

І. Добрянський

Доцент, канд. техн. наук,
Львівський національний
аграрний університет,
м. Дубляни

УДК 539.3

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДІЇ ЗАГАЛЬНОГО І ЛОКАЛІЗОВАНОГО ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ

Здійснено скінченноелементний аналіз і оцінку впливу іонізуючого випромінювання на напружено-деформований стан балочної бетонної конструкції. Вибрана фізична модель враховує вплив випромінювання на модуль пружності бетону. Досліджено вплив локалізованого радіаційного опромінення на напружено-деформований стан балочної конструкції в залежності від місця локалізації та дози опромінення.

бетонна балка, іонізуюче випромінювання, напруження, переміщення, метод скінченних елементів

Високоінтенсивне іонізуюче випромінювання є додатковим у порівнянні з силовим навантаженням і нагрівом чинником, який впливає на міцність, надійність та довговічність будівельних конструкцій. Його вплив має бути врахований при проектуванні та експлуатації об'єктів, що зазнають впливу радіаційного опромінення. Такі впливи також мають бути враховані у відповідних розрахункових методиках та нормативних документах.

Розроблення нових нормативних актів та методик набуває особливої актуальності у наші дні, коли ставиться задача визначення і продовження термінів використання енергетичного обладнання і споруд атомних електростанцій, паспортний термін експлуатації яких вичерпано. Їх міцнісний розрахунок здійснювався на основі існуючих на момент виготовлення розрахункових методик та емпіричних даних для неопромінених матеріалів. Можливі впливи радіації враховувались шляхом введення відповідних коефіцієнтів запасу міцності. За десятки років накопичено значний обсяг експериментальних даних про вплив опромінення на механічні властивості конструкційних матеріалів, зокрема бетонів [1 – 3]. На цій основі можна зробити перерахунок напружено-деформованого

стану деяких інженерних конструкцій, кількісно оцінити реальні запаси міцності, які вони мають на момент здійснення розрахунків. Відповідні обчислення слід вести для об'єктів з реальною геометричною формою при мінімумі спрощуючих гіпотез. Такі дані можна отримати з використанням сучасних методів чисельного моделювання, які також у порівнянні з їх станом на момент створення і встановлення відповідного обладнання значно просунулись у своєму розвитку. Нові методики розрахунку разом з уточненими фізичними моделями будуть тим базисом на основі якого можна оцінити міцнісні параметри конструкцій, дослідити вплив на них реальних наслідків експлуатаційного впливу і запропонувати нові чи уточнені науково обґрунтовані схеми і методики розрахунку й оцінювання міцності.

Постановка задачі. Розглянемо балкову конструкцію (рівномірно навантажену довгу балку висотою H і шириною B на опорах шириною $2a$, віддалі між якими – L). Дослідимо її напружено-деформований стан за дії загального і локалізованого опромінення. Використаємо для цього метод скінченних елементів [4, 5]. З умов симетрії розглянемо частину конструкції: $0 \leq x \leq L$;

$$-H/2 \leq y \leq H/2; -B/2 \leq z \leq B/2.$$

Обчислення виконаємо в межах рівнянь тривимірної і плоскої термопружно-пластичності з використанням ізопараметричних біквадратичних скінченних елементів [4, 5].

Переміщення \mathbf{u} балки, яка займає область V визначимо з умови мінімуму функціоналу Лагранжа, який у розглянутому випадку набуває вигляду

$$\Pi(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} \int_V \mathbf{u}^T [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] \mathbf{u} dv - \int_{S_\sigma} \mathbf{u}^T \mathbf{p} ds,$$

де

$$[\mathbf{D}] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{B}] = \begin{bmatrix} \nabla_1 & 0 & 0 \\ 0 & \nabla_2 & 0 \\ 0 & 0 & \nabla_3 \\ \nabla_2 & \nabla_1 & 0 \\ \nabla_3 & 0 & \nabla_1 \\ 0 & \nabla_3 & \nabla_2 \end{bmatrix}$$

у випадку просторової тривимірної задачі;

$$[\mathbf{D}] = \frac{E}{(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix},$$

$$[\mathbf{B}]^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

для задачі про плоский напружений стан і

$$[\mathbf{D}] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix}$$

– у випадку плоскої деформації.

Запишемо граничні умови для плоскої задачі:

$$u_x(0, y) = 0, u_x(L, y) = 0; \quad (1)$$

$$u_y(x, -H/2) = 0 \quad \forall x \in [0, a] \cup [L-a, L], \quad (2)$$

$$\sigma_{yy}(x, H/2) = -p(x), \quad \sigma_{yy}(x, -H/2) = 0, \\ \forall x \in [0, L]. \quad (3)$$

Умови (1) є умовами симетрії, (2) – це умови у місцях контакту балки з опорами, перша умова (3) – це умова поверхневого навантаження балки, тоді як друга – умова вільної нижньої поверхні.

Результати та їх аналіз. Для числових розрахунків прийемо такі вихідні дані: $L = 2,1$ м; $H = 0,2$ м; $a = 0,1$ м; $E = 2,1 \cdot 10^4$ МПа; $\nu = 0,25$; $p = 1$ кПа.

Розподіли прогину (переміщень u_y точок нижньої поверхні) та осевих напружень на верхній навантаженій (суцільна лінія) та нижній вільній (штрихова лінія) поверхнях балки залежно від координати x/L подано у вигляді графіків на рис. 1 та рис. 2 відповідно. Ці результати відповідають моменту виготовлення конструкції.

Припустимо, що конструкція працювала за умов опромінення, і доза опромінення становила $6,5 \cdot 10^{20}$ рад. Як наведено в [6], модуль пружності за впливу радіаційного опромінення зменшується до 75% від вихідного значення. У зв'язку з цим розглянуто випадки, коли $E = 1,57 \cdot 10^4$ МПа для всієї балки та для її частин (за припущення, що балка локально піддавалась радіаційному опроміненню).

На рис. 3 суцільною лінією подано переміщення u_y точок нижньої поверхні за випадку, коли матеріал всієї балки деградував під дією радіаційного опромінення. На цьому ж рисунку штриховою лінією показано переміщення для балки у вихідному стані. Бачимо істотну (до 33%) різницю між ними. Розподіли переміщень при всіх

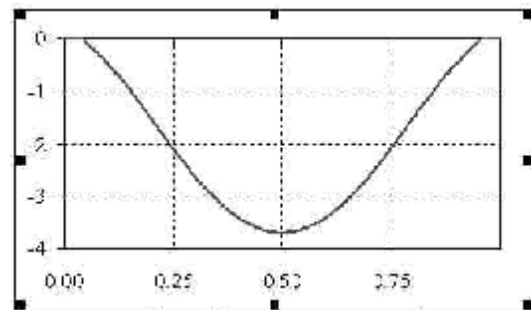


Рис 1. Прогин балки без врахування опромінення

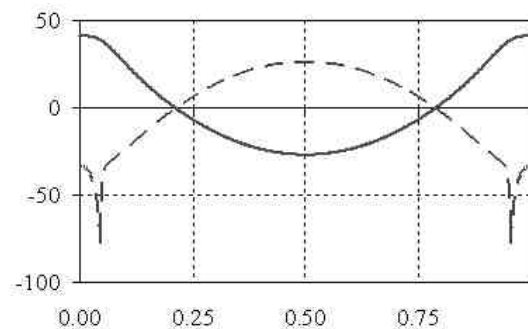


Рис. 2. Напруження на верхній (суцільна лінія) та нижній (штрихова лінія) поверхнях балки без врахування опромінення

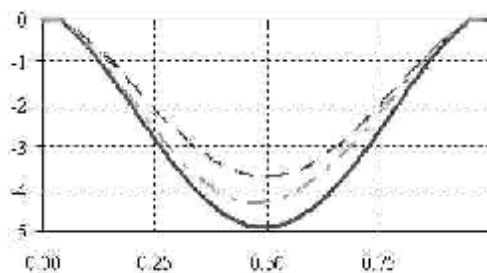


Рис. 3. Прогин балки

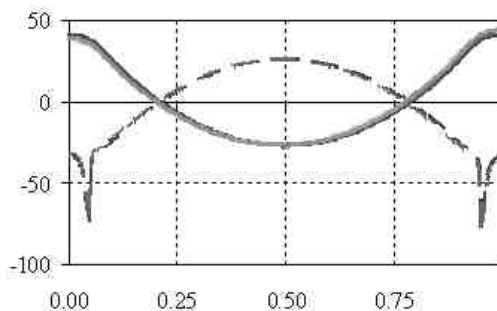


Рис. 4. Напруження на верхній (суцільна лінія) та нижній (штрихова лінія) поверхнях балки з урахуванням опромінення і без такого врахування

можливих локальних впливах радіаційного опромінення на балку за розглянутого навантаження лежать між цими двома кривими. Зокрема, для порівняння, штрих-пунктирною лінією на рис. 3 подано результати, коли ліва половина балки ($x \in [0, L/2]$) перебувала в зоні опромінення.

Порівняльний аналіз отриманих розподілів напружень для різних локальних і загального впливів на балку радіаційного опромінення не виявив істотного впливу опромінення на напружений стан балки (див. рис. 4). Криві практично накладаються одна на одну в масштабі рисунка. Збільшення максимальних напружень при врахуванні опромінення не перевищує 6–7%. Однак слід зауважити, що при цьому істотно знижується межа міцності [6].

Дослідження збіжності та достовірності отримуваних результатів (шляхом порівняння розв'язків, отриманих на різних скінченноелементних поділах області і в межах різних моделей) показало, що досить точні розв'язки отримуємо вже за двох елементів по висоті балки (розміри елементів в інших вимірах приймалися такими, щоб елементи максимально наближались до квадратів у випадку плоскої задачі і кубів – у випадку просторово тривимірної задачі). При цьому в межах плоскої задачі максимальний прогин розглянутої вихідної балки защемленої на краях становив 3,99 мм для плоского напруженого стану і 3,74 мм – для плоского деформованого стану. Результати розв'язку відповідної тримірної задачі потрапляли між ними (3,97 мм) – ближче до результатів задачі про плоский деформований стан.

Зауважимо, що аналітичний розв'язок у межах моделі балки Ейлера-Бернуллі для навантаження $p \cdot V = 3,62$ мм. Таке майже десятивідсоткове відхилення можна пояснити тим, що розглянута балка досить товстостінна (зі збіль-

шенням співвідношення L/H результати узгоджувались краще).

Висновки. Здійснено скінченноелементний аналіз і оцінювання впливу іонізуючого випромінювання на напружено-деформований стан балочної конструкції, досліджено його еволюцію, в залежності від дози отриманого випромінювання. Вибрана фізична модель враховує вплив випромінювання на модуль пружності бетону. Показано, що максимальні напруження слабо залежать від отриманої дози опромінення. При цьому при зменшенні модуля пружності на 25% приблизно на 33% збільшується максимальний прогин балочної конструкції.

Досліджено вплив локалізованого радіаційного опромінення на напружений стан балочної конструкції в залежності від місця локалізації та дози опромінення. При локалізованому радіаційному опроміненні задача визначення напруженого стану і переміщень балки є фізично нелінійною і не може бути розв'язана відомими класичними методами. Отримані числові дані про напружений стан конструкції можуть бути перераховані з дози радіації на час її отримання і використані для визначення граничної тривалості експлуатації.

Коефіцієнт запасу міцності конструкції зі збільшенням дози радіації зменшується насамперед з причини зменшення межі текучості бетону. З отриманих даних видно, що чинник зміни пружних властивостей бетону слабо впливає на напружений стан конструктивних елементів, які виготовлені з його використанням, однак, істотно впливає на виникаючі в системі переміщення, що може бути причиною збільшення навантажень і напружень в елементах будівельних конструкцій, які контактують з деталями, виготовленими з бетону. Цей фактор обов'яз-

ково має бути врахований при створенні нових чи уточненні існуючих методик розрахунку будівельних конструкцій. При цьому додатковим засобом підвищення їхньої точності є використання сучасних методів числового розв'язання інженерних і науково-прикладних задач.

Література

1. *Гвоздев А. А.* Об учете накопления повреждений структуры бетона при вычислении деформаций ползучести, включая псевдопластические / А. А. Гвоздев, А. В. Шубин, Е. Ш. Хумагулов // Новые исследования элементов железобетонных конструкций при различных предельных состояниях. – М.: НИИЖБ, 1982. – С. 32-39.

2. *Дубровский В. Б.* Бетоны в защите ядерных реакторов при высоких температурах / В. Б. Дубровский. – М.: Стройиздат, 1967. – 121 с.

3. *Кархут І. І.* Конструкції об'єктів, що працюють при високих температурних навантаженнях / І. І. Кархут, Й. Й. Лучко // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – 2007. – Вип. 9. – С. 38-45.

4. *Zienkiewicz O.C., Taylor R.L.* Finite Element Method / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor : Vol. 1. The Basis. – London: Butterworth Heinemann, 2000. – 689 p.

5. *Сахаров А.С., Альтенбах И.* Метод конечных элементов в механике твердых тел / А. С. Сахаров, И. Альтенбах. – К.: „Вища школа”, 1982. – 480 с.

6. *Лучко Й. Й.* Вплив радіаційного випромінювання на поведінку будівельних матеріалів і конструктивних елементів / Й. Й. Лучко, І. М. Добрянський // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – № 56. – С. 251-257.

Отримана 14.09.11

I. Dobryanskyi

The stress state of the concrete elements by action general and concentrated ionization irradiation

Lviv National Agrarian University, Lviv

Finite-element analysis and estimation if the ionization radiation to stress-deformation state of the beam concrete construction is made. Influence of the localized radiation irradiation to stress-deformation state of the beam construction in dependence of place localization and dose radiation is investigation.

Інформація

8-th EUROPEAN SOLID MECHANICS CONFERENCE

9 July 2012 – 13 July 2012

Graz, Austria

The first European Solid Mechanics Conference (ESMC) was held in Munich in 1991. This very successful conference initiated a tri-annual series with subsequent conferences held in Genova, Stockholm, Metz, Thessaloniki, Budapest and Lisbon. The 8th European Solid Mechanics Conference will take place at the Grazer Congress, under the auspices of EUROMECH, during July 9-13, 2012. The aim of the ESMC is to provide a forum for scientists and engineers to exchange ideas on the current state-of-the-art in the mechanics of solids, on new concepts and ideas and to identify important new directions for research.

We invite you to participate in this conference and to contribute to any topic of your scientific interest. The General (contributed) Sessions for this conference have been organized into seven main areas:

Continuum Mechanics
Material Mechanics
Computational Mechanics
Multifield Problems
Structural Mechanics
Experimental Mechanics
Dynamics

In addition, Mini-Symposia will be organized in a range of specialized topics.

Two joint **EUROMECH-ECCOMAS** mini-symposia on

“Science and Technology of Composites Manufacturing Processes” and
“Virtual Testing of Composites”

will be organized during the Conference.

Contact:

Prof. G.A. Holzapfel

E-mail: holzapfel@tugraz.at