

УДК 624.15;624.04;725

*В.П. Максименко, к.т.н.; П.В. Войтенко, НДІБВ;  
М.І. Надточий, КП “Спецжитлофонд”,  
м. Київ*

## ОЦІНКА НДС КАРКАСА МУЗЕЮ ІСТОРІЇ КИЄВА З УРАХУВАННЯМ ПОДАТЛИВОСТІ ФУНДАМЕНТІВ ПРИ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЯХ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ ПО РЕЗУЛЬТАТАХ НАТУРНОГО ОБСТЕЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ

### АНОТАЦІЯ

У статті розглядається методика фізично-нелінійного моделювання роботи товстої плити при знакоперемінних навантаженнях з урахуванням схеми зведення каркасу. Мета теоретичних досліджень складається у встановленні впливу циклічних навантажень на напружено-деформований стан товстої плити.

Ключові слова: моделювання, теорія анізотропного тіла, надійність, товста плита.

**Актуальність теми.** В умовах реальної експлуатації залізобетонні конструкції піддаються впливу циклічних навантажень від руху транспорту, технічного обладнання та скупчення людей з циклом повторення в декілька годин та особливих циклічних навантажень - землетрусу, які якісно міняють характер напружено-деформованого стану конструкції. При малоциклових навантаженнях, що не є багатократноповторюваними, допускається відносно високий рівень напружень та проявлення нелінійних характеристик бетону. В конструкції поступово реалізується навантаження та розвантаження, які призводять до трансформації напружено-деформованого стану елемента. В елементах відбувається накопичення залишкових деформацій, які впливають на довговічність конструкції.

Результати обстеження залізобетонних споруд демонструють значний вплив мало-циклових навантажень на тріщиностійкість та жорсткість конструкції. Певною мірою це пов'язано з тим, що сучасними нормативними документами особливості дії таких навантажень не враховуються або враховуються шляхом введення понижувальних

коефіцієнтів на міцні характеристики, що не відповідає дійсній роботі залізобетону з тріщинами при циклічних навантаженнях.

Якщо кожний цикл супроводжується приростом переміщень конструкції та накопиченням надмірних деформацій, то можливе деформаційне вичерпання несучої здатності конструкції, чого вимагають обов'язкові перевірки, регламентовані сучасними нормативними документами [ 1 ] за третім граничним станом (надійності і довговічності).

У більшості будівельних конструкцій приріст та накопичення залишкових деформацій після декількох циклів і виникнення залишкових зусиль супроводжується переходом до пружного деформування. Такий стан конструкції відповідає поняттю адаптації конструкції до режиму навантаження, тобто обумовлюється реалізацією певного запасу непружного деформування найбільш навантажених пластичних зон, в яких накопичується основний об'єм залишкових деформацій. Отже, при розрахунку конструкцій по деформаціях, однією з головних задач стає визначення максимального навантаження, за якого може спостерігатися стабілізація деформацій, а також визначення граничних навантажень, коли відбувається неконтрольване накопичення деформацій і розкриття тріщин, що може викликати колапс конструкції в цілому.

### Вихідні співвідношення для просторового скінченного елемента.

На відміну від бетону залізобетонний елемент є структурно-неоднорідним анізотропним матеріалом. Характеристики анізотропії проявляються за наявності в залізобетоні двох матеріалів з різними деформативними характеристиками та різними процентами армування в трьох напрямках. Матрицю жорсткості залізобетону можна отримати як суму відповідних пружно-пластичних характеристик бетону і арматури [6, 7, 8]:

$$D_{bs}(\Delta\varepsilon\Delta\varepsilon) = D_b(\Delta\varepsilon) + D_s(\Delta\varepsilon) \quad (1)$$

Для елементів двовісного, тривісного стиску ( $\sigma_1 \leq 0, \sigma_2 \leq 0, \sigma_3 < 0$ ) матрицю пружності залізобетону, яка реалізована в програмних комплексах, формуємо ґрунтуючись на теорії анізотропного тіла:

$$[D_{bs}] = \frac{E_b(1-\nu_b)}{(1-\nu_b)(1-2\nu_b)} \begin{bmatrix} E_{xx}^*/E_b & a & a & & & \\ & E_{yy}^*/E_b & a & & & \\ & & E_{zz}^*/E_b & & & \\ & & & (G_{xx}^*/G_b)b & & \\ & & & & (G_{yy}^*/G_b)b & \\ & & & & & (G_{zz}^*/G_b)b \end{bmatrix} \quad (2)$$

де  $a = \nu_b / (1 - \nu_b)$ ;  $b = (1 - 2\nu_b) / (2 - 2\nu_b)$

Перемінні модуль пружності  $E_{ii}^*$  і модуль зсуву  $G_{ii}^*$  визначаємо на кожному кроці збільшення навантаження як:

$$E_{ii}^* = E_b \left[ 1 + (n_i - 1)f_i + \frac{(1 - \frac{1}{n_{i+1}}) \cdot f_{i+1}}{1 - \sqrt{(1 - \frac{1}{n_i})^2 \cdot f_i + (1 - \frac{1}{n_{i+1}})^2 \cdot f_{i+1}}} + \frac{(1 - \frac{1}{n_{i+2}}) \cdot f_{i+2}}{1 - \sqrt{(1 - \frac{1}{n_i})^2 \cdot f_i + (1 - \frac{1}{n_{i+2}})^2 \cdot f_{i+2}}} \right]; \quad (3)$$

$$G_{ii}^* = G_b \left[ 1 + \frac{(1 - \frac{1}{m_i}) \cdot f_i + (1 - \frac{1}{m_{i+1}}) \cdot f_{i+1}}{1 - \sqrt{(1 - \frac{1}{m_i})^2 \cdot f_i + (1 - \frac{1}{m_{i+1}})^2 \cdot f_{i+1}}} \right]$$

де коефіцієнти приведення  $n_i, m_i$  жорстких характеристик для анізотропного тіла:

$$n_x = \frac{E_{xx}^*}{E_b}; m_x = \frac{G_{xx}^*}{G_b}; n_y = \frac{E_{yy}^*}{E_b}; m_y = \frac{G_{yy}^*}{G_b}; n_z = \frac{E_{zz}^*}{E_b}; m_z = \frac{G_{zz}^*}{G_b}$$

А остаточні напруження в елементі з врахуванням передісторії на попередньому n-1 кроці:

$$\{\sigma\}_n = \{\sigma\}_{n-1} + \{\Delta\sigma\}_n, \quad (4)$$

У межах реалізованої квазіізотропної моделі розглянемо основні передумови врахування роботи залізобетонного елемента на циклічні навантаження. Можливість врахування в даній моделі, як ущільнення, так і розущільнення матеріалу за рахунок мікро- та макротріщин, обумовлено постулатом Ілюшина про позитивну роботу при прикладенні та знятті приросту напружень  $d\sigma_{ij}$ :

$$\Delta\P = (1/2) d\sigma_{ij}^r d\varepsilon \geq 0 \quad (5)$$

де,  $d\sigma_{ij}^r$  – поправка до напружень від руйнування ( $d\sigma_{ij} = d\sigma_{ij}^p - d\sigma_{ij}^r$ );

$d\sigma_{ij}^p$  – поправка до напружень від пластичної роботи.

Для формування поправки  $d\sigma_{ij}^r$  у відповідності з механікою руйнування вводиться параметр накопичення пошкоджень в окремому елементі. Повне руйнування конструкції фіксується при появі на діагоналі глобальної матриці нульових або від'ємних жорсткостей.

За критерій розвантаження кожного елемента на i-ому кроці навантаження прийнята інтенсивність напружень  $(S_i) < (S_i)_{i-1}$  та деформацій  $(\varepsilon_i) < (\varepsilon_i)_{i-1}$

$$S_i = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_0)^2 + (\sigma_2 - \sigma_0)^2 + (\sigma_3 - \sigma_0)^2};$$

$$\varepsilon_i = \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_0)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_0)^2}, \quad (6)$$

де  $\varepsilon_0$  та  $\sigma_0$  – середні значення деформацій та напружень.

При розвантаженні в даній моделі приймається двохступінчата гілка розвантаження, де перша частина йде з коефіцієнтом 1.1, а потім змінюється до 0.9 (рис.1). В умовах нерівномірного тривісного стиску зі зростанням шарового тензора опір залізобетону суттєво збільшується (рис. 2, див. на обкладинці). Зображена залежність нелінійна. Опір залізобетону руйнуванню зі зростанням значення середнього напруження  $\sigma_0$  значно збільшується. В граничному стані при тривісному стиску виникають достатньо високі стискальні напруження  $\sigma_0 > 3f_{ck}$ . Такі умови близькі до стану текучості (розвиваються ефекти дилатації і мікротріщин). Загальні умови міцності бетону прийняті за модифікованими залежностями А.В. Яшина [9]:

$$\frac{S_1}{m(\sigma) \cdot K(\varphi)} = f_{ck} \cdot k_{cik}, \quad (7)$$

де

$$m(\sigma) = \left( A_o + \frac{1 - A_o}{F_c} \cdot F(\sigma) \right) \sqrt{2/3}$$

$$K(\varphi) = 1 - a_o \cdot \sin \frac{3}{2} \varphi + b_o \cdot \sin^2 \frac{3}{2} \varphi$$

$k_{cik}$  — коефіцієнт, який враховує зміну міцності бетону при циклічних навантаженнях.

Враховуючи прийняті фізично-нелінійні залежності, проведено математичний експеримент для масивної з/б фундаментної плити будівлі Музею історії Києва по вул. Б. Хмельницького (див. рис. 2. на обкладинці). Дана фундаментна плита розташована безпосередньо над куполом станції метрополітену "Театральна" та спирається своїми гранями на опорні стіни станції (див. рис. 3. на обкладинці). Метою дослідження стала перевірка несучої здатності плити та аналіз можливого її впливу на конструкції оболонки мертополітену.

Експерименти виконувалися на дослідження запасу міцності плити при циклічних навантаженнях від людей  $0,5 \text{ т/м}^2$  та статичних навантаженнях від підлоги  $0,4 \text{ т/м}^2$  несучих колон, які спираються безпосередньо на плиту, інтенсивністю  $50 - 110 \text{ т}$ . Як показано на рис. 4 плита представляє собою конструкцію змінної товщини від 2 м на опорах до 0,65 м в центральній частині. Для розрахунку була створена нелінійна модель даної плити в тривимірній постановці з врахуванням реального армування (рис. 4). Жорсткісні характеристики бетону та арматури були задані відповідно до реальних: для бетону опір на стиск складає  $f_{cd} = 29 \text{ МПа}$ , на розтяг  $f_{ctm} = 2 \text{ МПа}$  та для арматури характеристичне значення на розтяг  $f_{rt} = 500 \text{ МПа}$ , харак-

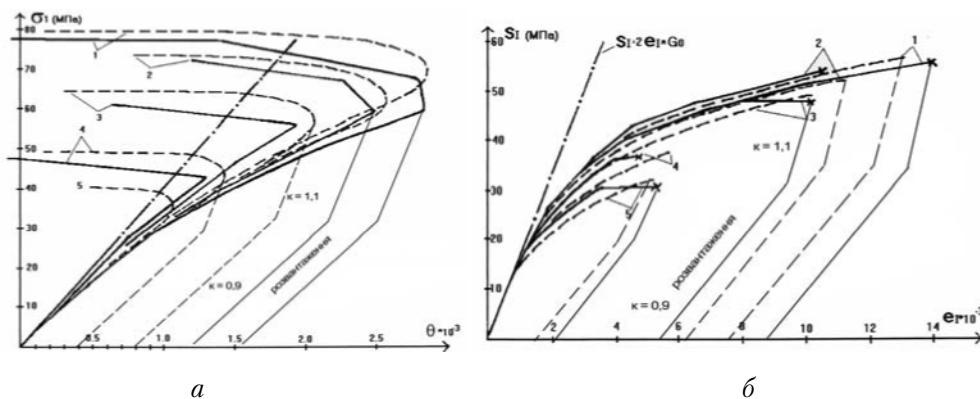
теристичне значення умовної границі текучості  $f_{r0.1k} = 300 \text{ МПа}$ . Схема навантаження та спірання конструкції була прийнята відповідно до реальної конструкції (рис. 2., рис. 3., див. на обкладинці).

Результати проведеного дослідження показані на рис. 5. (див. на обкладинці). Максимальні деформації оболонки після розрахунку на циклічне навантаження склали 12 мм, а запроєктований деформаційний зазор складає 100 мм, що свідчить про достатній запас міцності даної конструкції. У процесі розрахунку спостерігається відкриття та закриття тріщин у нижній зоні плити після зняття навантаження та систематичне накопичення деформацій після кожного кроку навантаження — розвантаження (рис. 5 б, див. на обкладинці).

Результатами перевірного просторового розрахунку каркаса Музею історії Києва встановлено, що існує нерівномірний вплив осідань металевого каркаса на існуючу забудову в тому числі на:

- конструкції метрополітену станції "Театральна";
- конструкції офісної громадської споруди по вул. Б.Хмельницького, 9А;
- конструкції офісної споруди по вул. Пушкінська, 20.

На рис. 6., (див. на обкладинці) наведені вертикальні деформації каркаса споруди при основному розрахунковому сполученні навантажень (РСН-3). За результатами аналізу роботи каркаса рекомендовано виконувати контроль осідань нового будівництва і існуючих споруд оточуючої забудови на період до повної стабілізації деформацій в рамках програми науково-технічного супроводу у відповідності з ДБН В.1.2-5:2007 "Науково технічний супровід будівельних об'єктів" [11], а також врахо-



**Рис.1.** Порівняння між інваріантами тензора напружень та деформацій для важких бетонів для об'ємних (а) і зсувних (б) тензорів за експериментальними даними А.В. Яшина та запропонованими залежностями [4, 5]

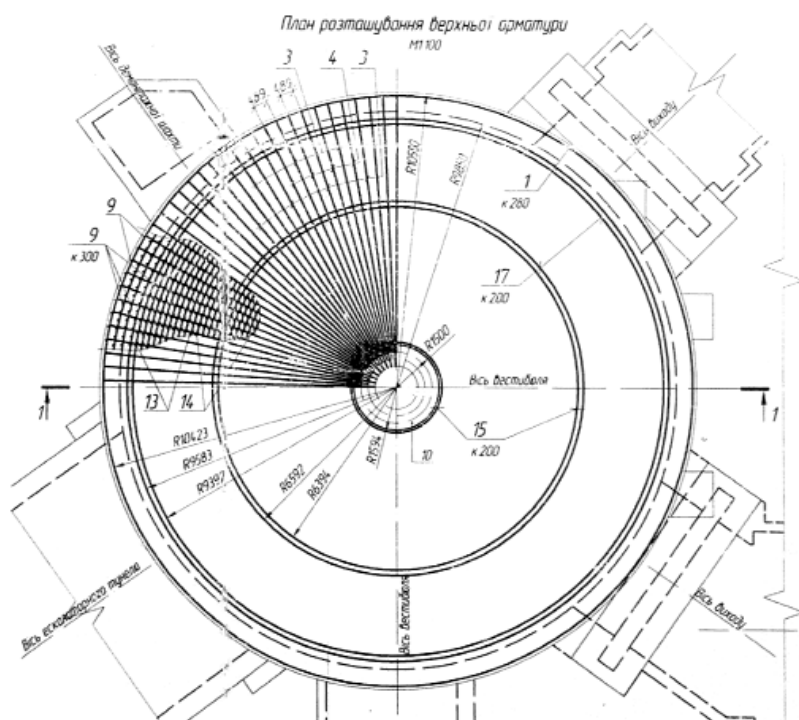
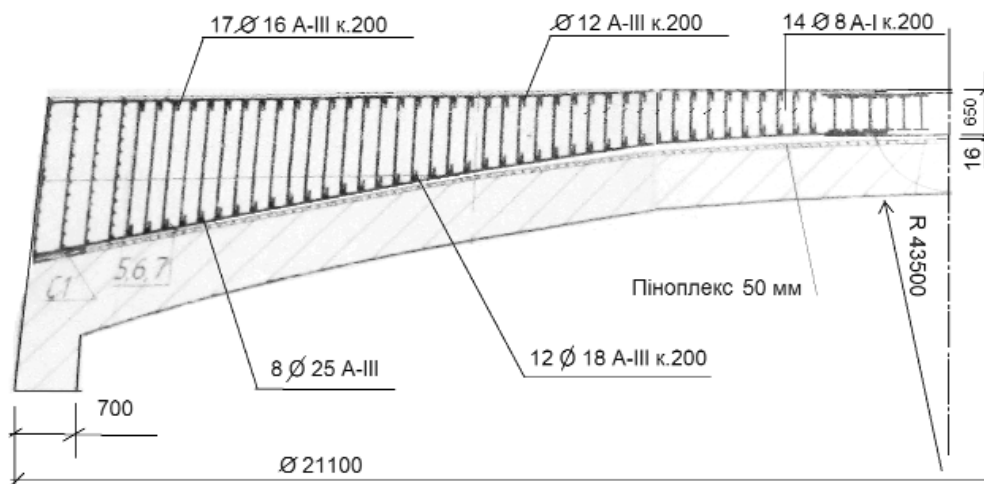


Рис. 4. Схема армування фундаментної плити будівлі Музею історії Києва

вуючи ДБН В.1.2-12-2008 [12] при будівництві даного об'єкта необхідно виконати додаткові вимоги для нового будівництва в умовах ущільненої забудови: виконати відсікаючі підпірні стінки між новим будівництвом і існуючими спорудами, проводити контроль їх деформацій і осідань.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. EN 1998-1. Єврокод 8. Проектирование в сейсмоопасных районах. Основные положения. Общие правила, сейсмические мероприятия и правила относительно зданий. 2004.

2. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М.:НИИЦ, 2005.

3. ДБН В.2.2-24:2009. Проектування висотних житлових і громадських будинків. Мінрегіонбуд України. Київ, 2009.

4. Максименко В.П. Реализация квазиизотропной модели бетона в трехосном напряженно-деформированном состоянии. — В кн. Вісник Одеського морського національного університету. Одеса, 2003 – №10. – С.34-38.

5. Максименко В.П., Войтенко П.В. Дослідження

напружено-деформованого стану фундаментної плити на основі тривимірної моделі. — Промислове будівництво та інженерні споруди. Київ, 2012. — №2, — с.9-15

6. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / Н. И. Карпенко. — М. : Стройиздат, 1996. — 416 с. : ил. — ISBN 5-274-01682-0.

7. Гольшев А.Б. Сопротивление железобетона / А. Б. Гольшев, В. И. Колчунов. — К. : Основа, 2009. — 432 с.

8. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий И.Д. Евзеров. — К. : Факт, 2007. — 394 с.

9. Яшин А.В. Рекомендации по определению прочностных и деформационных характеристик бетона при неодноосных напряженных состояниях. — М.:НИИЖБ,1985. — 72с.

10. Richard W. B. Forrest, Christopher Higgins, and A. Ekin Senturk. Experimental and Analytical Evaluation of Reinforced Concrete Girders under Low-Cycle Shear Fatigue. — ACI Structural Journal. 2010.- p.199-207.R

11. ДБН В.1.2-5:2007 "Науково технічний супровід будівельних об'єктів". — Київ. 2007.

12. ДБН В.1.2-12-2008 "Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки", Мінрегіонбуд України, К., 2008 р.UAOURNAL ACI STRUCTURAL JOURNAL ACI AL JOURN

#### АННОТАЦІЯ

В статье рассматривается методика физически-нелинейного моделирования работы толстой плиты при знакопеременных нагрузках с учетом схемы возведения каркаса. Цель теоретических исследований содержится в определении влияния циклических нагрузок на нагружено-деформированное состояние толстой плиты.

Ключевые слова: моделирование, теория анизотропного тела, надежность, толстая плита.

#### ANNOTATION

In the article the methodology of physically non-linear modeling of a thick base plate behavior under the cyclic loadings, including the framework erection scheme is considered. The aim of theoretic investigations is to determinate a loadinings character impact on stress-deformed state of the plate.

Keywords: modeling, theory of anisotropic body, reliability, thick plate.

УДК 330.341.1:332.143

О.М. Залузіна, КНУ, м. Кременчук

### ПОБУДОВА МОДЕЛІ ВПЛИВУ ВИТРАТ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ НА ГОСПОДАРСЬКУ ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВА ШЛЯХОВО-БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВАТ "КРЕДМАШ"

#### АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз впливу витрат виробництва продукції на господарську діяльність підприємства шляхово-будівельної техніки ВАТ "Кредмаш".

Ключові слова: коефіцієнт детермінації, регресійна модель залежності.

**Актуальність проблеми.** При управлінні процесами господарської діяльності підприємства потрібно враховувати, що кожний її показник залежить від багатоманітних і різномірних факторів, які характеризують цю діяльність. Чим детальніше досліджується вплив факторів на величину результативного показника, тим точніші результати аналізу і оцінка якості роботи підприємства. Тому важливим в аналізі господарської діяльності підприємства є вивчення і вимір впливу факторів на величину економічних показників, що досліджуються[1-3].

**Метою даних досліджень** є аналіз впливу витрат виробництва продукції на господарську діяльність ВАТ "Кредмаш". Розмір витрат виробництва продукції є базовою величиною при ціноутворенні продукції. Тому в якості фактора X, що характеризує процес ціноутворення продукції, була взята величина витрат на 1 гривню товарної продукції.

**Виклад основного матеріалу.** В якості показника господарської діяльності була взята величина чистого прибутку Y. Для побудови моделі застосовувалися економетричні моделі, засновані на обробці економічних даних методами математичної статистики. У результаті маємо регресійну модель залежності.

Оскільки досліджується вплив тільки одного фактора на показник, то для побудови моделі її аналізу застосовується методика парного регресійного аналізу.

Необхідні для побудови моделі дані наведені в таблиці 1.