

*Горик О. В., доктор технічних наук,
Ковальчук С. Б., кандидат технічних наук,
Яхін С. В., кандидат технічних наук*
Полтавська державна аграрна академія

**АНАЛІТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВСТАНОВЛЕННЯ РЕСУРСУ
НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ СТАДІОНУ «ВОРСКЛА»
ІМ. ОЛЕКСІЯ БУТОВСЬКОГО (М. ПОЛТАВА)**

ПОВІДОМЛЕННЯ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ

Рецензент – доктор технічних наук, професор А. А. Смердов

На основі натурного обстеження та випробування окремих похилих ригелів рам трибунної споруди (Східної трибуни) стадіону подано результати моделювання просторової роботи елементів інженерних конструкцій споруди з урахуванням наявних обмежень деформування ригелів. Це дало можливість встановити реальні умови їх роботи і визначити експлуатаційний ресурс. Дослідження базуються на використанні співвідношень ітераційної зсувної моделі згину композитних брусів в умовах обмеженого деформування. У результаті проведеного математичного моделювання був визначений рівень запасу міцності похилих ригелів у межах нормативного корисного навантаження, що дало змогу дійти висновку про можливість надійної експлуатації трибунної споруди.

Ключові слова: трибунна споруда, експлуатаційний ресурс, ригель, обмежене деформування, міцність, жорсткість, ітерація.

Постановка проблеми. За результатами натурних випробувань, висвітлених у другому повідомленні, ригелі Східної трибуни стадіону мають суттєву жорсткість. Поряд із цим розрахунки за класичними ідеалізованими моделями окремих елементів ригеля, як шарнірно опертих балок, під час дії найбільш несприятливих комбінацій навантажень [4] свідчать про майже вичерпаний запас його несучої здатності.

Це протиріччя спонукало до пошуку неklasичних моделей роботи ригелів для встановлення рівня надійності експлуатації споруди, що викладено в даній статті.

У ході виконання даного етапу дослідження були встановлені фактори, не враховані попередніми дослідниками, що ставлять ригель в умови обмеженого деформування, здатні підвищувати його жорсткість, а відтак і міцність, про що свідчать результати натурних випробувань. Тому

виникла необхідність аналітичного пошуку резерву жорсткості та міцності ригелів Східної трибуни стадіону, і постала задача теоретичного обґрунтування отриманих натурних результатів зі встановленням причин підвищеної жорсткості несучих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.

Матеріали останніх досліджень технічного стану несучих конструкцій Східної трибуни стадіону подані у звітах [4, 7, 9].

Згадані дослідження виявили низку недоліків різних елементів трибунної споруди стадіону та запропонували шляхи їх усунення, однак комплексний аналіз резервів несучої здатності у них відсутній. Дана стаття є заключною з числа повідомлень, започаткованих роботою [1], метою яких є проведення комплексного аналітично-експериментального дослідження ресурсу несучої здатності трибунної споруди стадіону.

Мета та завдання дослідження. Метою третього, заключного, етапу досліджень є дослідницький пошук наявного ресурсу несучої здатності основних елементів рам споруди Східної трибуни стадіону.

Реалізація даної мети потребує розробки аналітичної методики визначення дійсної жорсткості та міцності похилих ригелів рам і встановлення рівня надійності використання обстеженої споруди за цільовим призначенням з урахуванням наявних дефектів і пошкоджень.

Матеріали і методи досліджень. Основним методом проведеного дослідження є математичне моделювання композитних залізобетонних елементів просторового каркасу трибунної споруди із використанням визначальних співвідношень ітераційної зсувної моделі згину композитних дискретно-неоднорідних брусів в умовах

обмеженого деформування та результатів натурних випробувань.

Результати дослідження. У ході проведених експериментальних досліджень (другий етап) було встановлено, що після розвантаження конструкцій трибуни від корисного навантаження (вага глядачів) прогини ригелів повністю повернулися до початкових значень.

Це засвідчило пружну роботу матеріалу ригелів у експлуатаційному діапазоні зміни корисного навантаження.

Залізобетон, із якого виготовлені конструкції трибуни, є типовим дискретно-неоднорідним композитом. Основні елементи несучих конструкцій трибуни є брусами, що працюють в умовах складного опору, який утворюють переважно деформації поперечного згину та стиску. Зважаючи на встановлену пружну роботу конструкцій, можемо припустити, зокрема, лінійну пружність їх матеріалів, що дало змогу використати для розрахунку конструкцій співвідношення пружних моделей згину дискретно-неоднорідних композитних брусів [5, 6].

Будова та параметри жорсткості перерізів елементів рами. Геометрична розрахункова схема поперечних рам Східної трибуни стадіону продемонстрована на рисунку 1.

Елементи несучих конструкцій рами споруди виконані із залізобетону, який є дискретно-неоднорідним тілом. Залізобетонні елементи можна розглядати як композитні бруси, які складають високоміцне армування у вигляді поздовжньої та поперечної сталеві арматури, що розташовані у бетонному заповнювачі – квазіоднорідному композиті.

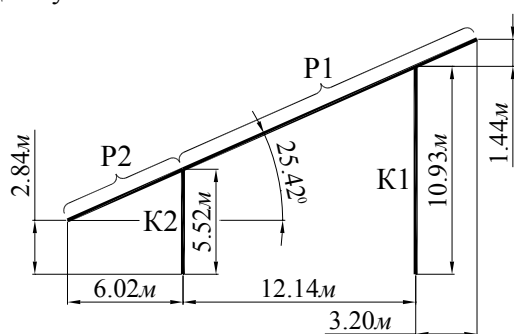


Рис. 1. Геометрична схема рами

Ригелі рами виготовлені з важкого бетону класу В40 [7], армованого сталевими стержнями класу А-II. Характеристики матеріалів прийняті відповідно до [8]: бетон – $E_{x(1)} = 36 ГПа$, $G_{xz(1)} = 14.4 ГПа$; сталеві арматури – $E_{x(2)} =$

$$= 210 ГПа ; G_{xz(2)} = 81 ГПа .$$

Елемент P1 ригеля має різне армування по довжині, тож структура його перерізів відповідно змінюється.

На рисунку 2а зображена структура перерізу прольотної частини ригеля, а на рисунку 2б – структура перерізу у зонах спирання.

Характеристики жорсткості перерізів елемента P1 ригеля за депланаційною моделлю згину композитних брусів [5] складає: для прольотної частини – $D_{00}^{P1} = 7.797 \cdot 10^8 Нм^2$, $D_{01}^{P1} = 1.537 \cdot 10^8 Нм^4$, $D_{11}^{P1} = 3.066 \cdot 10^7 Нм^6$; для приопорних ділянок – $D_{00}^{P1} = 7.937 \cdot 10^8 Нм^2$, $D_{01}^{P1} = 1.584 \cdot 10^8 Нм^4$, $D_{11}^{P1} = 3.195 \cdot 10^7 Нм^6$.

Різниця у відсотковому відношенні між жорсткостями D_{00} перерізів вказаних ділянок ригеля складає 1.8%, D_{01} – 3.1%, D_{11} – 4.2%, тож зміною армування на приопорній ділянці елемента ригеля під час визначення переміщень можна знехтувати. Тому розглядатимемо цей елемент ригеля і решту елементів рами таких як бруси із постійною по довжині жорсткістю.

Структура перерізу прольотної частини елемента P2 ригеля зображена на рисунку 2.

Жорсткості перерізу: $D_{00}^{P2} = 2.926 \cdot 10^8 Нм^2$, $D_{01}^{P2} = 2.924 \cdot 10^7 Нм^4$, $D_{11}^{P2} = 2.953 \cdot 10^6 Нм^6$.

Колони виготовлені із важкого бетону класу В20 [7], характеристики якого прийняті відповідно до [8]: $E_{x(1)} = 27.5 ГПа$, $G_{xz(1)} = 11.7 ГПа$.

Структура поперечного перерізу колони K1 зображена на рисунку 2г, колони K2 – на рисунку 2д. Характеристики жорсткості перерізів колон за депланаційною моделлю: K1 – $D_{00}^{K1} = 5.103 \cdot 10^8 Нм^2$, $D_{01}^{K1} = 8.880 \cdot 10^7 Нм^4$,

$$D_{11}^{K1} = 1.561 \cdot 10^6 Нм^6 ;$$

K2 – $D_{00}^{K2} = 2.100 \cdot 10^8 Нм^2$, $D_{01}^{K2} = 2.017 \cdot 10^7 Нм^4$, $D_{11}^{K2} = 1.958 \cdot 10^6 Нм^6$.

Моделювання зовнішнього корисного навантаження ригелів. Розрахунки по визначенню приросту переміщень ведемо по фактичному корисному навантаженню з розрахунку на повне заповнення трибуни глядачами.

Величину корисного навантаження визначимо за середньої маси глядача 80кг (вага 784Н). Крок сидінь закріплених на плитах покриття складає $a_{сид.} = 0.5 м$.

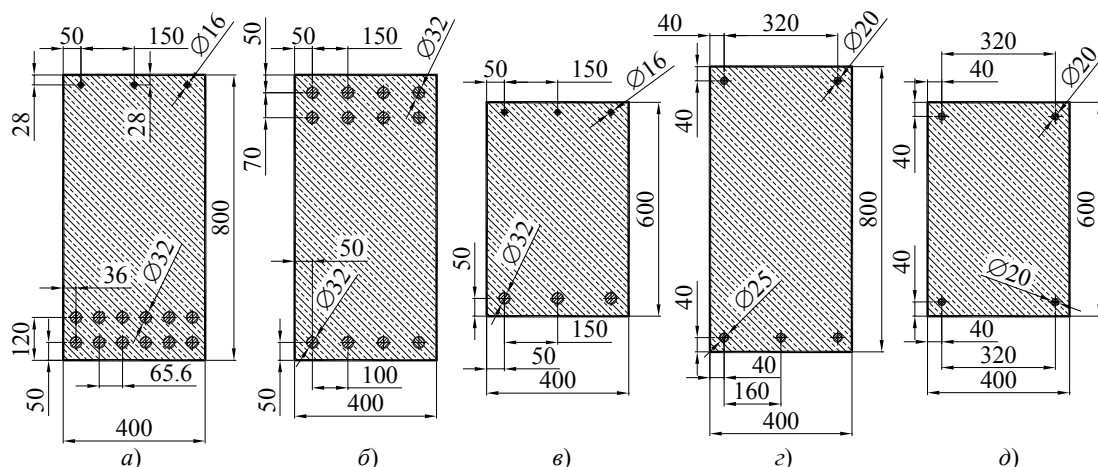


Рис. 2. Структура поперечних перерізів елементів рами

За кроку рам $l_{пл} = 6.0 м$, загальна вага глядачів, що займають місця на довільній плиті покриття, складатиме для прогонів, що містять ходові доріжки шириною $b_{дор.} = 1.5 м$:

$$Q_{заг.1} = Q \cdot (l_{пл.} - b_{дор.}) / a_{суд.} = 784 \cdot \frac{(6 - 1.5)}{0.5} = 7056 H,$$

для інших:

$$Q_{заг.2} = Q \cdot l_{пл.} / a_{суд.} = 80 \cdot 9.8 \cdot 6 / 0.5 = 9408 H.$$

Навантаження від кожної з плит покриття передається на ригелі через спеціальні полицки у вигляді кутика, привареного до закладних деталей ригеля. Таким чином, зведене до головної площини жорсткості ригеля корисне навантаження може бути змодельоване у вигляді зосередженої сили відповідної інтенсивності. Оскільки сидіння та ходові доріжки на плитах розташовані симетрично ригелям, на які опираються плити, що містять ходові доріжки, інтенсивність навантаження дорівнюватиме:

$$F_1 = 1/2(Q_{заг.1} + Q_{заг.2}) = 1/2(7056 + 9408) = 8232 H.$$

Для решти ригелів Східної трибуни:

$$F_2 = Q_{заг.2} = 9408 H.$$

Загальне корисне навантаження, що сприймають похилі ригелі, моделюємо сукупністю зосереджених сил визначеної інтенсивності. По відношенню до верхньої грані ригеля дане навантаження розкладемо на нормальну та дотичну складові. Проектний кут нахилу ригелів до горизонту складає $\alpha = 25^\circ 25'$. Тоді вказані складові інтенсивності корисного навантаження:

$$F_1^n = F_1 \cos \alpha = 8232 \cos(25.42^\circ) = 7435 H,$$

$$F_2^n = F_2 \cos \alpha = 8497 H,$$

$$F_1^t = F_1 \sin \alpha = 8232 \sin(25.42^\circ) = 3534 H,$$

$$F_2^t = F_2 \sin \alpha = 3884 H.$$

Опорні полицки розташовані на ригелі із кроком $a = 0.8 м$ по горизонталі. Тоді зосереджені сили прикладені до верхньої грані ригеля із кроком уздовж осі OX :

$$a^i = a / \cos \alpha = 0.8 / \cos(25.42^\circ) \approx 0.886 м.$$

На основі отриманих даних можемо записати загальну функцію активного нормального, до верхньої грані ригелів, навантаження:

$$\bar{q}_{z_2}^{a(i)} = -F_i^n \sum_{j=0}^p \Delta(x - (a_0^i + ja^i)), \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

де: $\Delta(x - s)$ – дельта функція Дірака зміщена відносно початку обраної системи координат на величину s ; a_0^i – зміщення точки прикладання навантаження відносно початку обраної системи відліку; p – кількість рядів сидінь.

Урахування додаткових умов обмеженого деформування. Проведене додаткове обстеження конструкції східної трибуни, у рамках виконання договірної науково-дослідної роботи [10], дало змогу виявити можливі фактори, що спричиняють підвищення жорсткості ригелів.

Так, по-перше, візуальним оглядом виявлено, що принаймні у верхній частині елементів P1 та P2 у місці обпирання на колону K2 з'єднані між собою сталеву прямокутною пластиною $400 \times 250 \times 12 мм$, а зазор між торцями заповнений бетоном. Дане з'єднання здатне сприймати опорний момент, створюючи умови сумісної роботи елементів ригеля як нерозрізної балки з двома проміжними опорами.

По-друге, відповідно до конструкторської документації у місцях обпирання ригелів на колони закладні деталі з'єднані зварюванням. Зважаючи на це та на розміри стійок К1 та К2, під час визначення переміщень їх жорсткістю нехтувати не можна.

По-третє, плити покриття, що змонтовані на ригелях, з'єднані із ними через закладні деталі шляхом зварювання. Плити покриття здатні розвантажувати верхню частину ригелів і таким чином впливати на їх деформування.

Наведені особливості конструкції є факторами, які ставлять ригелі в умови обмеженого деформування і зменшують їх прогини.

На основі аналітичного моделювання встановимо дійсну розрахункову схему ригеля та вплив виявлених факторів на його прогини. Оскільки була встановлена незначна зсувна піддатливість елементів рами, то моделювання виконуватимемо за 0-м кроком наближення ітераційної моделі згину композитних брусів.

Розрахункова схема основного елемента ригеля (Р1), яка враховує вказані обмеження деформування, показана на рисунку 3.

Сумісна робота елементів Р1 та Р2 ригеля моделюється зосередженим моментом M , прикладеним на опори, інтенсивність якого є невідомою.

Сумісна робота ригеля та колон К1 і К2 моделюється пружними шарнірними закріпленнями точок ζ_{31} та ζ_{32} .

Плити покриття змодельовані додатковим фіктивним шаром у структурі поперечного перерізу ригеля.

Визначальне диференціальне рівняння для бруса на рисунку 3 на 0-му кроці наближення моделі, відповідно до [6] та з урахуванням (1), матиме наступний вигляд:

$$D_{00}^{\bar{P}1} \frac{d^4 \chi_{0P1}}{dx^4} = -F_i^n \sum_{j=0}^p \Delta(x - (a_0^i + ja^i)) - \left(\frac{d\Delta_{x_0}}{dx} M + \Delta_{x_{\zeta_{31}}} \lambda_{11} \Big|_{x_{\zeta_{31}}} + \Delta_{x_{\zeta_{31}}} c_{31} \lambda_{31} \Big|_{x_{\zeta_{31}}} + \Delta_{x_{\zeta_{32}}} c_{32} \lambda_{32} \Big|_{x_{\zeta_{32}}} \right), \quad (2)$$

де c_{31} , c_{32} – жорсткість пружних опор; для елемента ригеля Р1-10 – $i=1$, Р1-9 – $i=2$.

Додаткові рівняння для визначення величин $\lambda_{ij} \Big|_{x_{\zeta_{ij}}}$ є такими:

$$\chi_{0P1} \Big|_{x=x_{\zeta_{31}}} = 0, \quad \chi_0 \Big|_{x=x_{\zeta_{31}}} - \lambda_{31} \Big|_{x_{\zeta_{31}}} = 0, \quad (3)$$

$$\chi_0 \Big|_{x=x_{\zeta_{32}}} - \lambda_{32} \Big|_{x_{\zeta_{32}}} = 0.$$

Крайові умови для даної задачі складені у такому вигляді:

$$\chi_{0P1} \Big|_{x_0} = 0, \quad \chi_{0P1}^{(2)} \Big|_{x_0} = 0, \quad (4)$$

$$\chi_{0P1}^{(2)} \Big|_{x_1} = 0, \quad \chi_{0P1}^{(3)} \Big|_{x_1} = 0.$$

Для аналітичного розрахунку прогинів елемента ригеля Р1 із використанням записаних рівнянь та умов необхідним є визначення пружних коефіцієнтів c_{31} , c_{32} опор ζ_{31} та ζ_{32} параметрів фіктивного шару й уточнених характеристик жорсткості перерізів елементів Р1 і Р2 ригелів, а також встановлення залежності опорного моменту M від деформацій елемента Р2.

Жорсткість пружних коефіцієнтів опор встановлена під час розгляду деформування колон від моменту, що передається на їх верхівки від ригеля. Залежність між величиною моменту M , прикладеного до верхівки колони довжиною l_K , та поздовжнім переміщенням крайньої точки перерізу (рис. 4), отримана у такому вигляді:

$$u_K = \frac{M l_K h_K}{8 D_{00}}. \quad (5)$$

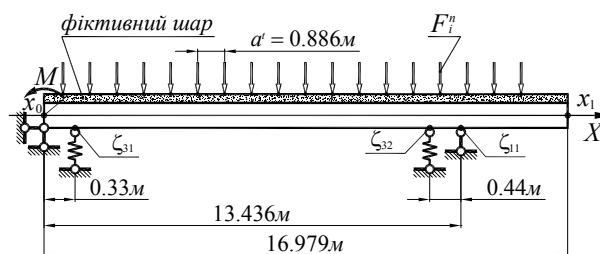


Рис. 3. Уточнена розрахункова схема ригеля

Із урахуванням залежності (5), встановлена залежність між поперечним переміщенням w_p точок ζ_{31} , ζ_{32} ригелів та силою F , що на них діє:

$$w_p = \frac{l_K h_K^2}{16 D_{00}} F. \quad (6)$$

Відповідно до (6), коефіцієнти пружності опор ζ_{31} та ζ_{32} можуть бути визначені за наступним співвідношенням:

$$c = \frac{16 D_{00}}{l_K h_K^2}. \quad (7)$$

Використавши у даному виразі характеристики жорсткості, отримали такі коефіцієнти пруж-

ності опор: $c_{31} = 1.690 \cdot 10^9 \text{ Н/м}$,
 $c_{32} = 1.186 \cdot 10^9 \text{ Н/м}$.

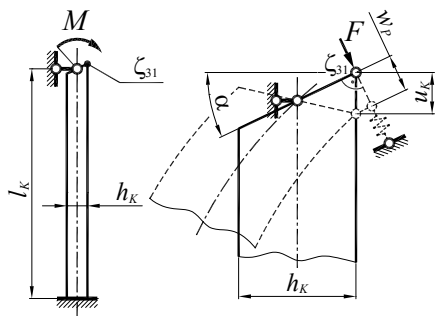


Рис. 4. До врахування жорсткості колон

Фізико-механічні характеристики фіктивного шару, який моделює сумісну роботу ригеля із плитами покриття, визначені на основі чисельного експерименту. Деформування просторової конструкції частини ригеля із плитами покриття (рис. 5), довжиною 9.37 м (10 кроків опорних полицок – 8.86 м плюс довжина опорної пластини – 0.51 м), було змодельоване методом кінцевих елементів (МКЕ) у програмному комплексі Femap 10.2.0. Ригель суцільного прямокутного перерізу 800 × 400 із бетону класу В40 та плити покриття із бетону В15 [7] моделювались двомірними елементами типу «plate». Сталеві полицки змодельовані одномірними елементами типу «beam». Шарнірне з'єднання плит із полицками виконане за допомогою елементів типу «rod» із матеріалу з підвищеною жорсткістю. Конструкція шарнірно закріплена на кінцях і була навантажена інтенсивністю рівномірного навантаження $q = 10 \text{ кН/м}$.

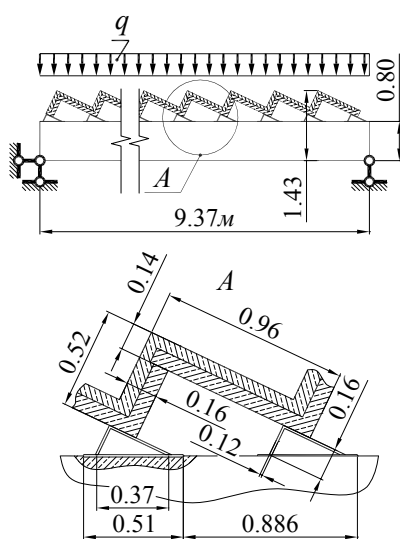


Рис. 5. До визначення параметрів фіктивного шару

Результати визначення прогинів (переміщень уздовж осі OY) створеної моделі продемонстровані на рисунку 6. Прогин посередині прогону склав $w_{МКЕ} = 1.81 \text{ мм}$. Отримана величина дає змогу аналітично встановити механічні властивості додаткового фіктивного шару композитного бруса ригеля із аналогічними прогинами.

Розрахунковий максимальний прогин бруса за схемою закріплення і навантаження, зображений на рисунку 5, на 0-му кроці наближення деплаційної моделі, що відповідає класичній моделі, визначається співвідношенням:

$$\chi_0 \Big|_{x=l/2} = -\frac{5}{384} \frac{ql^4}{D_{00}} \quad (8)$$

Для двохшарового прямокутного перерізу еківалентного бруса, що моделює сумісну роботу ригеля ($b \times h_1 = 400 \times 800$) і плит покриття, заміненних додатковим фіктивним шаром товщиною h_2 , отримано наступний вираз для визначення жорсткості:

$$D_{00} = \frac{b \left(h_1^4 E_x^{(1)2} + (4h_1^3 h_2 + 6h_1^2 h_2^2 + 4h_1 h_2^3) E_x^{(1)} E_x^{(2)} + h_2^4 E_x^{(2)2} \right)}{12 \left(E_x^{(1)} h_1 + E_x^{(2)} h_2 \right)} \quad (9)$$

Підстановка (9) до (8) приводить до квадратичного рівняння відносно шуканого модуля пружності $E_x^{(2)}$ фіктивного шару. Подальший розв'язок рівняння з урахуванням дослідного значення прогину $\chi_0 \Big|_{x=l/2} = w_{МКЕ}$ дав змогу встановити модуль пружності фіктивного шару висотою $h_2 = 0.1 \text{ м}$ та шириною $b = 0.4 \text{ м}$: $E_x^{(2)} = 23.92 \text{ ГПа}$.

Жорсткість перерізів елементів Р1 та Р2 ригелів, визначені з урахуванням фіктивного шару, мають наступні значення: $D_{00}^{P1} = 9.920 \cdot 10^8 \text{ Нм}^2$, $D_{00}^{P2} = 4.046 \cdot 10^8 \text{ Нм}^2$.

Інтенсивність моменту M у (2) є невідомою і має визначатись із умови сумісності переміщень торців елементів ригелів, що у випадку 0-го кроку наближення моделі означає рівність кутів повороту:

$$\chi_{0P2}^{(1)} \Big|_{x=x_1} = \chi_{0P1}^{(1)} \Big|_{x=x_0} \quad (10)$$

Для використання даної умови необхідним є отримання аналітичного виразу для $\chi_{0P2}^{(1)} \Big|_{x=x_1}$ у ході моделювання згину шарнірно закріпленого елемента ригеля Р2, визначальне рівняння для якого позначається наступним чином:

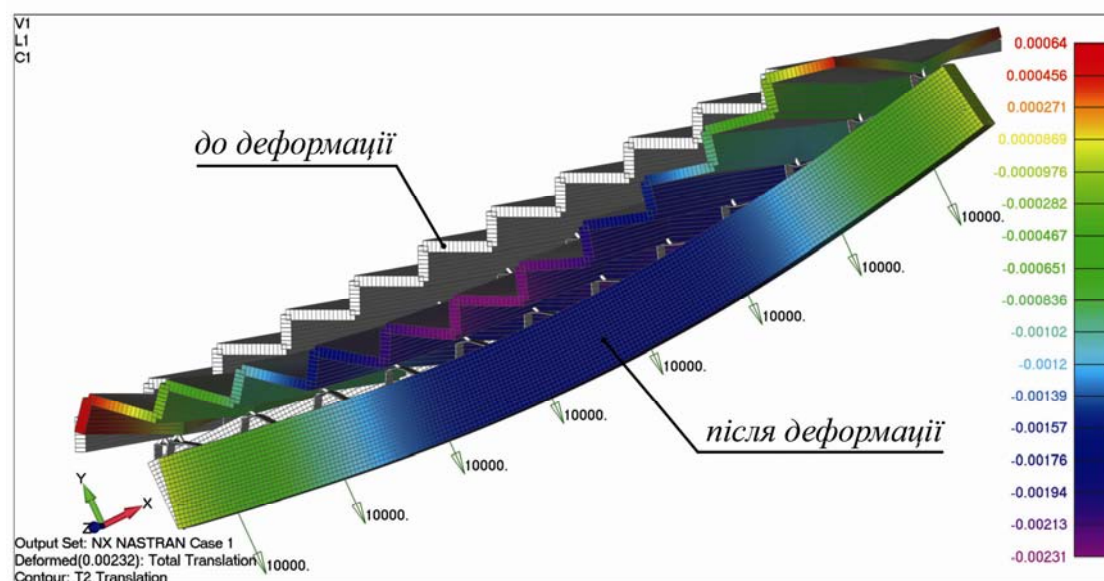


Рис. 6. Результати моделювання МКЕ фрагменту ригеля

$$D_{00}^{P2} \frac{d^4 \chi_{0P2}}{dx^4} = -F_i^n \sum_{j=0}^p \Delta(x - (a_0^j + ja^j)) - \frac{d\Delta_{x_1}}{dx} M. \quad (11)$$

Крайові умови запишуться так:

$$\chi_{0P2} \Big|_{x_0} = 0, \quad \chi_{0P2}^{(2)} \Big|_{x_0} = 0, \quad (12)$$

$$\chi_{0P2} \Big|_{x_1} = 0, \quad \chi_{0P2}^{(2)} \Big|_{x_1} = 0.$$

Шляхом розв'язання рівняння, (11) з урахуванням крайових умов (12) та уточнених характеристик жорсткості, була встановлена залежність між величиною моменту M та кутом повороту перерізу на правій опорі елемента ригеля P2-9:

$$\chi_{0P2}^{(1)} \Big|_{x=x_1} = 5.4907 \cdot 10^{-9} M + 29.2179 \cdot 10^{-5}. \quad (13)$$

Розв'язок рівняння (2), отриманий сумісно із додатковими рівняннями (3), (10), (13) та крайовими умовами (4), є шуканою функцією прогинів елемента ригеля P1 за схемою закріплення, зображеною на рисунку 3.

Графік отриманої функції для випадку елемента P1-9, суміщений із графіком прогинів елемента P2-9, позначено на рисунку 7, крива 5.

На рисунку також нанесені криві прогинів ригелів у випадку включення одного із факторів, що підвищують їх жорсткість: крива 1 відображає прогини ригеля, визначені за схемою відокремленої роботи елементів; крива 2 – коли врахована лише їх сумісна робота з плитами покриття; крива 3 – коли врахована лише спільна

робота елементів P1 та P2; крива 4 – коли врахована спільна робота елемента P1 та колон K1 і K2.

Наведені криві дають можливість оцінити вплив кожного із факторів на прогини ригеля. Найбільш суттєвим фактором є сумісна робота елементів ригеля та колон, що зменшує прогини відносно кривої 1 на 50.9%.

Врахування сумісної роботи елементів ригеля дало змогу зменшити прогин на 34.6%. Сумісна робота елемента P1 та плит покриття дає змогу знизити прогин на 21.4%.

У випадку одночасного врахування усіх факторів (крива 5) величина прогину посередині елемента P1-9 ригеля складає $\chi_0 \Big|_{x_m=13.383m} = 1.537 \cdot 10^{-3} m$.

Різниця у відсотковому відношенні від результату натурного випробування ($w_{P1-9} = 1.57 \cdot 10^{-3} m$) складає $(-2.1)\%$. Аналогічно отриманий прогин для випадку елемента ригеля P1-10: $\chi_0 \Big|_{x_m=13.383m} \approx 1.322 \cdot 10^{-3} m$, із відсотковою різницею від дослідного значення ($w_{P1-10} = 1.38 \cdot 10^{-3} m$) – $(-4.2)\%$, що підтверджує правильність обраної розрахункової схеми.

Таким чином, було аналітично встановлено експериментально обґрунтовану розрахункову модель та аналітично визначено конструктивний резерв жорсткості ригелів Східної трибуни стадіону «Ворскла» імені Олексія Бутовського в місті Полтава.

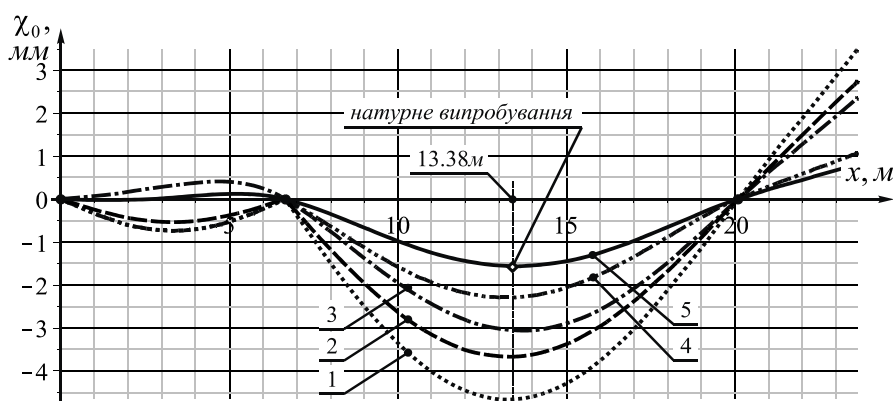


Рис. 7. Графік функції поперечних переміщень ригеля по осі 9

Теоретичне обґрунтування резерву міцності. Уточнена розрахункова модель дала змогу обґрунтувати наявні резерви міцності ригелів, оскільки встановлені обмеження деформування суттєво змінюють розподіл внутрішніх зусиль. На рисунку 8 подано графік розподілу згинаючого моменту (крива 1) у поперечних перерізах ригеля по осі 9, отриманий на основі уточненої розрахункової схеми закріплення (рис. 3) з урахуванням черговості монтажу елементів трибуни та нормативних значень постійного і тимчасового навантажень прийнятих у [7].

У якості кривої порівняння наведений розподіл згинаючого моменту (крива 2), отриманий на основі схеми закріплення ригелів за умови відокремленої роботи елементів рами. Максимального значення згинаючий момент в обох випадках досягає у прогоні елемента Р1 ригеля і для уточненої розрахункової схеми складає $M_y^{[1]}|_{x=13.45,м} = 910.73кНм$, а для випадку типової схеми закріплення (вільне деформування) згинаючий момент посередині прогону елемента Р1 ригеля досягає значення $M_y^{[2]}|_{x=13.02,м} = 1626.44кНм$.

Несуча здатність нормального перерізу прогону елемента Р1 за розрахунками, виконаними у

[7], складає $M_u = 1454.76кНм$.

Таким чином, за уточненою розрахунковою схемою міцність ригеля у 12-метровому прогоні забезпечена із суттєвим запасом навіть без застосування установленої системи підсилення, в той час, як за схемою вільного деформування міцність ригеля є недостатньою, що й зумовило виконати у свій час підсилення.

За уточненою схемою обмеженого деформування суттєво більш навантаженими є опорні ділянки ригеля, але значення згинаючого моменту на опорах залишаються значно нижчими за несучу здатність ригеля у даних перерізах, яка відповідно до розрахунків у [7] складає $M_u = 1100.48кНм$.

Таким чином, аналітичне моделювання згину залізобетонних ригелів трибунної споруди стадіону, як композитних брусів, що перебувають в умовах обмеженого деформування, дало змогу обґрунтувати чинники, які знижують їх прогини. Адекватність побудованої уточненої розрахункової схеми підтверджена даними прямого методу контролю – статичних натурних випробувань жорсткості похилих ригелів залізобетонного каркасу.

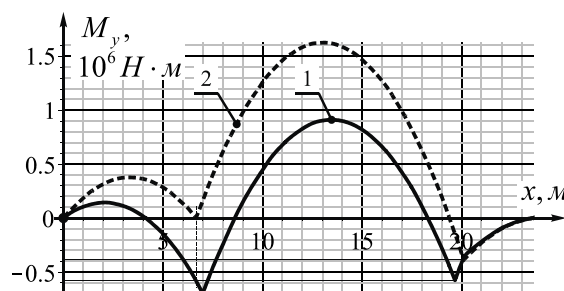


Рис. 8. Графіки розподілу згинаючого моменту ригеля по осі 9

Подальший розрахунок ригелів за уточненою схемою закріплення дав змогу установити дійсний розподіл внутрішніх зусиль у перерізах ригелів, який показав їх суттєвий запас міцності, що дало змогу оцінити технічний стан усієї споруди на «задовільно» (категорія II) і надати дозвіл на експлуатацію стадіону протягом п'яти років до чергового обстеження.

Висновок. Отримані у ході виконання комплексу робіт по визначенню технічного стану споруди результати покладені в основу рекомендацій щодо подальшої надійної експлуатації головної спортивної арени обласного центру й тренувальної та ігрової бази футбольного клубу

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Горик О. В. Аналітично-експериментальне встановлення ресурсу несучої здатності елементів каркасу стадіону «Ворскла» ім. Олексія Бутовського (м. Полтава). Повідомлення 1. Визначення технічного стану / О. В. Горик, С. Б. Ковальчук, С. В. Яхін, А. А. Ландар // Вісник Полтавської державної аграрної академії. Наук.-вироб. фаховий журнал. – Полтава : ПДАА. – 2012. – №1(64). – С.172–177.

2. Горик О. В. Натурні дослідження жорсткості ригелів трибун стадіону «Ворскла» в м. Полтава / О. В. Горик, С. Б. Ковальчук, С. В. Яхін // Будівельні конструкції. Книга 1. – Вип. 78. – Київ : ДП НДІБК, 2013. – С. 266–272.

3. Горик О. В. Обґрунтування резерву жорсткості та міцності елементів рам трибунних споруд стадіону «Ворскла» ім. О. Бутовського в м. Полтава / О. В. Горик, С. Б. Ковальчук, С. В. Яхін : XI Міжнарод. научно-практ. інтернет-конференція [«Состояние современной строительной науки – 2013»].

4. Звіт про науково-дослідну роботу «Обстеження технічного стану будівельних конструкцій стадіону «Ворскла» (№2062/01) // Полтав-

«Ворскла».

Подані результати експериментальних досліджень добре узгоджуються із результатами аналітичного моделювання за депланаційною моделлю згину композитних брусів, що підтверджує її достовірність. Теоретичні дослідження резервів міцності композитних залізобетонних елементів трибунних споруд стадіону «Ворскла» ім. О. Бутовського показують можливість застосування наукових результатів щодо моделювання напружено-деформованого стану композитних елементів в умовах обмеженого деформування.

ський державний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – 2001.

5. Горик О. В. Механіка деформування композитних брусів / О. В. Горик, В. Г. Піскунов, В. М. Чередніков. – Полтава – Київ : АСМІ, 2008. – 402 с.

6. Горик О. В. Згин композитних призматичних брусів в умовах обмеженого деформування / О. В. Горик, С. Б. Ковальчук // Наукові нотатки : міжвуз. зб. наук. праць. – Луцьк : ЛНТУ, 2013. – Вип. 42. – С. 55–61.

7. Звіти про обстеження будівельних конструкцій Східної трибуни стадіону «Ворскла» (№2114/01-31), (№2114/01-31), (№2423/05), (2696/07) // Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – 2003, 2004, 2005, 2007.

8. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01-84. – Госстрой СССР, 1984. – 79 с.

9. Звіт про технічний стан залізобетонних конструкцій Східної трибуни стадіону «Ворскла» у м. Полтава // Багатогалузевий науково-технічний центр «Віра». – 2008. – 136 с.