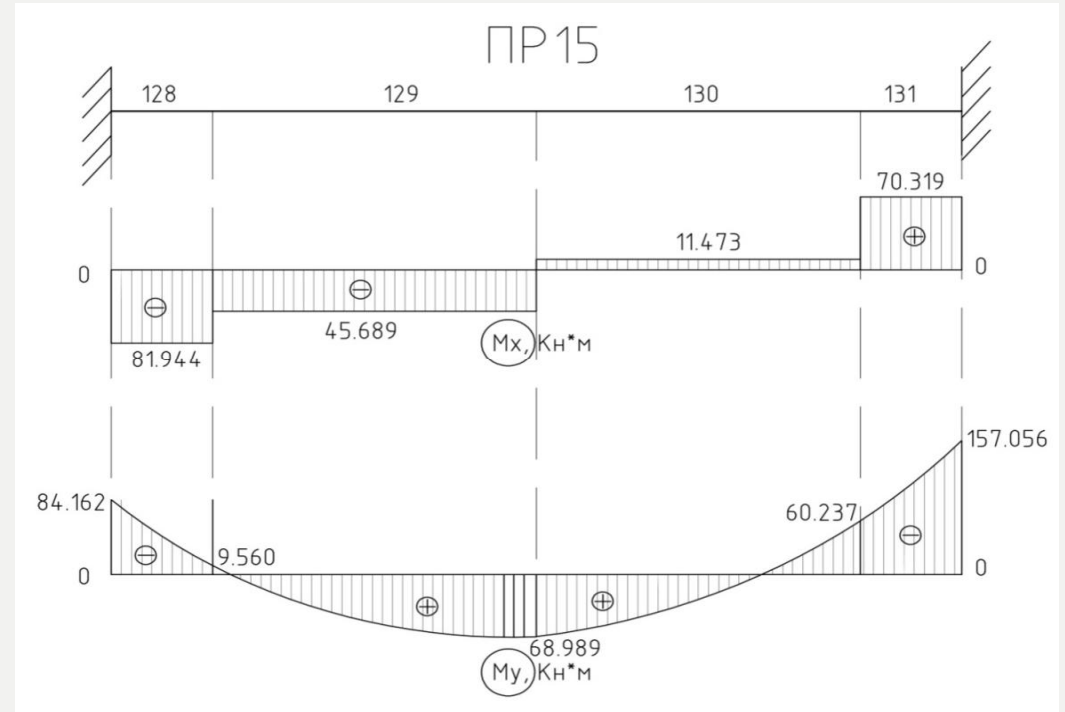


Рис. 6. Епюра згинаючих і крутних моментів для поздовжнього ребра ПР-15 ячейки перекриття після пружного розрахунку



Рис. 7. Розподіл глибини тріщини для ребра ПР-15 ячейки перекриття

Для порівняння зусиль, отриманих в ребрах при їх пружних жорсткостях, і зусиль, отриманих при жорсткостях з урахуванням нормальних тріщин, змінимо жорсткість при вигині, осьову та крутильну жорсткості всіх поздовжніх ребер перекриття згідно з новими жорсткостями, що враховують наявність нормальних тріщин та обчисленими за вищенаведеними методиками [1,2]

Виконаємо перерахунок зусиль в елементах ячійки перекриття з уточненими характеристиками жорсткості.

Для порівняння зусиль, отриманих в ребрах при їх пружних жорсткостях, і зусиль, отриманих при жорсткостях з урахуванням нормальних тріщин, змінимо жорсткість при вигині, осьову та крутильну жорсткості всіх поздовжніх ребер перекриття згідно з новими жорсткостями, що враховують наявність нормальних тріщин та обчисленими за вищенаведеними методиками [1,2].

Виконаємо перерахунок зусиль в елементах ячійки перекриття з уточненими характеристиками жорсткості.

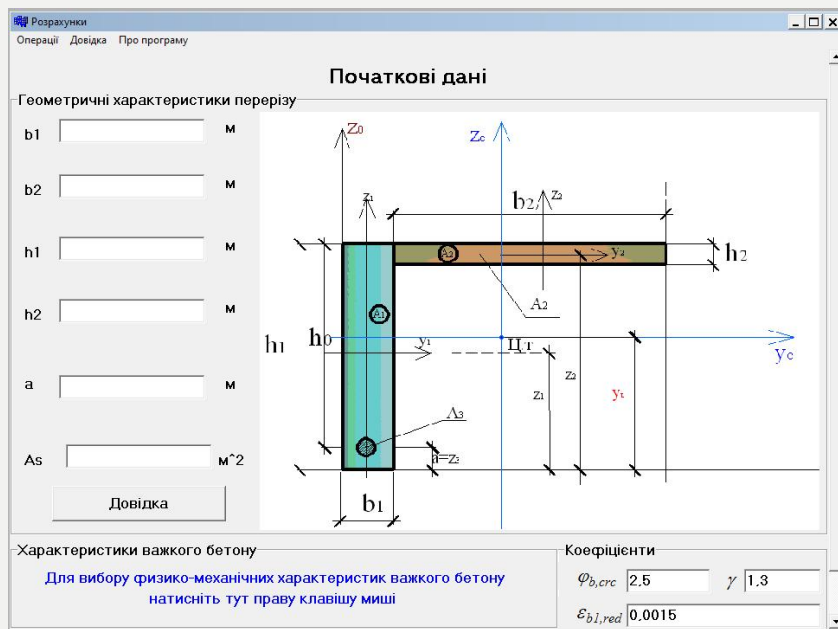


Рис. 8. Вікно програми на мові C++ для визначення жорсткостей при вигині та розтязі з урахуванням нормальних тріщин

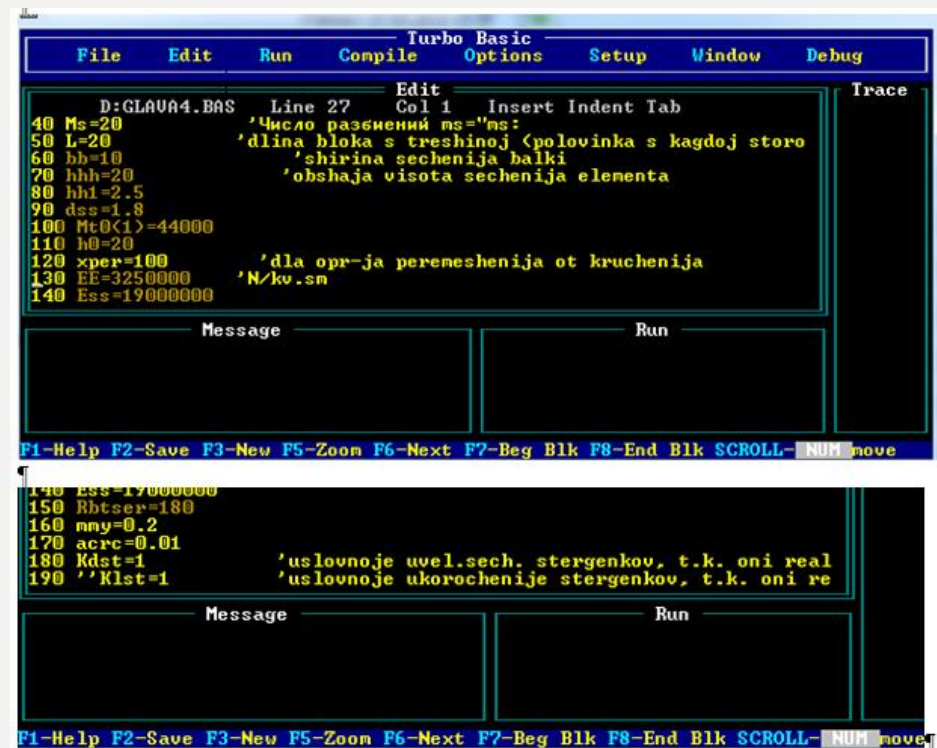


Рис. 9. Вікно програми на Turbo Basic для визначення жорсткостей при крученні з урахуванням нормальних тріщин

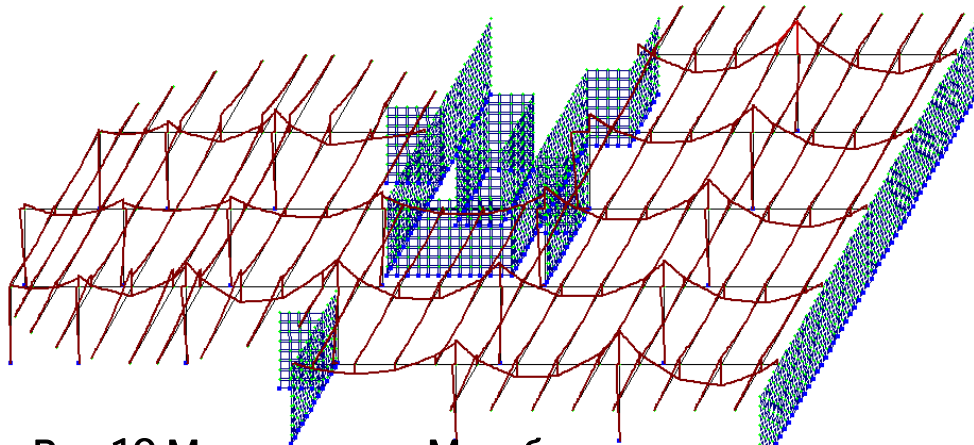


Рис.10 Момент згину  $M_y$  в балках при пружному розрахунку

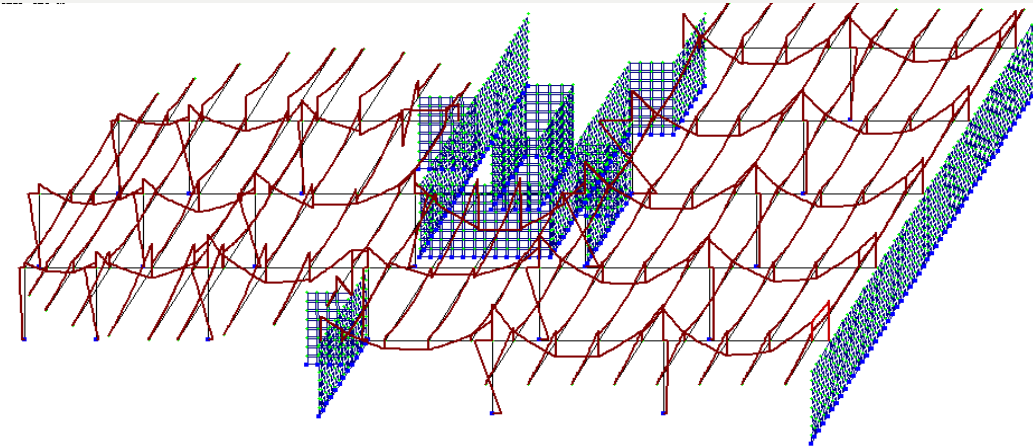


Рис.11 Момент згину  $M_y$  в балках при розрахунку з урахуванням нормальних тріщин

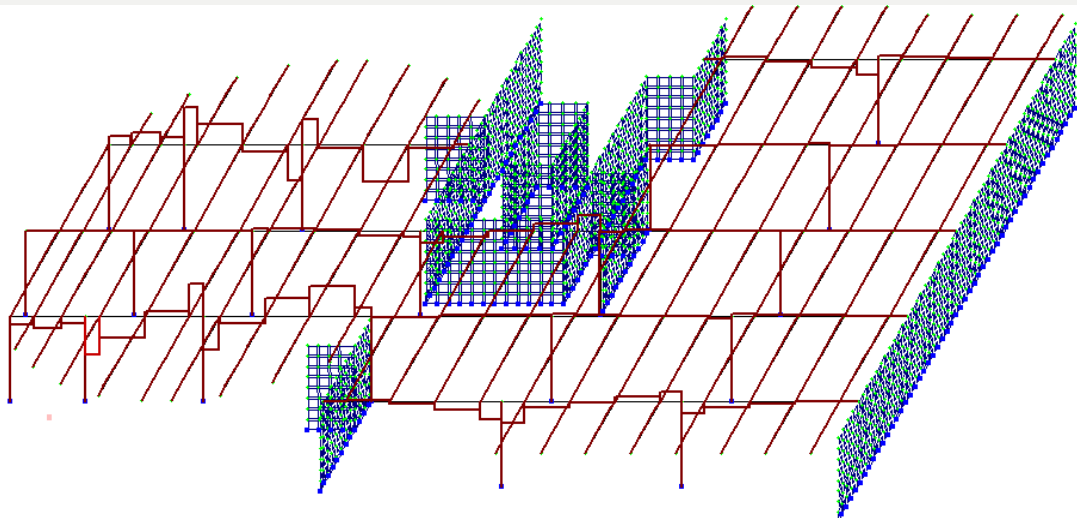


Рис.12 Крутний момент  $M_x$  в балках при пружному розрахунку

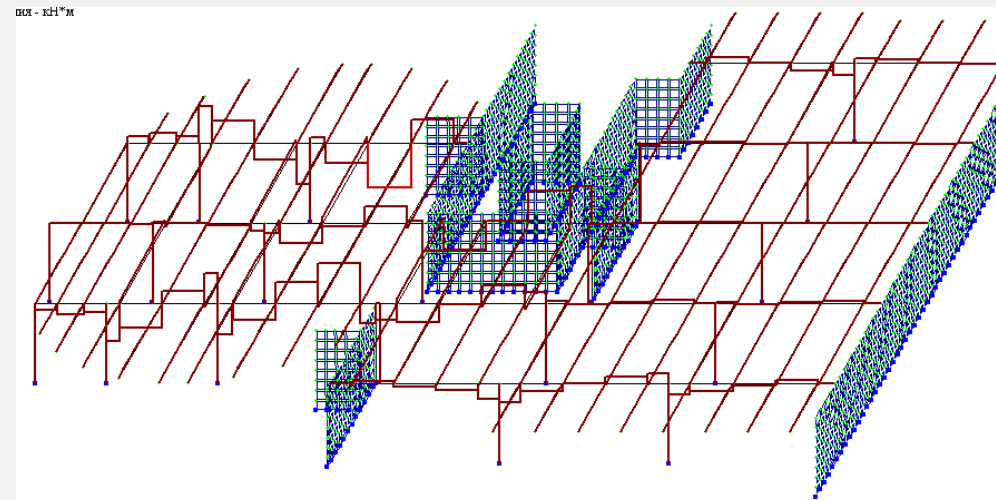


Рис.13 Крутний момент  $M_x$  в балках при розрахунку з урахуванням нормальних тріщин

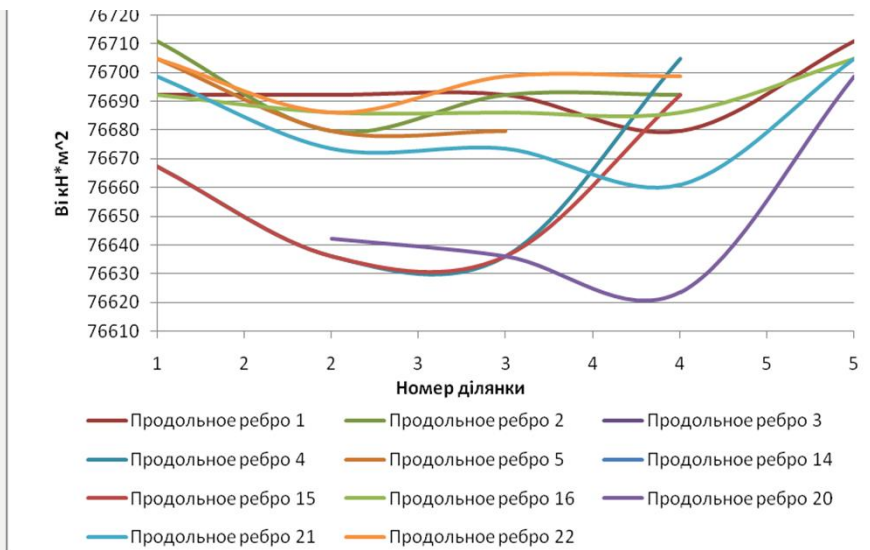


Рис. 14. Розподіл згинальної жорсткості в поздовжніх ребрах, що мають нормальні тріщини

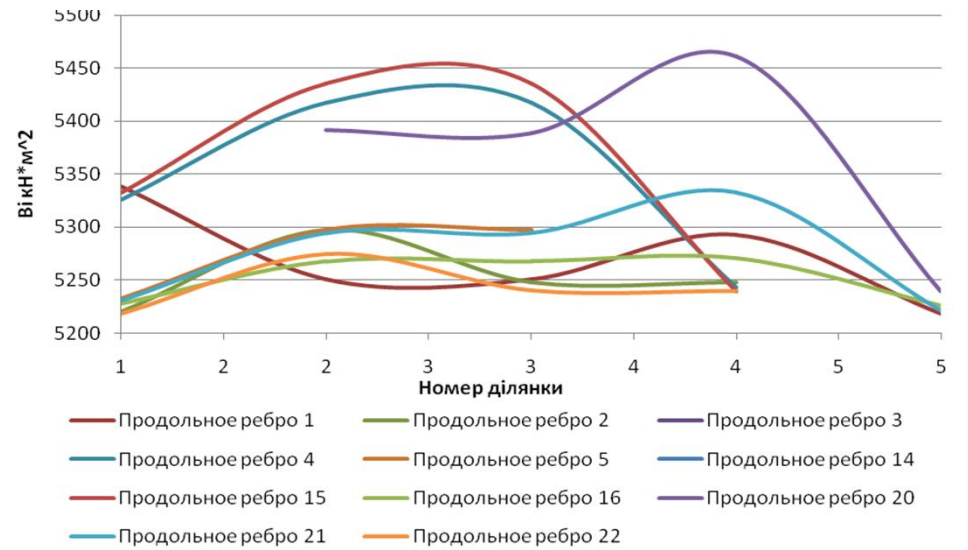


Рис. 15. Розподіл крутильної жорсткості в поздовжніх ребрах, що мають нормальні тріщини



Рис. 16. Схема розташування поздовжніх ребер перекриття (головних балок)

### Значення $K_g$ для ділянок ребра ПР-15

№ ділянки	Максимальний момент згину (кНм)	Висота стиснутої зони (мм)	Відношення початкової жорсткості при крученні до жорсткості з тріщиною $K_g$
1	84,162	62,5	1,3308
2	68,989	66,7	1,3445
3	69,017	66,8	1,2384
4	157,056	57,8	1,7547

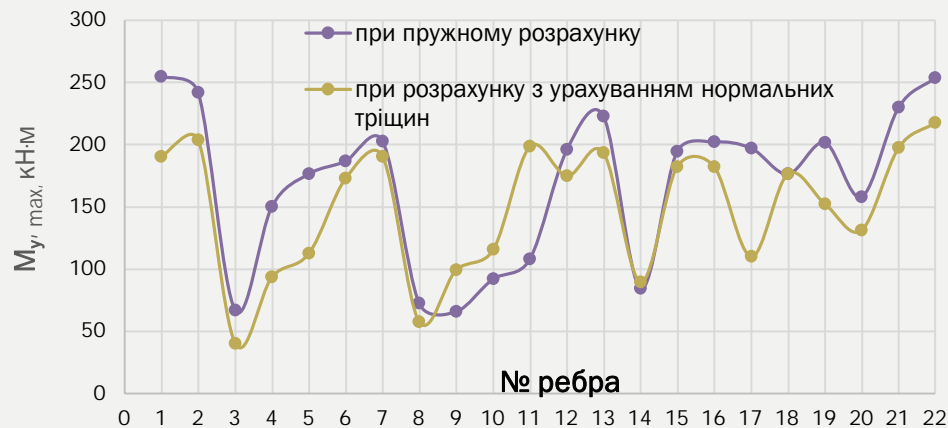
### Максимальні крутні моменти « $M_t$ » для елементів схеми за рис.16



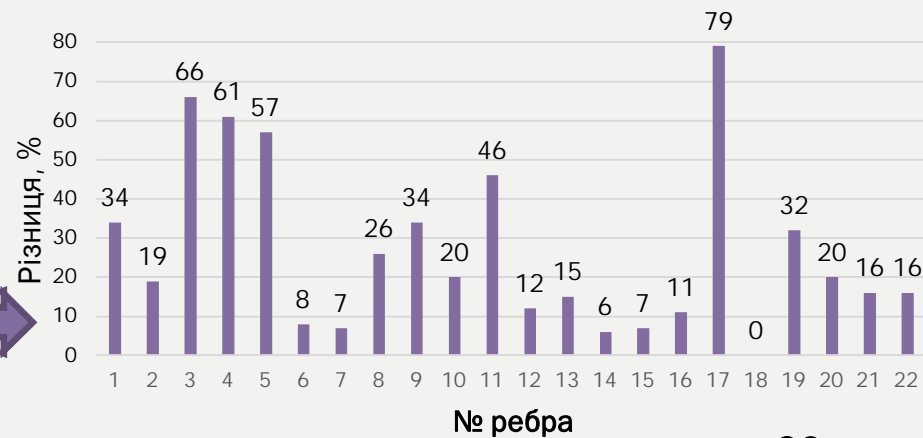
### Різниця (%) між значеннями « $M_t$ » для елементів схеми за рис.16 при пружному розрахунку та розрахунку з урахуванням тріщин



### Максимальні моменти вигину « $M_y$ » для елементів схеми за рис.16



### Різниця (%) між значеннями « $M_y$ » для елементів схеми за рис.16 при пружному розрахунку та розрахунку з урахуванням тріщин



## Максимальні поздовжні «N» для елементів схеми за рис.16



## Різниця (%) між значеннями «N» для елементів схеми за рис.16 при пружному розрахунку та розрахунку з урахуванням тріщин



**Висновок:** крутні моменти « $M_t$ » в поздовжніх ребрах змінилися до 96%, моменти, що згинають « $M_y$ », до 79%, поздовжні сили розтягу «N» до 97%,

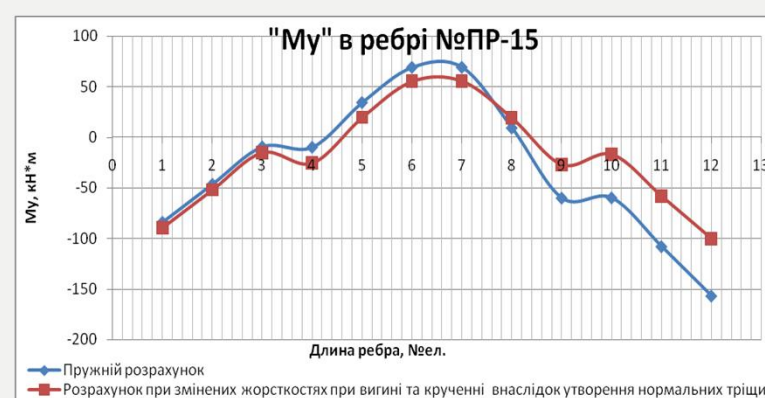
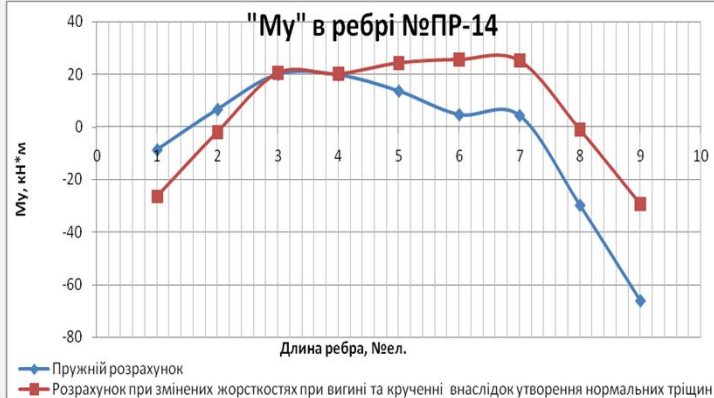
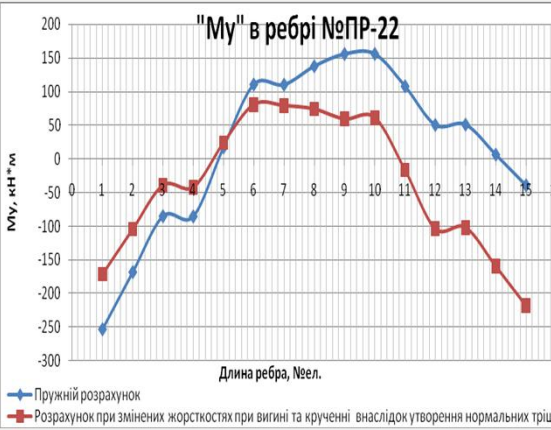
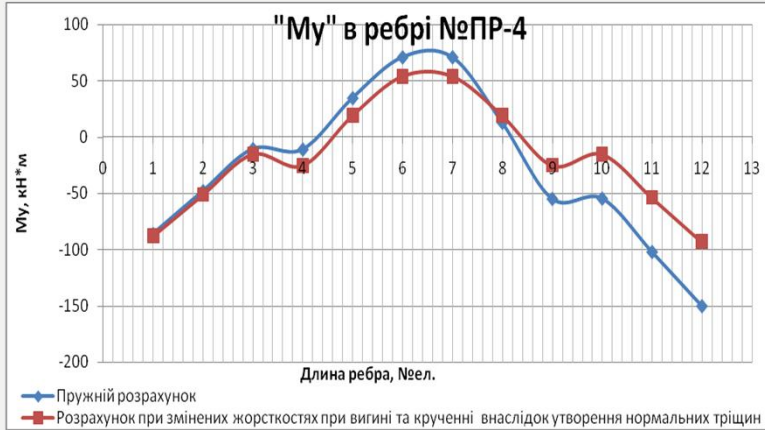
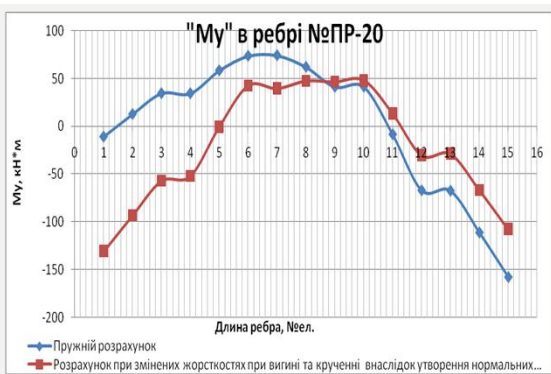
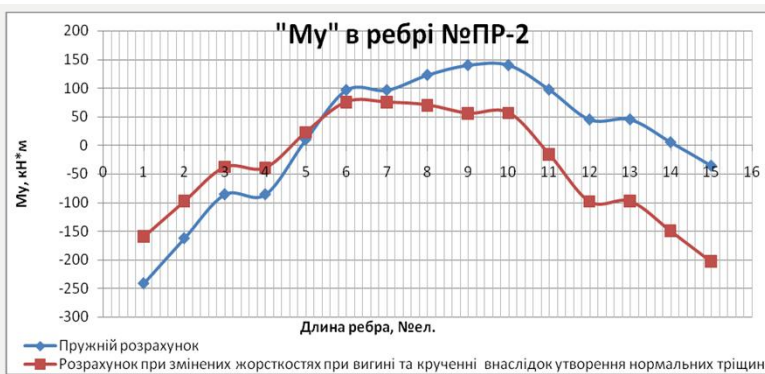
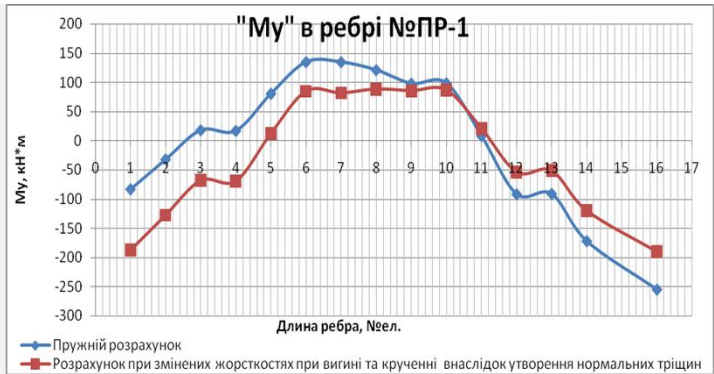


Рис. 17. Епюри згинальних моментів в ребрах перекриття для пружного розрахунку та для розрахунку з урахуванням нормальних тріщин для деяких балочних елементів 22 схеми

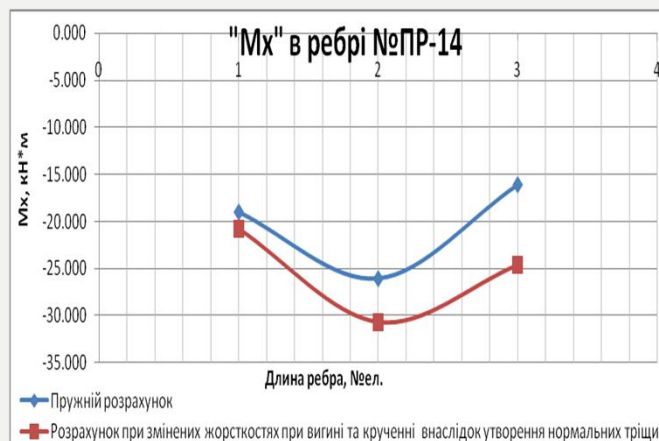
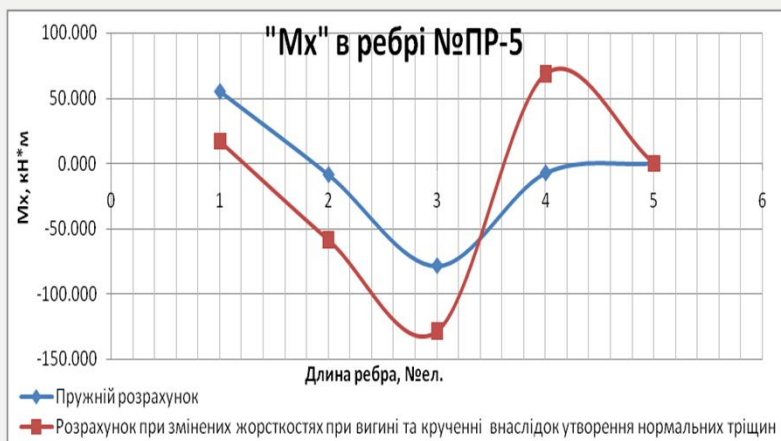
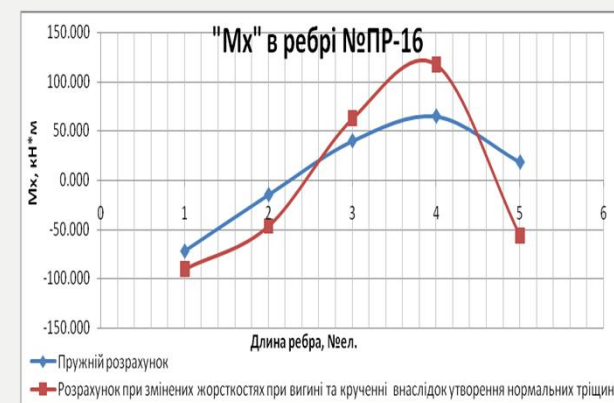
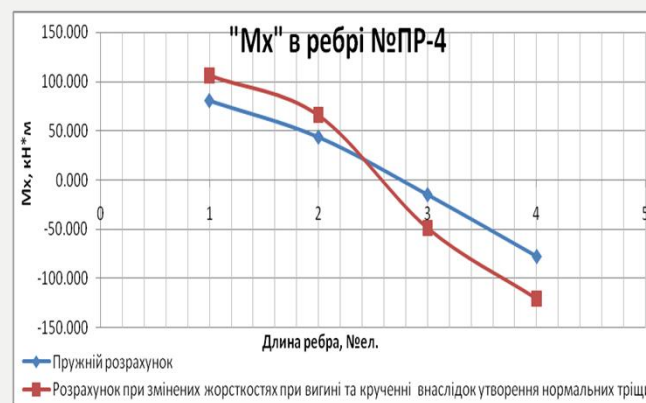
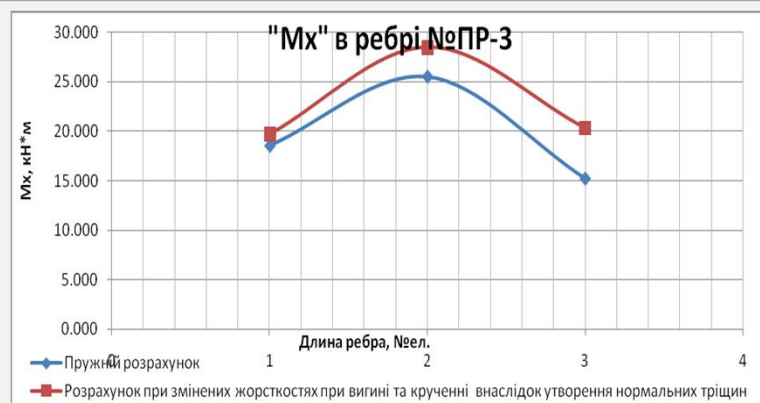
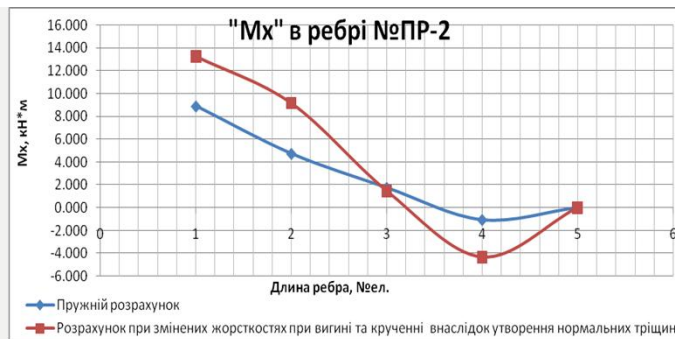
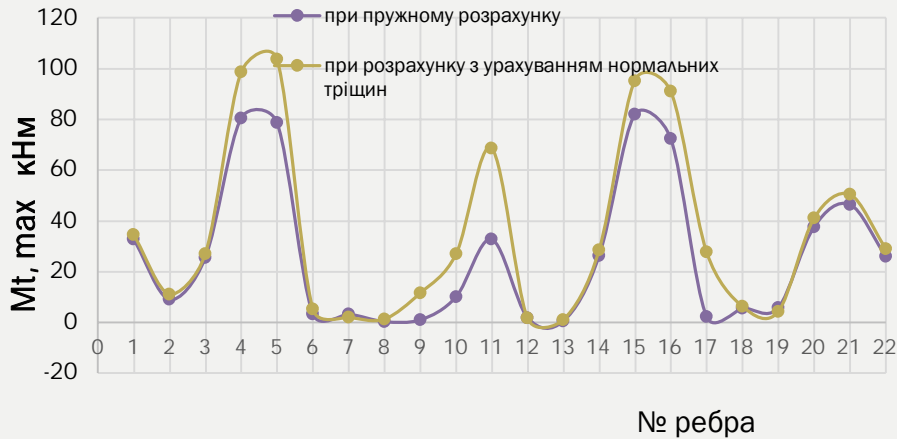


Рис. 18. Епюри крутих моментів в ребрах перекриття для пружного розрахунку та для розрахунку з урахуванням нормальних тріщин для деяких балочних елементів схеми

Тепер змінимо лише крутильну жорсткість в поздовжніх ребрах схеми, а жорсткість при згині залишимо постійною. Результати статичного розрахунку.

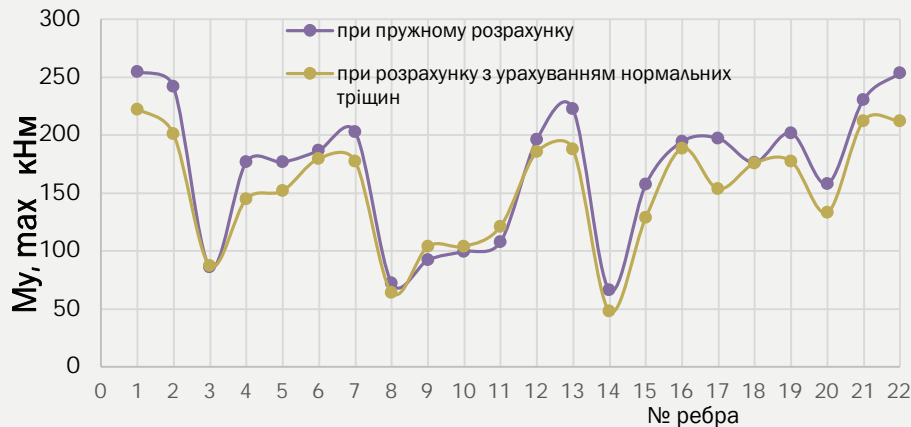
Максимальні крутні моменти « $M_t, \max$ » з урахуванням тільки крутильної жорсткості, змінної внаслідок наявності нормальних тріщин



Різниця (%) між значеннями « $M_t, \max$ » при пружному розрахунку та розрахунку з урахуванням тріщин з урахуванням тільки крутильної жорсткості, змінної внаслідок наявності нормальних тріщин



Максимальні моменти вигину « $M_u, \max$ » з урахуванням тільки крутильної жорсткості, змінної внаслідок наявності нормальних тріщин



Різниця (%) між значеннями « $M_u, \max$ » при пружному розрахунку та розрахунку з урахуванням тріщин з урахуванням тільки крутильної жорсткості, змінної внаслідок наявності нормальних тріщин



# ВИСНОВКИ

1. Ребристе монолітне залізобетонне монолітне перекриття є ефективною конструкцією перекриття зважаючи на раціональний розподіл матеріалу в конструкції. Перекриття виступає в якості диску жорсткості будівлі. Перекриття характеризується спільною роботою з рештою вертикальних та горизонтальних конструктивів будівлі.
2. Елементи залізобетонного перекриття внаслідок його просторової роботи знаходяться в складному напружено-деформованому стані (вгин з крученням).
3. Не лише жорсткості при згині, але й жорсткості при крученні, так і осьові жорсткості, зазнають змін в наслідок виникнення нормальних тріщин, що утворюються саме від вигину.

4. В результаті числово-аналітичних досліджень встановлено, що зміна лише тільки одного параметру - однієї крутильної жорсткості суттєво впливає на перерозподіл внутрішніх сил в статично невизначуваних системах залізобетонних перекриттів, що працюють просторово.
5. Визначено величини відношення початковій жорсткості елемента без тріщин до жорсткості елемента, в якому виникає нормальна тріщина (коефіцієнту ) для залізобетонних елементів прямокутного перерізу. Жорсткості при крученні з нормальними тріщинами відрізняються від жорсткостей, що є пружними, на 23–75 %
6. В результаті виникнення нормальних тріщин в пластичній стадії роботи відбувається зміна жорсткостей перерізу (його ослаблення) й це суттєво впливає на зміну внутрішніх зусиль в ребрах для залізобетонного ребристого перекриття: моменти кручення змінюються до 97%, моменти вигину змінюють значення до 79%, поздовжні сили змінюють значення до 97%.

7. Числовий експеримент показав, що врахування лише одного типу жорсткості-жорсткості при крученні – суттєво впливає на величини внутрішніх зусиль наступним чином: моменти кручення змінюються до 92%, а моменти вигину - до 38%.

8. Отже, показано, що зміна саме жорсткості при крученні перерізів елементів залізобетонних перекриттів в наслідок виникнення нормальних тріщин істотно впливає на перерозподілення зусиль в системах, зусилля в яких не можна визначити із рівнянь статки. Пониження жорсткості при крученні за наявності лише нормальних тріщин раніше не враховувалася. Застосування методики [1] в розрахунках дає можливість враховувати цей фактор.

Таке врахування є важливим зважаючи на потребу в більш точному проектуванні армування залізобетонних ребристих елементів перекриттів.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**