

УДК 692

**РОЗРАХУНОК БАГАТОПРОЛІТНОЇ МОНОЛІТНОЇ
ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ У ФІЗИЧНО
НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ
ПК ЛІРА-САПР**

**CALCULATION OF A MULTI-SPAN MONOLITHIC
REINFORCED CONCRETE FLOOR SLAB IN A PHYSICALLY
NONLINEAR FORMULATION IN THE PC LIRA-SAPR**

**Вінцюк М.В., магістр, Самчук В.П., к.т.н., доц., Кислюк Д.Я.,
к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**M. Vintsyuk, master, V. Samchuk, Ph.D. in Engineering, Associate
Professor, D. Kysluk, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Lutsk
National Technical University, Lutsk)**

Під час розрахунку будівельних конструкцій нормативні документи рекомендують враховувати нелінійні характеристики матеріалів. У публікації досліджено роботу багатопролітної монолітної залізобетонної плити перекриття у фізично нелінійній постановці за допомогою ПК «ЛІРА-САПР».

When calculating building structures normative documents recommend to take into account the nonlinear characteristics of materials. In the publication the research of work of multi-pass monolithic reinforced concrete slab in a physically non-linear setting with the help of PC "LIRA-SAPR" was performed.

The calculation of a monolithic multi-pass reinforced concrete slab was carried out by three methods, which are available in PC "LIRA-CAD", namely: linear calculation, physical-nonlinear calculation and calculation by the method of "engineering nonlinearity". As a result, it can be seen that in nonlinear methods, taking into account the change in stiffness, the stresses in the plate increase. When physically nonlinear calculations, we get an opportunity to analyze the width of the opening, the depth and the nature of the formation of cracks. Application of the method "engineering nonlinearity" allows you to see how the rigidity of the plate varies depending on the selected reinforcement.

Ключові слова: фізична нелінійність, нелінійний розрахунок, плита перекриття, розрахунок будівельних конструкцій.

Keywords: physical nonlinearity, nonlinear calculation, floor slab, calculation of building constructions.

Постановка проблеми. Розрахунок будівельних конструкцій повинен якомога достовірніше враховувати умови роботи об'єкта та його напружено-деформований стан. У задачах, які розв'язуються в лінійній постановці, приймається лінійна залежність між силами, що діють на конструкцію, і переміщеннями її вузлів, а в основі фізичних рівнянь, як правило, лежить узагальнений закон Гука. Для певного класу задач таке припущення не відповідає дійсності. Наприклад, бетон характеризується нелінійною залежністю між напруженнями та деформаціями, навіть при невеликих навантаженнях. Така нелінійність називається фізичною.

Врахування нелінійної роботи конструкцій дозволяє виявляти додаткові резерви несучої здатності, знижувати їх матеріаломісткість, моделювати процеси життєвого циклу конструкцій – процес навантаження, процес зведення, процес зміни НДС у часі, а також розраховувати стійкість до прогресуючого обвалення.

У зв'язку з цим, актуальними є дослідження роботи монолітних залізобетонних конструкцій, зокрема плит перекриття, у фізично нелінійній постановці за допомогою сучасних розрахункових комплексів з метою порівняння й аналізу результатів лінійного та нелінійного розрахунків.

Аналіз останніх досліджень. Для розрахунку та конструювання будівельних конструкцій широко використовуються програмні комплекси, серед яких особливої уваги заслуговують ПК «ЛІРА-САПР» і «SCAD».

Опису їх функціональних можливостей присвячено чимало робіт, зокрема [1], [2] та [3], проте актуальними залишаються питання, пов'язані з оглядом та аналізом методів нелінійного розрахунку, які дозволяють проводити уточнене проектування будівельних конструкцій, яке, у свою чергу, підвищить надійність будівельних конструкцій і знизить їх вартість.

Мета дослідження: виконати розрахунок монолітної багатопролітної залізобетонної плити перекриття у лінійній постановці, з урахуванням фізичної нелінійності, а також з

використанням вбудованої у ПК ЛІРА-САПР функції «інженерна нелінійність» та проаналізувати отримані результати.

Вклад основного матеріалу. Конструктивні характеристики плити (рис. 1) та вхідні дані:

- клас бетону С16/20, $f_{cd} = 11,5 \text{ МПа}$;
- висота перерізу плити $h = 0,07 \text{ м}$;
- клас арматури А400С, $f_{yd} = 365 \text{ МПа}$.

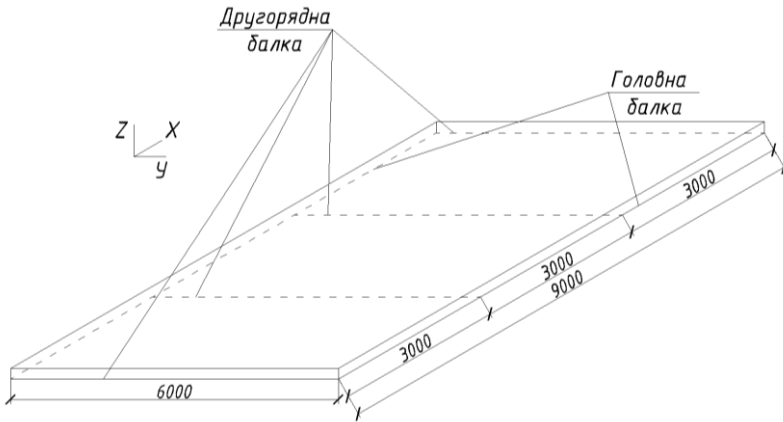


Рис. 1. Схема монолітної плити

За допомогою лінійного розрахунку були визначені вертикальні переміщення вузлів плити, зусилля, а також підбране армування.

Лінійний розрахунок плити та підбір арматури проводився відповідно до ДБН В.2.6-98:2009.

Результати лінійного розрахунку представлені на рис. 2 – 4. Фізична нелінійність зумовлена урахуванням нелінійної залежності між компонентами узагальнених напружень і деформацій та характеризує роботу матеріалу конструкції у пружнопластичному стані.

У ПК ЛІРА-САПР для вирішення фізично нелінійних задач використовується нелінійний процесор і кроковий або кроково-ітераційний метод.

У фізично нелінійних задачах відсутня лінійна залежність між напруженнями та деформаціями. Матеріал конструкції підпорядковується нелінійному закону деформування (нелінійна пружність). Закон деформування може бути симетричним і несиметричним – з різними межами опору розтягу та стиску. Задачі з такими умовами вирішуються кроковим методом.



Рис. 2. Переміщення плити по осі Oz, мм

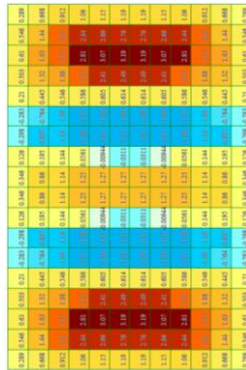


Рис. 3. Мозаїка напружень по Mx, мм

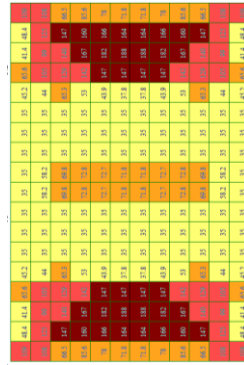


Рис. 4. Нижнє армування плити по осі X, мм²

При вирішенні задач, у яких моделюється пружно-пластична робота матеріалу, що описується діаграмою Прандтля, застосовується кроково-ітераційний метод.

Нелінійний процесор реалізує кілька методів для вирішення нелінійних задач різних типів:

- кроковий метод;
- метод січних;
- ітераційний метод,

та пропонує декілька законів нелінійного деформування матеріалів:

- трилінійний закон деформування;
- кусочно-лінійна залежність σ - ϵ ;
- експоненціальна залежність;
- закон деформування Генієва;

- експоненціальна залежність для залізобетону з нормативної міцністю;
- експоненціальна залежність для залізобетону з розрахунковою міцністю.

Для проведення розрахунку з врахуванням фізичної нелінійності матеріалів у нашому випадку був обраний кроковий метод та експоненціальна залежність між напруженнями та деформаціями. Армування плити приймалося визначене за лінійним розрахунком (рис. 5 – 7). Також були задані закони деформування матеріалів (рис. 8, 9) і згенеровано нелінійну форму навантажень.

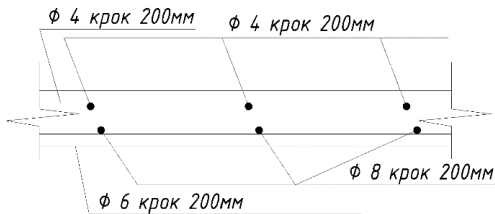


Рис. 5. Армування плити в площині уОz в крайніх прольотах

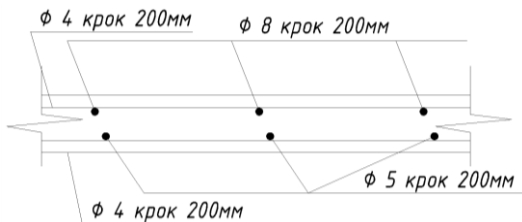


Рис. 6. Армування плити в площині уОz в середньому прольоті

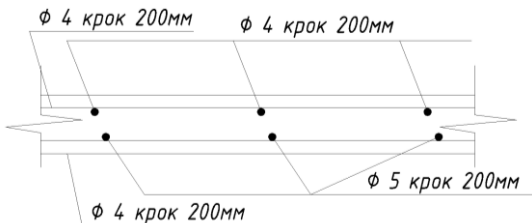


Рис. 7. Армування плити в площині уОz над опорами

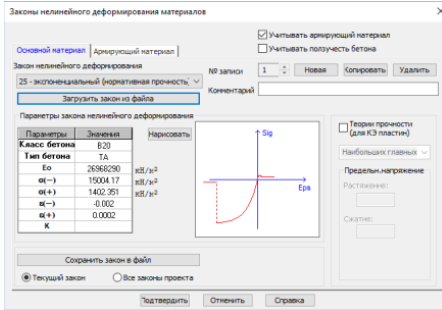


Рис. 8. Закони деформування бетону

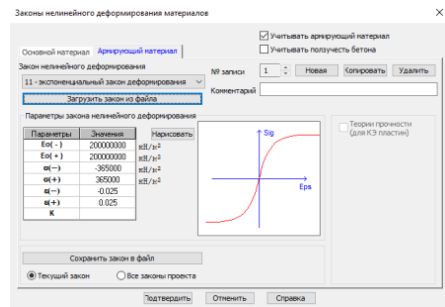


Рис. 9. Закони деформування арматури

Результати розрахунку з урахуванням фізичної нелінійності представлені на рис. 10 – 14.



Рис. 10. Переміщення вузлів по Oz, мм

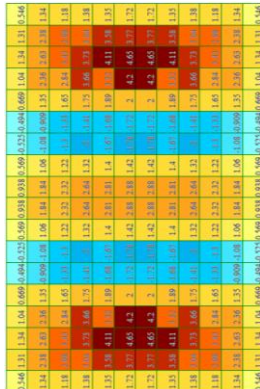


Рис. 11. Мозаїка напружень по Mx, мм

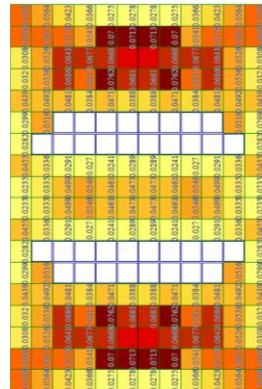


Рис. 12. Ширина розкриття тріщин в нижній зоні, мм

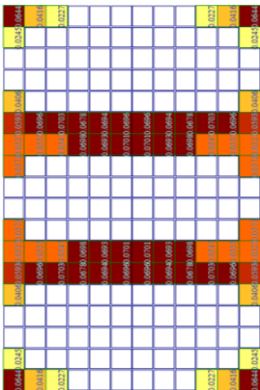


Рис. 13. Ширина розкриття тріщин у верхній зоні, мм

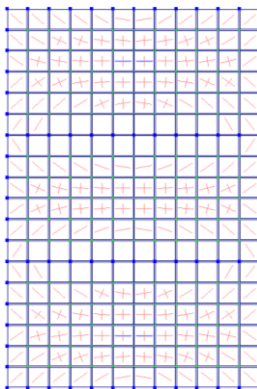


Рис. 14. Напрямок тріщин в нижній зоні

Розрахунок за допомогою функції «Інженерна нелінійність» полягає в наступному:

1. Задається «визначальне навантаження», яке, на думку інженера, в основному визначає напружено-деформований стан конструкції (розвиток тріщин, пластичні деформації бетону й арматури) протягом життєвого циклу конструкції.

2. Проводиться розрахунок на «визначальне навантаження» у фізично нелінійній постановці з одночасним підбором арматури. Розрахунок виконується ітераційним методом.

3. У результаті ітераційного розрахунку на основі НДС кожного перерізу скінченного елемента пластинчастої конструкції визначаються жорсткісні характеристики.

Результати розрахунку за методом «інженерна нелінійність» представлені на рис.15 – 18.



Рис. 15. Переміщення плити по вертикалі, мм

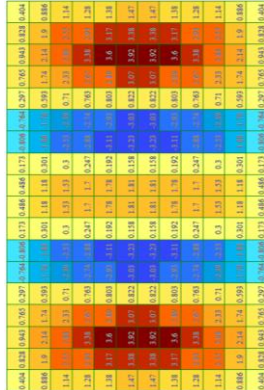


Рис. 16. Мозаїка напружень по M_x , мм

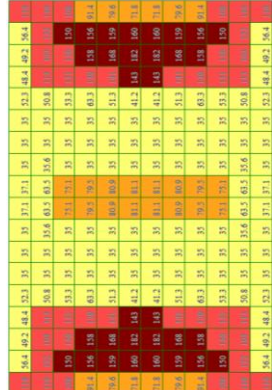


Рис. 17. Підібране нижнє армування плити по осі X, мм²

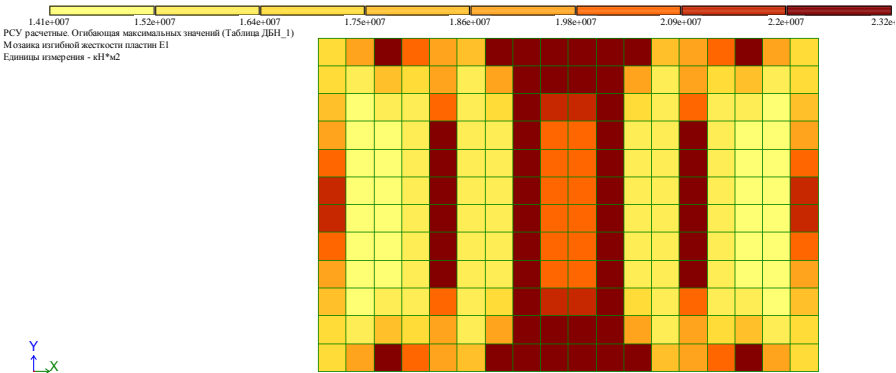


Рис. 18. Розподіл та зміна жорсткостей плити, кН*м².

У таблиці наведено основні параметри напружено-деформованого стану конструкції: момент у крайньому прольоті по осі X ($M_{x, \text{кпроліт}}$), момент над опорами по осі X ($M_{x, \text{опора}}$), момент у середньому прольоті по осі X ($M_{x, \text{спроліт}}$), прогин у крайніх прольотах (f) та підібране нижнє армування уздовж осі X.

Таблиця 2

Результати розрахунку плити

Параметри НДС	Лінійний розрахунок	Фізична нелінійність	Інженерна нелінійність
$M_{x_{к.проліт}}$ (кНм)	3,19	4,65	3,92
$M_{x_{с.проліт}}$ (кНм)	1,27	2,88	1,81
$M_{x_{опора}}$ (кНм)	-1,51	-2,00	-3,23
f (мм)	-2,97	-59,40	-2,76
$A_{sx, max}$ (мм ²)	188	Задане користувачем	182

Висновки. У роботі було проведено розрахунок монолітної багатопролітної залізобетонної плити перекриття трьома методами, доступними в ПК «ЛПРА-САПР», а саме: методом лінійного розрахунку, фізично-нелінійного розрахунку та розрахунку за методом «інженерна нелінійність». Результати показують, що у нелінійних методах з урахуванням зміни жорсткості збільшуються напруження в плиті. При фізично-нелінійному розрахунку було отримано можливість проаналізувати ширину розкриття, глибину та характер утворення тріщин. Застосування методу «інженерна нелінійність» дозволяє побачити, як змінюється жорсткість плити залежно від підбраного армування.

1. Городецкий А.С. Вопросы расчета конструкций в упругопластической стадии с учетом применения ЭЦВМ // ЭЦВМ в строительной механике. Труды первого всесоюзного совещания по применению ЭЦВМ в строительной механике (г. Ленинград, 1963г.) – Л.- М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – С. 52-57.

2. Городецкий А.С. К расчету тонкостенных железобетонных конструкций в неупругой стадии // Сборник трудов НИИСК «Строительные конструкции». К.: Будівельник, 1965.- №3. – С.21-27.

3. Перельмутер А.В., Сливкер В.І. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа.- М.: ДМК Прес, 2007. - 600 с., Іл.