

УДК 004.4 (07)

**УРАХУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОСТІ ПРИ РОЗРАХУНКУ
БАЛКИ МОНОЛІТНОГО РЕБРИСТОГО ПЕРЕКРИТТЯ**

**УЧЕТ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ В РАСЧЕТЕ БАЛКИ
МОНОЛИТНОГО РЕБРИСТОГО ПЕРЕКРЫТИЯ**

**THE CALCULATION OF THE MONOLITHIC RIBBED CEILING BEAM
TAKING INTO ACCOUNT PHYSICAL NON-LINEARITY**

**Ротко С.В., к.т.н., доцент, Ужегова О.А., к.т.н., доцент,
Задорожнікова І.В., к.т.н., доцент, Дудченко В.В.** (Луцький національний
технічний університет, м. Луцьк)

**Ротко С.В., к.т.н., доцент, Ужегова О.А., к.т.н., доцент,
Задорожникова І.В., к.т.н., доцент, Дудченко В.В.** (Луцкий национальный
технический университет, г. Луцк)

**Rotko S.V., candidate of technical sciences, Uzhegova O.A., candidate of
technical sciences, Zadorozhnikova I.V., candidate of technical sciences,
Dudchenko V.V.** (Lutsk National Technical University, Lutsk)

**Досліджується вплив нелінійних властивостей бетону та арматури на
напружено-деформований стан другорядної балки монолітного
перекриття при розрахунку в ПК ЛІРА.**

**Исследуется влияние нелинейных свойств бетона и арматуры на
напряженно-деформируемое состояние второстепенной балки
монолитного перекрытия при расчете в ПК ЛІРА.**

**The influence of nonlinear properties of concrete and armature is researched
on the stress-strain state of secondary beam of the monolithic ceiling at a
calculation in the program complex LIRA.**

Ключові слова:

Нелінійний розрахунок, деформації, напруження, кроковий метод.
Нелинейный расчет, деформации, напряжения, шаговый метод.

Nonlinear calculation, deformations, tensions, foot-pace method.

Стан питання і задачі дослідження. Розрахунок залізобетонних конструкцій для інженерів-проектувальників на сьогодні залишається надзвичайно актуальним із точки зору урахування нелінійних властивостей матеріалів. Характерною особливістю таких досліджень є бажання прослідкувати поведінку конструкції на всьому етапі навантаження, починаючи від невеликих навантажень, коли роботу матеріалу можна вважати іще лінійною, включаючи стадію експлуатації, коли вплив нелінійних деформацій уже істотний, і закінчуючи стадією, що передуює руйнуванню.

Основним завданням дослідження було дослідити монолітну залізобетонну плиту перекриття у фізично нелінійній постановці за допомогою ПК ЛПА та виконати аналіз отриманих результатів при лінійному і нелінійному розрахунках.

Основна частина. У процесі навантаження у залізобетонних конструкціях спостерігається розвиток нелінійних деформацій, які суттєво впливають на характер розподілу зусиль в елементах конструкції. Спершу в розтягнутих зонах розвиваються нелінійні деформації та утворюються тріщини, потім нелінійні деформації розвиваються у розтягнутій арматурі, у стиснутих зонах бетону, а перед руйнуванням – і у стиснутій арматурі. Адже бетон має реологічні властивості, що призводить до зміни напружено-деформованого стану у часі [1].

Моделювання процесу нелінійного деформування для нелінійних задач здійснюється кроковим методом за параметрами навантаження і часу. Вибір величини кроку за часом і за навантаженням здійснюється, виходячи з необхідності дотримання умов збіжності, як ітераційного процесу розв'язання систем нелінійних рівнянь, так і отримуваних результатів. При цьому значення за часом і за навантаженням суттєво залежать від механічних характеристик матеріалу (параметрів кривих пружнопластичного деформування і повзучості) та характеру зміни зовнішнього навантаження. Правильний вибір кроку за часом і навантаженням суттєво впливає на точність отримуваних результатів, тому проведення відповідних досліджень збіжності є важливим етапом розв'язання задачі [2].

Розрахунок другорядної балки монолітного ребристого перекриття виконували у лінійній і нелінійній постановках. Конструктивні характеристики балки приймали такими:

✓ переріз – тавровий: $h=500\text{мм}$, $b=250\text{мм}$, $b_f=2000\text{мм}$, $h_f=70\text{мм}$;

- ✓ довжина другорядної балки – 18 м;
- ✓ крок головних балок – 6 м;
- ✓ арматура класу А400: $R_s = R_{sc} = 365$ МПа, $R_{s,ser} = 390$ МПа, $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа;
- ✓ клас бетону В20: $R_b = 11,5$ МПа, $R_{bt} = 0,9$ МПа, $R_{b,ser} = 15$ МПа, $R_{bt,ser} = 1,4$ МПа, $E_b = 2,7 \cdot 10^4$ МПа.

Навантаження на другорядну балку збирали з її вантажної площі, ширина якої дорівнювала кроку другорядних балок. Розрахункове навантаження склало 25,47 кН/м (розглядалося лише одне завантаження, куди ввійшло постійне навантаження від конструкції перекриття і квазіпостійне – від обладнання). Під час лінійного розрахунку були отримані зусилля в елементах балки (рис.1), які у подальшому порівнювали із відповідними зусиллями, отриманими із нелінійного розрахунку (див. табл.1).

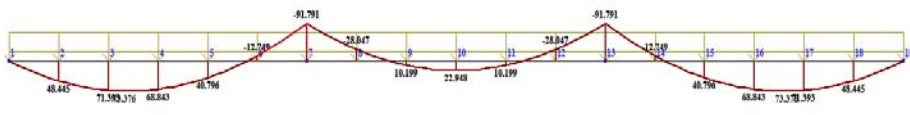


Рис. 1. Епюри згинальних моментів при лінійному розрахунку балки

При генеруванні розрахункової схеми для лінійно-пружного розрахунку задавали однакові жорсткісні характеристики для усіх скінченних елементів балки. Для нелінійного розрахунку жорсткісні характеристики були різними – відповідно до армування, отриманого із лінійного розрахунку у програмі ЛІР-АРМ (див. рис. 2-4).

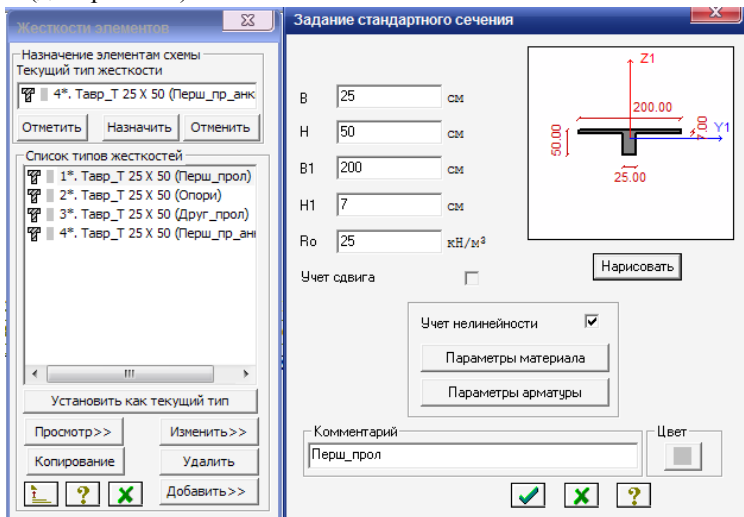


Рис. 2. Діалогові вікна для призначення жорсткісних характеристик

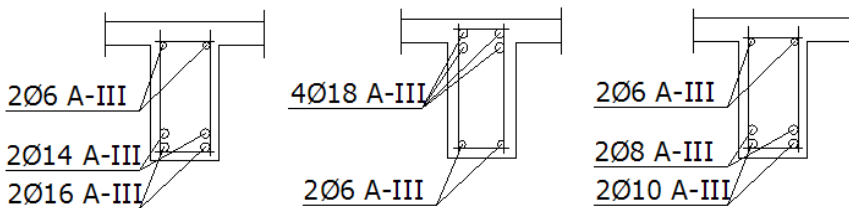


Рис. 3. Армування балки у першому прольоті, над опорами та у середньому прольоті за результатами лінійного розрахунку та конструювання у програмі ЛІР-АРМ

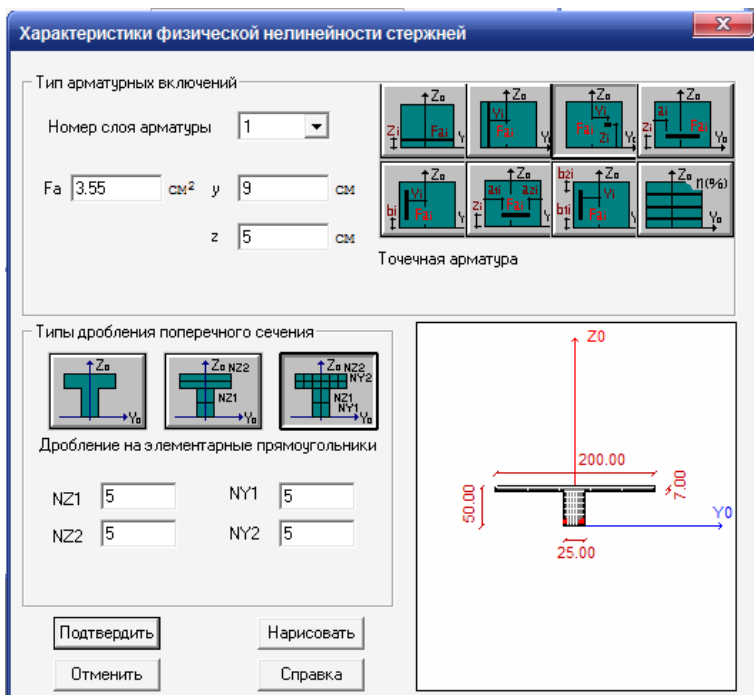


Рис. 4. Діалогове вікно для задання характеристик фізичної нелінійності стержнів

Для урахування фізичної нелінійності матеріалів задавали закони нелінійного деформування для бетону (основний матеріал – рис. 5) та арматури (армуючий матеріал – рис. 6).

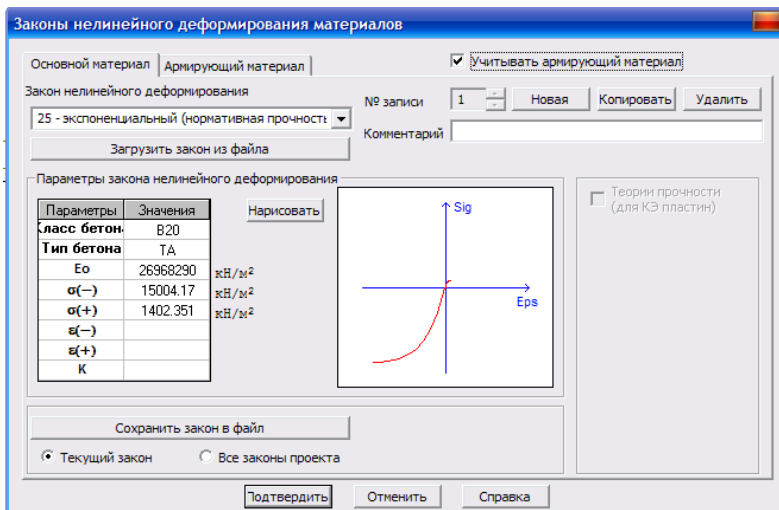


Рис. 5. Залежність між напруженнями та деформаціями для бетону

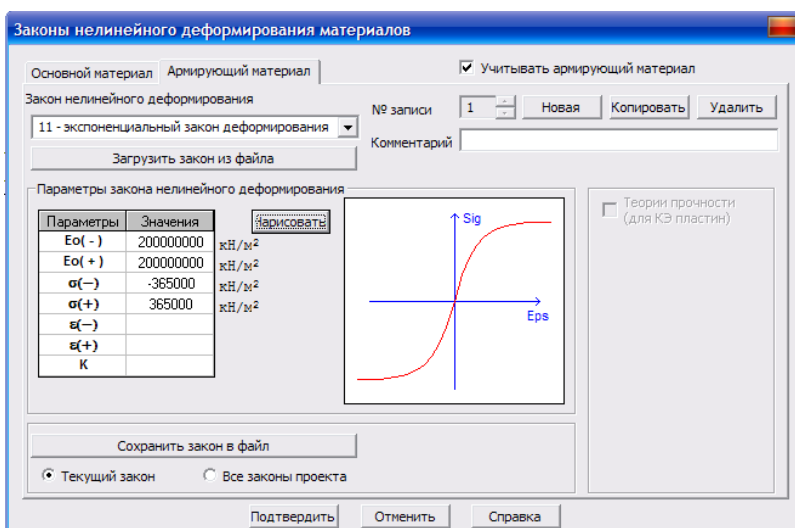


Рис. 6. Залежність між напруженнями та деформаціями для арматури

Для нелінійного розрахунку кроковим методом моделювали процес поступового збільшення навантаження (рис. 7), починаючи від нульового і наближаючись до навантаження, що передувє руйнуванню, задавали кількість кроків навантаження (у нашому випадку їх 15) і значення коефіцієнтів до

навантажень по кроках. Для розрахунку використовували простий кроковий метод [3]. У цьому випадку на кожному кроці розв'язується лінеаризована задача, і у припущенні, що цей розв'язок є досить точним, реалізується перехід до наступного кроку навантаження. Практично, ця процедура відповідає найпростішому способу розв'язування системи диференціальних рівнянь.

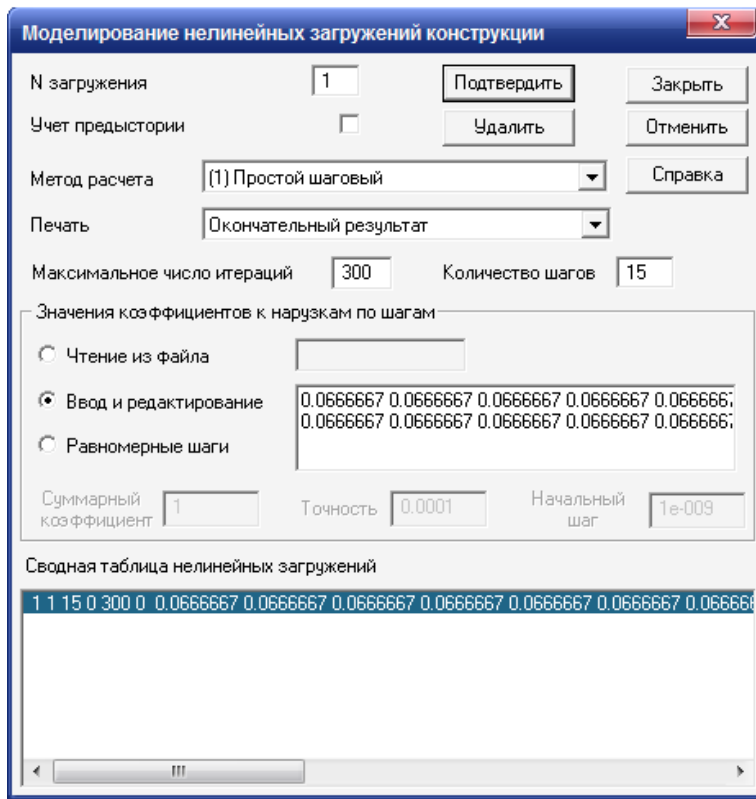


Рис. 7. Моделювання нелінійного завантаження конструкції

У процесі нелінійного розрахунку відслідковували зміни напружено-деформованого стану балки, що відбувалися на кожному наступному кроці завантаження.

У табл. 1 наведено основні параметри напружено-деформованого стану конструкції: момент першого (M_{1np}) прольоту, момент над опорами (M_{on}), момент середнього прольоту (M_{2np}) і прогин у крайніх прольотах (f).

Таблиця 1

Результати лінійного та нелінійного розрахунків балки

Параметри НДС	Лінійний розрахунок, q=25,47кН/м	Нелінійний розрахунок при		
		q=22,64 кН/м	q=25,47 кН/м	q=28,3 кН/м
M_{1np} (кНм)	71,39	65,7	73,8	81,9
M_{on} (кНм)	-91,79	-79,9	-90,2	-100,7
M_{2np} (кНм)	22,95	24,0	26,7	29,2
f (мм)	3,75	6,92	7,46	24,5

Висновки. При навантаженні $q=25,47$ кН/м, близькому до експлуатаційного, параметри НДС балки при лінійно-пружному розрахунку (графа 2, рис. 1 – еюра моментів) відрізняються від параметрів, отриманих при нелінійному розрахунку при тому ж навантаженні (графа 4). Аналіз отриманих результатів показав, що у результаті перерозподілу зусиль:

- ✓ згинальний момент першого прольоту збільшився на 3,3%;
- ✓ згинальний момент на опорах зменшився на 1,7%;
- ✓ згинальний момент другого прольоту збільшився на 14%.

Тобто, відбулось вирівнювання прольотних і опорних моментів, прогин зріс у два рази. На чотирнадцятому кроці, при навантаженні близько 40 кН/м, у перерізах балки на крайніх прольотах утворюються пластичні шарніри, переміщення збільшуються у декілька разів, що може свідчити про руйнування конструкції. У результаті виконаного дослідження було зроблено висновок, наскільки неповною є інформація, отримана на основі лінійно-пружного розрахунку, у порівнянні з інформацією, отриманою на основі комп'ютерного моделювання процесу завантаження конструкції у фізично-нелінійній постановці. Такий розрахунок дозволяє більш детально дослідити напружено - деформований стан конструкцій будівель і споруд та сприяє економічнішому проектуванню їхніх елементів.

1. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Госстройиздат, 1962. 2. С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарев. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. – К.-Х.: НТУ «ХПИ», 2003. 3. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И., Барабаш М.С., Гензерский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций. Курсовое проектирование. – К.: Кн. Изд-во Национального авиационного университета, 2006. 4. Дорофеев В.С., Ковров А.В., Ковтуненко А.В., Кушнир А.М. Определение напряженно - деформированого состояния железобетонных конструкций с учетом процессов трещинообразования. – Одесская государственная академия строительства и архитектуры, 2010.