

РОЗРАХУНОК ПРОСТОРОВИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТРУКТУРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Постановка проблеми. Сталезалізобетонні структурні конструкції складаються із залізобетонної плити та поєднаної з нею в одне ціле в процесі будівництва системи перехресних ферм структури зі сталевих стрижнів. Така конструкція є комплексною, в ній сумісно працюють і сталеві, і залізобетонні елементи. При цьому залізобетон використовується в основному для сприйняття зусиль стиску, а сталь – для сприйняття зусиль розтягу [5, 10].

Напружено-деформований стан сталезалізобетонної структурної конструкції при просторовій роботі відрізняється як від структурних, так і від просторових сталезалізобетонних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень. Розроблені різноманітні методи наближеного розрахунку структурних конструкцій. Ураховуючи, що структурна плита розділена на однотипні чарунки, в наближених розрахунках дискретну структуру в загальному випадку заміняють ортотропною пластиною з пружними характеристиками й граничними станами, які відповідають дійсній роботі конструкції. Пластина вважається тонкою, в ній не враховуються зсуви у вертикальних площинах і приймається, що напруження σ_z дорівнюють нулю [5].

У зв'язку з розвитком числових методів розрахунку дану конструкцію можна розрахувати, застосовуючи метод скінченних елементів [4]. У якості основних невідомих у цьому методі використовуються переміщення і повороти вузлів розрахункової схеми. Але він має низку суттєвих недоліків, відомо, що точність методу скінченних елементів значною мірою залежить від кількості останніх у розрахунковій системі. Також відомо, що при великій кількості рівнянь у системі істотно підвищується ризик помилок. Крім того, при величезній кількості рівнянь немає гарантії правильності розв'язку системи. Нарешті, при значній кількості скінченних елементів зростає роль людського фактора: як би швидко не була здатна ЕОМ розв'язувати систему, задавати вихідні дані й аналізувати результати повинна людина [1]. Також при розрахунку методом скінченних елементів за наявності локальних пошкоджень, недостатнього закріплення конструкцій у місцях з'єднання, пошкодження в закладних деталях, тріщин у плиті необхідно задавати нову розрахункову схему.

На даний момент розроблений метод розрахунку за допомогою методу лінійних скінченних елементів [1, 2, 3]. Таким методом досліджено роботу сталезалізобетонних структурних конструкцій при нерівномірному завантаженні [7]. Також проведено дослідження впливу нерівномірного навантаження на конструкцію [8].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Для структурних систем, як і для інших просторових конструкцій, характерний складний просторовий перерозподіл зусиль від зовнішніх навантажень, за рахунок чого забезпечується значне зниження ваги конструкції й конструктивної висоти перекриття [6]. На практиці перекриття та покриття найчастіше завантажені нерівномірним навантаженням, яке у свою чергу може викликати не тільки зусилля стиску, а й зусилля зсуву в поздовжньому та поперечному напрямках [8]. Також досить часто в перекриттях і покриттях

наявні різного роду локальні пошкодження, які відповідно впливають на роботу конструкції. За допомогою методів розрахунку, розроблених на даний час, досить важко, а в деяких випадках неможливо, врахувати перелічені умови роботи конструкції, тому розрахунки за такими методиками дають досить велику похибку.

Формулювання цілей статті. Метою статті є використання методу лінійних скінченних елементів для дослідження напружено-деформованого стану структурних сталезалізобетонних конструкцій при складних навантаженнях та локальних пошкодженнях, аналіз переваг і недоліків запропонованого методу.

Виклад основного матеріалу. Дослідження просторової роботи сталезалізобетонної структурної конструкції доцільно виконувати за допомогою методу скінченних лінійних елементів, розробленого Т.Н. Азізовим [2, 3]. Використання такого методу досліджено в роботах [6 – 9]. За цим методом (скінченних лінійних елементів) сталезалізобетонна структурна конструкція розділяється на окремі лінійні елементи площинами, перпендикулярними до осі ребер. Розглядається i -тий відсічений лінійний елемент із діючими в місці розрізу зусиллями, які необхідно визначити. У загальному випадку по лінії розрізу будуть діяти 5 невідомих зусиль. У залізобетонній плиті це – дотичні зусилля T_{i-1} , T_i , вертикальні погонні зусилля S_{i-1} , S_i , погонні поперечні згинальні моменти M_{i-1} , M_i , погонні горизонтальні сили розпору H_{i-1} , H_i та зусилля розтягу N_{i-1} , N_i , що діють у нижньому поясі.

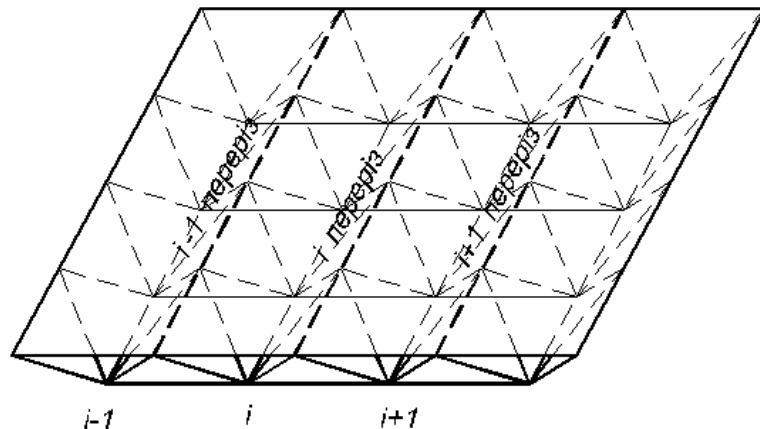


Рисунок 1 – Схема поділу перекриття на окремі лінійні елементи

Для визначення невідомих зусиль $T(x)$, $S(x)$, $M(x)$, $H(x)$, $N(x)$ записані умови сумісності деформацій для кожного i -го перерізу.

1. Рівність деформацій $\varepsilon(x)$ ліворуч та праворуч від i -го перерізу.
2. Рівність кривизни у вертикальній площині ліворуч і праворуч від i -го перерізу.
3. Рівність кутів повороту ліворуч та праворуч від i -го перерізу.
4. Рівність кривизни в горизонтальній площині у верхньому поясі ліворуч і праворуч від i -го перерізу.
5. Рівність кривизни в горизонтальній площині у нижньому поясі ліворуч та праворуч від i -го перерізу.

У результаті додавання відповідних частин виразів умови сумісності деформацій і приведення подібних отримаємо систему п'яти диференціальних рівнянь (1).

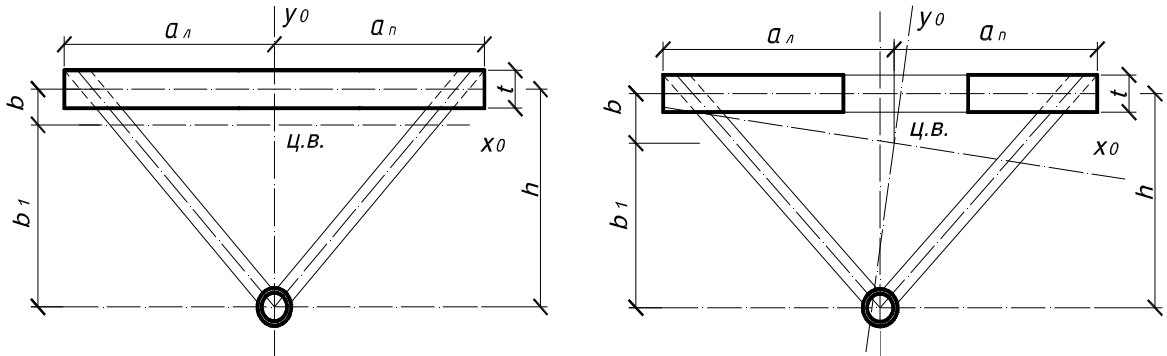


Рисунок 2 – Переріз i -тої сталезалізобетонної структурної конструкції:
а – без пошкодження; б – із пошкодженням верхнього пояса

У загальному випадку геометричні характеристики окремих лінійних елементів можуть бути різними, зокрема $a_{\Gamma i} \neq a_{\Gamma i+1}$; $b_{\Gamma i} \neq b_{\Gamma i+1}$; $b_i \neq b_{i+1}$. Такі випадки можливі при різного роду локальних пошкодженнях.

$$\begin{aligned}
 & 1. \left(\frac{a_{\Gamma i} a_{n_i}}{EI_{\Gamma i-1}} - \frac{1}{EA_{i-1}} - \frac{b_i^2}{EI_{i-1}} \right) T_{i-1}'' + \left(\frac{a_{n_i}^2}{EI_{\Gamma i}} + \frac{1}{EA_i} + \frac{b_i^2}{EI_i} + \frac{a_{\Gamma i+1}}{EI_{\Gamma i+1}} + \frac{1}{EA_{i+1}} + \frac{b_{i+1}^2}{EI_{i+1}} \right) T_i'' + \\
 & + \left(\frac{a_{\Gamma i+1} a_{n_{i+1}}}{EI_{\Gamma i+1}} - \frac{1}{EA_{i+1}} - \frac{b_{i+1}^2}{EI_{i+1}} \right) T_{i+1}'' + \frac{b_i}{EI_i} M'' s_{i-1} + \left(-\frac{b_i}{EI_i} - \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} \right) M'' s_i + \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} M'' s_{i+1} + \\
 & + \frac{a_{\Gamma i}}{EI_{\Gamma i}} M'' h_{i-1} + \left(-\frac{a_{n_i}}{EI_{\Gamma i}} + \frac{a_{\Gamma i+1}}{EI_{\Gamma i+1}} \right) M'' h_i + \frac{a_{n_{i+1}}}{EI_{\Gamma i+1}} M'' h_{i+1} - \frac{a_{\Gamma i}}{EI_{\Gamma i}} M'' n_{i-1} + \left(\frac{a_{n_i}}{EI_{\Gamma i}} + \frac{a_{\Gamma i+1}}{EI_{\Gamma i+1}} \right) M'' n_i - \\
 & - \frac{a_{n_{i+1}}}{EI_{\Gamma i+1}} M'' n_{i+1} = \frac{b_i}{EI_i} M'' q_i - \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} M'' q_{i+1}; \\
 & 2. -\frac{b_i}{EI_i} T_{i-1} + \left(\frac{b_i}{EI_i} + \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} \right) T_i - \frac{b_{i+1}}{EI_{i+1}} T_{i+1} - \frac{1}{EI_i} M'' s_{i-1} + \left(\frac{1}{EI_i} + \frac{1}{EI_{i+1}} \right) M'' s_i - \frac{1}{EI_{i+1}} M'' s_{i+1} + \\
 & - \frac{a_{\Gamma i} a_{n_i}}{GI_i} M'' s_{i-1} + \left(-\frac{a_{n_i}^2}{GI_i} + \frac{a_{\Gamma i+1}^2}{GI_{i+1}} \right) M'' s_i + \frac{a_{\Gamma i+1} a_{n_{i+1}}}{GI_{i+1}} M'' s_{i+1} + \frac{a_{n_i}}{GI_i} M'' M_{i-1} + \left(-\frac{a_{\Gamma i}}{GI_i} + \frac{a_{\Gamma i+1}}{GI_{i+1}} \right) M'' M_i - \frac{a_{n_{i+1}}}{GI_{i+1}} M'' M_{i+1} + \\
 & + \frac{a_{n_i} b_i}{GI_i} M'' h_{i-1} + \left(-\frac{a_{n_i} b_i}{GI_i} + \frac{a_{\Gamma i+1} b_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) M'' h_i - \frac{a_{\Gamma i+1} b_{i+1}}{GI_{i+1}} M'' h_{i+1} + \frac{a_{n_i} b_{i+1}}{GI_i} M'' n_{i-1} + \left(\frac{a_{n_i} b_i}{GI_i} - \frac{a_{\Gamma i+1} b_{i+1}}{GI_{i+1}} \right) M'' n_{i+1} - \\
 & - \frac{a_{\Gamma i+1} b_{i+1}}{GI_{i+1}} M'' n_{i+1} = -\frac{1}{EI_i} M'' q_i + \frac{1}{EI_{i+1}} M'' q_{i+1}; \\
 & 3. \frac{a}{GI_i} M'' s_{i-1} + \left(\frac{a}{GI_i} - \frac{a}{GI_{i+1}} \right) M'' s_i - \frac{a}{GI_{i+1}} M'' s_{i+1} + \frac{1}{GI_i} M_{i-1} + \left(-\frac{1}{GI_i} - \frac{1}{GI_{i+1}} \right) M_i + \\
 & + \frac{1}{GI_{i+1}} M_{i+1} + \frac{b}{GI_i} M'' h_{i-1} + \left(-\frac{b}{GI_i} - \frac{b}{GI_{i+1}} \right) M'' h_i + \frac{b}{GI_{i+1}} M'' h_{i+1} + \\
 & + \frac{b_1}{GI_i} M'' n_{i-1} + \left(-\frac{b_1}{GI_i} - \frac{b_1}{GI_{i+1}} \right) M'' n_i + \frac{b_1}{GI_{i+1}} M'' n_{i+1} = 0;
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
4. & \frac{a}{EI_{\Gamma_i}} T_{i-1} + \left(-\frac{a}{EI_{\Gamma_i}} - \frac{a}{EI_{\Gamma_{i+1}}} \right) T_i + \frac{a}{EI_{\Gamma_{i+1}}} T_{i+1} + \frac{ba}{GI_i} M^s_{s_{i-1}} + \left(\frac{ba}{GI_i} - \frac{ba}{GI_{i+1}} \right) M^s_{s_i} - \frac{ba}{GI_{i+1}} M^s_{s_{i+1}} + \frac{b}{GI_i} M_{i-1} + \\
& + \left(-\frac{b}{GI_i} - \frac{b}{GI_{i+1}} \right) M_i + \frac{b}{GI_{i+1}} M_{i+1} + \frac{1}{EI_{\Gamma_i}} Mh_{i-1} + \left(-\frac{1}{EI_{\Gamma_i}} - \frac{1}{EI_{\Gamma_{i+1}}} \right) Mh_i + \frac{1}{EI_{\Gamma_{i+1}}} Mh_{i+1} + \\
& + \frac{b^2}{GI_i} M^n_{n_{i-1}} + \left(-\frac{b^2}{GI_i} - \frac{b^2}{GI_{i+1}} \right) M^n_{n_i} + \frac{b^2}{GI_{i+1}} M^n_{n_{i+1}} - \frac{1}{EI_{\Gamma_i}} Mn_{i-1} + \left(\frac{1}{EI_{\Gamma_i}} + \frac{1}{EI_{\Gamma_{i+1}}} \right) Mn_i - \frac{1}{EI_{\Gamma}} Mn_{i+1} + \\
& + \frac{b \cdot b_1}{GI_i} M^n_{n_{i-1}} + \left(-\frac{b \cdot b_1}{GI_i} - \frac{b \cdot b_1}{GI_{i+1}} \right) M^n_{n_i} + \frac{b \cdot b_1}{GI_{i+1}} M^n_{n_{i+1}} = 0; \\
5. & \frac{a}{EI_{\Gamma_i}} T_{i-1} + \left(-\frac{a}{EI_{\Gamma_i}} - \frac{a}{EI_{\Gamma_{i+1}}} \right) T_i + \frac{a}{EI_{\Gamma_{i+1}}} T_{i+1} - \frac{ba}{GI_i} M^s_{s_{i-1}} + \left(-\frac{ba}{GI_i} + \frac{ba}{GI_{i+1}} \right) M^s_{s_i} + \frac{ba}{GI_{i+1}} M^s_{s_{i+1}} - \frac{b}{GI_i} M_{i-1} + \\
& + \left(\frac{b}{GI_i} + \frac{b}{GI_{i+1}} \right) M_i - \frac{b}{GI_{i+1}} M_{i+1} + \frac{1}{EI_{\Gamma_i}} Mh_{i-1} + \left(-\frac{1}{EI_{\Gamma_i}} - \frac{1}{EI_{\Gamma_{i+1}}} \right) Mh_i + \frac{1}{EI_{\Gamma_{i+1}}} Mh_{i+1} - \\
& - \frac{b \cdot b_1}{GI_i} M^n_{n_{i-1}} + \left(\frac{b \cdot b_1}{GI_i} + \frac{b \cdot b_1}{GI_{i+1}} \right) M^n_{n_i} - \frac{b \cdot b_1}{GI_{i+1}} M^n_{n_{i+1}} - \frac{1}{EI_{\Gamma_i}} Mn_{i-1} + \left(\frac{1}{EI_{\Gamma_i}} + \frac{1}{EI_{\Gamma_{i+1}}} \right) Mn_i - \frac{1}{EI_{\Gamma}} Mn_{i+1} - \\
& - \frac{b^2}{GI_i} M^n_{n_{i-1}} + \left(\frac{b^2}{GI_i} + \frac{b^2}{GI_{i+1}} \right) M^n_{n_i} - \frac{b^2}{GI_{i+1}} M^n_{n_{i+1}} = 0,
\end{aligned}$$

де Mq_i – функція згинальних моментів в i -му елементі від дії зовнішнього навантаження;

a_L, a_{II} – відстані від центра ваги перерізу до i -го перерізу;

b – відстань від центра ваги перерізу до центра ваги верхнього пояса;

b_1 – відстань від центра ваги перерізу до центра ваги нижнього пояса;

EI – згинальна жорсткість i -го елемента;

EA – осьова жорсткість i -го елемента;

EI_{Γ} – згинальна жорсткість елемента в горизонтальній площині;

GI – крутильна жорсткість елемента.

У деяких випадках цю систему можна спростити, так, при розрахунку конструкцій без пошкоджень (рис. 2) геометричні розміри та жорсткості конструкцій будуть відповідно дорівнювати:

$$\begin{aligned}
& a_{Li} = a_{Pi} = a; & b_{Li-1} = b_{Li} = b_{Li+1} = b_L; \\
& EI_{i-1} = EI_i = EI_{i+1} = EI; & GI_{i-1} = GI_i = GI_{i+1} = GI; \\
& EA_{i-1} = EA_i = EA_{i+1} = EA; & EI_{\Gamma i-1} = EI_{\Gamma i} = EI_{\Gamma i+1} = EI_{\Gamma}.
\end{aligned} \tag{2}$$

Особливістю конструкції, яка розглядається, є те, що висота залізобетонної плити набагато менша порівняно з конструктивною висотою конструкції в цілому [9]. Унаслідок цього вплив погонних поперечних згинальних моментів M_{i-1}, M_i , які діють у плиті, можна не враховувати. Дія погонних поперечних згинальних моментів для конструкції в цілому буде компенсуватися горизонтальними силами розпору H_{i-1}, H_i та зусиллями розтягу N_{i-1}, N_i , що діють у нижньому поясі.

Отже, система диференціальних рівнянь суттєво спрощується і набуває вигляду системи (3). Розв'язок її є набагато простішим, ніж системи (1).

$$\begin{aligned}
1. & \left(\frac{a^2}{EI} - \frac{1}{EA} - \frac{b^2}{EI} \right) T_{i-1}'' + \left(2 \frac{a^2}{EI} - 2 \frac{1}{EA} - 2 \frac{b^2}{EI} \right) T_i'' + \left(\frac{a^2}{EI} - \frac{1}{EA} - \frac{b^2}{EI} \right) T_{i+1}'' + \frac{b}{EI} M''s_{i-1} - \frac{2b}{EI} M''s_i + \\
& + \frac{b}{EI} M''s_{i+1} + \frac{a}{EI_r} M''h_{i-1} + \frac{a}{EI_r} M''h_{i+1} - \frac{a}{EI_r} M''n_{i-1} - \frac{a}{EI_r} M''n_{i+1} = \frac{b}{EI} M''q_i - \frac{b}{EI} M''q_{i+1}; \\
2. & \frac{b}{EI} T_{i-1} + 2 \frac{b}{EI} T_i + \frac{b}{EI} T_{i+1} - \frac{1}{EI} M''s_{i-1} + 2 \frac{1}{EI} M''s_i - \frac{1}{EI} M''s_{i+1} + \frac{a^2}{GI} M''s_{i-1} + 2 \frac{a^2}{GI} M''s_i + \\
& + \frac{a^2}{GI} M''s_{i+1} + \frac{ab}{GI} M''h_{i-1} - \frac{ab}{GI} M''h_{i+1} + \frac{ab}{GI} M''n_{i-1} - \frac{ab}{GI} M''n_{i+1} = -\frac{1}{EI} M''q_i + \frac{1}{EI} M''q_{i+1}; \\
3. & \frac{1}{GI} M''s_{i-1} - \frac{1}{GI} M''s_{i+1} + \frac{b}{GI} M''h_{i-1} - 2 \frac{b}{GI} M''h_i + \frac{b}{GI} M''h_{i+1} + \frac{b}{GI} M''n_{i-1} - \\
& - 2 \frac{b}{GI} M''n_i + \frac{b}{GI} M''n_{i+1} = 0; \\
4. & \frac{a}{EI_r} T_{i-1} - \frac{b}{EI_r} T_{i+1} + \frac{ba}{GI} M''s_{i-1} - \frac{ba}{GI} M''s_{i+1} + \frac{1}{EI_r} Mh_{i-1} - 2 \frac{1}{EI_r} Mh_i + \frac{1}{EI_r} Mh_{i+1} + \\
& + \frac{b^2}{GI} M''h_{i-1} - 2 \frac{b^2}{GI} M''h_i + \frac{b^2}{GI} M''h_{i+1} - \frac{1}{EI_r} Mn_{i-1} + 2 \frac{1}{EI_r} Mn_i - \frac{1}{EI_r} Mn_{i+1} + \frac{b \cdot b_1}{GI} M''n_{i-1} - \\
& - 2 \frac{b \cdot b_1}{GI} M''n_i + \frac{b \cdot b_1}{GI} M''n_{i+1} = 0.
\end{aligned} \tag{3}$$

Така система в загальному випадку є досить громіздкою і важкою для розв'язання. Але при представленні рішень у вигляді рядів Фур'є (4), як показано в працях [1, 6], системи (1) та (3) перетворюються в системи лінійних рівнянь

$$\begin{aligned}
Ms_i(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} Ms_i \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x; \quad T_i(x) = \sum_{n=1}^{\infty} T_i \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x; \\
Mh_i(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} Mh_i \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x; \quad Mn_i(x) = \sum_{n=1}^{\infty} Mn_i \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x; \\
Mn_i(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} Mn_i \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x.
\end{aligned} \tag{4}$$

Особливістю розв'язання цієї системи є представлення функції згинальних моментів від дії зовнішнього навантаження у вигляді ряду Фур'є (5)

$$Mq_i(x) = \sum_{n=1}^{\infty} Mq_i \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x. \tag{5}$$

Так, при завантаженні структурної сталезалізобетонної конструкції по смузі навантаженням q коефіцієнти ряду Фур'є будуть визначені за формулою (6)

$$Mq_i = \frac{2}{l} \int_0^l \left(\frac{ql}{2} x - \frac{qx^2}{2} \right) \sin \frac{\pi n \cdot x}{l} dx = \frac{4ql^2}{n^3 \pi^3}. \tag{6}$$

Аналогічно до цього можуть представлятися у вигляді рядів Фур'є функції моментів від інших типів завантаження, методика визначення яких наведена в роботі [3]. При більш складних навантаженнях (навантаження на конструкцію q є змінним по довжині) можливий варіант, коли навантаження задається чисельно в табличній формі. Іншим варіантом є неосьове прикладення навантаження, в такому випадку після поділу конструкції на

окремі лінійні елементи необхідно додати в рівняння сумісності деформацій додаткові члени, як це показано в праці [3].

Якщо навантаження прикладене не вертикально, тоді його необхідно розкласти на складові вздовж осей x і z . Складові зовнішнього навантаження враховуються в системі диференціальних рівнянь за допомогою додавання додаткових членів.

Результатом розв'язку даної системи рівнянь є зусилля, що діють у поздовжніх перерізах конструкції. Для визначення зусиль в елементах конструкції необхідно прикласти отримані зусилля, які діють у перерізі конструкції, до лінійної конструкції. Далі лінійну конструкцію розраховують за допомогою відомих методів будівельної механіки.

Висновки. Із застосуванням розробленого методу можна здійснювати дослідження напружено-деформованого стану просторових сталезалізобетонних структурних конструкцій при будь-якому завантаженні та при інших різних умовах роботи. Також можливо досліджувати роботу місця з'єднання лінійних елементів і закладних деталей збірної сталезалізобетонної структурної конструкції, враховуючи дійсні умови роботи конструкції та дію нерівномірного навантаження.

Отримана методика дозволяє враховувати пошкодження як верхнього, так і нижнього поясів сталезалізобетонної структурної конструкції.

Характерною особливістю даного методу розрахунку є те, що за наявності різного роду пошкоджень та недоліків монтажу непотрібно задавати нову розрахункову схему. Наявність локальних пошкоджень у конструкції призводить до зміни жорсткостей по довжині. Тому для отримання зусиль конструкція розбивається на окремі ділянки певної довжини і сталої жорсткості, на ділянках із локальними пошкодженнями жорсткості необхідно визначати з їх урахуванням.

Література

1. Азизов Т.Н. Метод линейных конечных элементов для расчета строительных конструкций / Т.Н. Азизов // *Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць.* – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – Вип. 18. – С. 105 – 108.
2. Азизов Т.Н. Просторова робота залізобетонних перекритть: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.01 Будівельні конструкції будівлі та споруди / Т.Н. Азизов. – Полтава, 2006. – 34 с.
3. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий / Т.Н. Азизов. – К.: Науковий світ, 2001. – 276 с.
4. Гасій Г.М. Розрахунок вузлів сталезалізобетонної структурної конструкції за методом кінцевих елементів / Г.М. Гасій // *Будівельні конструкції: зб. наук. пр.* – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 119 – 124.
5. Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій / Л.І. Стороженко, В.М. Тимошенко, О.В. Нижник, Г.М. Гасій, С.О. Мурза. – Полтава: АСМІ, 2008. – 262 с.
6. Стороженко Л.І. Статичний розрахунок сталезалізобетонних структурних конструкцій при нерівномірному завантаженні / Л.І. Стороженко, С.О. Мурза // *Дороги і мости.* – К.: ДДНДІ імені М.П. Шульгіна, 2007. – С. 218 – 220.
7. Стороженко Л.І. Розподіл зусиль в елементах сталезалізобетонної структурної конструкції при нерівномірному завантаженні / Л.І. Стороженко, С.О. Мурза // *Будівельні конструкції.* – К.: ДНДІБК, 2008. – С. 72 – 78.
8. Стороженко Л.І. Визначення зусиль в структурних сталезалізобетонних конструкцій при локальних пошкодженнях / Л.І. Стороженко, С.О. Мурза // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. №50.* – Д.: ПГАСА, 2009. – С. 550 – 554.

9. Стороженко Л.І. Розрахунок закладних деталей сталезалізобетонної структурної конструкції при нерівномірному завантаженні / Л.І. Стороженко, С.О. Мурза // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип. 18. – Рівне, 2009. – С. 348 – 353.

10. Особливості сталезалізобетонних структурних покриттів та їх будівництва / Л.І. Стороженко, Л.І. Сердюк, В.М. Тимошенко, О.В. Нижник, Г.М. Гасій // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – Вип. 18. – С. 90 – 96.

Надійшла до редакції 10.02. 2010

© С.О. Мурза