

УДК 624.21.004.69

І.Г. Іваник

НУ “Львівська політехніка”, ГНДЛ-88

ПРОСТОРОВИЙ РОЗРАХУНОК ПЕРЕХРЕСНО-РЕБРИСТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СИСТЕМ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ПОДАТЛИВОСТІ ВУЗЛІВ*

© Іваник І.Г., 2000

У статті наведена методика просторового розрахунку перехресно-ребристих залізобетонних систем і розроблено математичний апарат, який базується на використанні рівняння п'яти моментів, для обчислення невідомих згинальних моментів і прогинів у перерізах конструкції.

ОСНОВНА СИСТЕМА РІВНЯНЬ СТАТИКИ

Розрахункову модель прогонової будови перехресної стрижневої статично невизначеної системи (рис.1) [1, 2] представимо у вигляді системи взаємодіючих балок на пружно-осідаючих опорах, якими служать балки іншого напрямку (рис.2, а). Пружно-осідаючою опорою називатимемо таку опору, переміщення якої пропорційне діючому на неї тиску. Прикладами таких опор можуть служити гнучкі колони, на яких лежать нерозрізні балки, поперечні (поздовжні) балки прогонової будови моста, понтони, які служать опорами наплавного моста.

Згідно з методикою, описаною в роботі [3], у вузлах взаємного перетину балок обидвох напрямків введемо уявні шарніри і, відповідно, прикладемо невідомі вузлові згинальні моменти (рис.2, а). Отже, вважатимемо, що балка одного напрямку зв'язана шарнірно зі своїми опорами (балками іншого напрямку), хоча така розрахункова схема є лише наближеною до дійсної конструкції.

У просторовій перехресно-ребристій конструкції (рис.1) при відомих геометричних і механічних характеристиках матеріалів і розрахунковій схемі невідомими є вертикальні переміщення (прогини) і зусилля – пружні реакції в вузлах системи. Відповідно невідомими будуть і коефіцієнти податливості пружних опор, оскільки коефіцієнт податливості невід'ємно зв'язаний з невідомою в певному вузлі його пружною реакцією. Коефіцієнтом податливості (пружним осіданням опори внаслідок взаємодії балок обидвох напрямків) називатимемо вертикальне переміщення пружної опори, яке зумовлене одиничною силою і записується за відомою з будівельної механіки формулою – $c = a / (EF)$. Коефіцієнт, який належить до опори e,f позначимо через $c_{e,f}$. У деяких випадках використовують зворотний коефіцієнт $r_{e,f} = 1 / c_{e,f}$, який виражає собою силу, необхідну для одиничного переміщення опори, і названий коефіцієнтом жорсткості або коефіцієнтом пружності опори.

* Робота виконана під керівництвом доцента, канд. техн. наук В.Г.Квашиї.

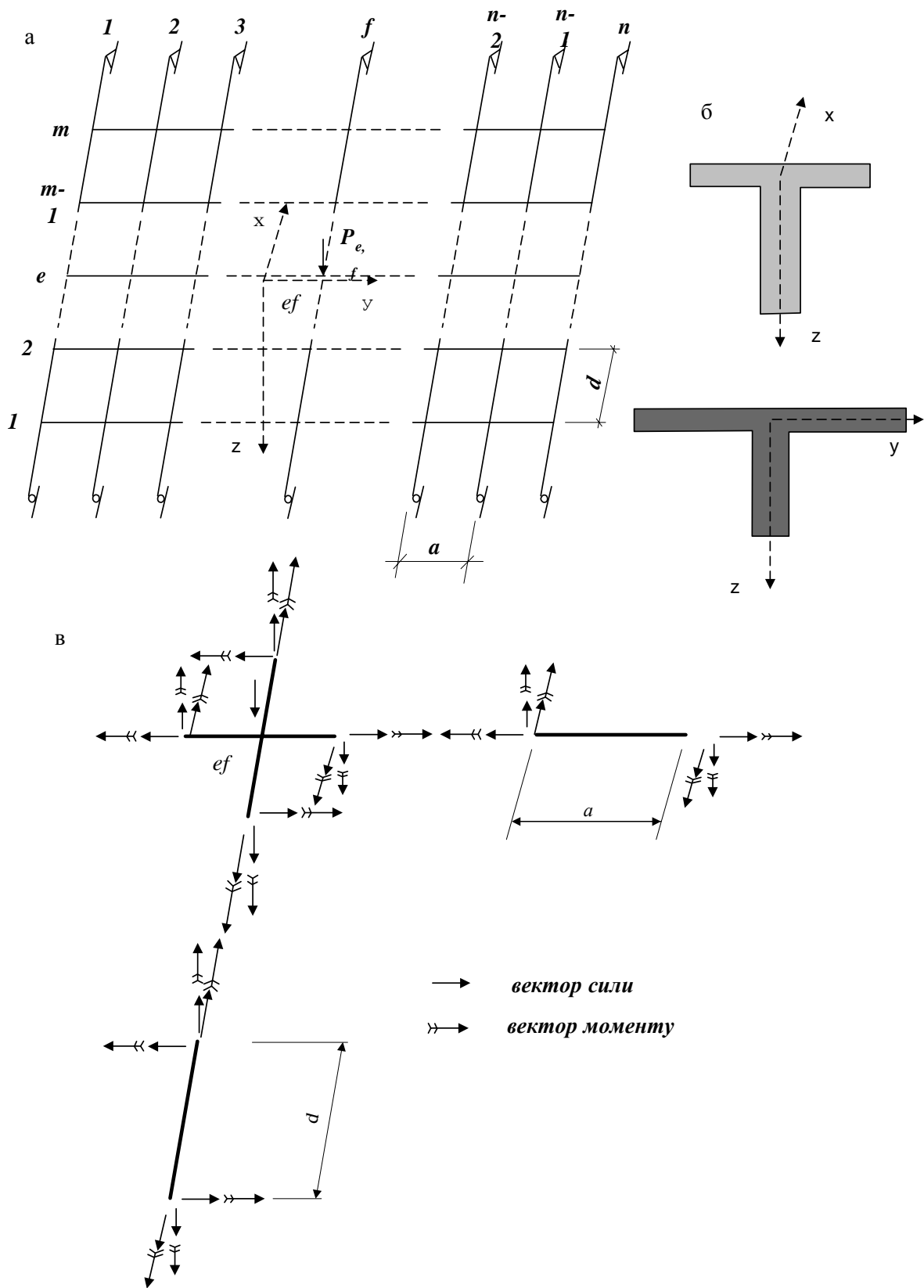


Рис.1. Розрахункова схема перехресно-ребристої системи:
 а – суміщені в одній площині осі поздовжніх (вісь Ox) і поперечних (вісь Oy) балок;
 б – поперечні перерізи поздовжніх і поперечних балок;
 в – компоненти внутрішніх зусиль в вузлах і в стрижнях між вузлами.

Поведінка пружних опор повністю визначається їхнім коефіцієнтом податливості $c_{e,f}$.
За вихідне рівняння використовуємо рівняння п'яти моментів, яке для опори e, f в напрямку осі OX матиме вигляд

$$\delta_{xe-2,f} M_{xe-2,f} + \delta_{xe-1,f} M_{xe-1,f} + \delta_{xe,f} M_{xe,f} + \delta_{xe+1,f} M_{xe+1,f} + \delta_{xe+2,f} M_{xe+2,f} + \Delta_{e,f} P = 0 \quad (1)$$

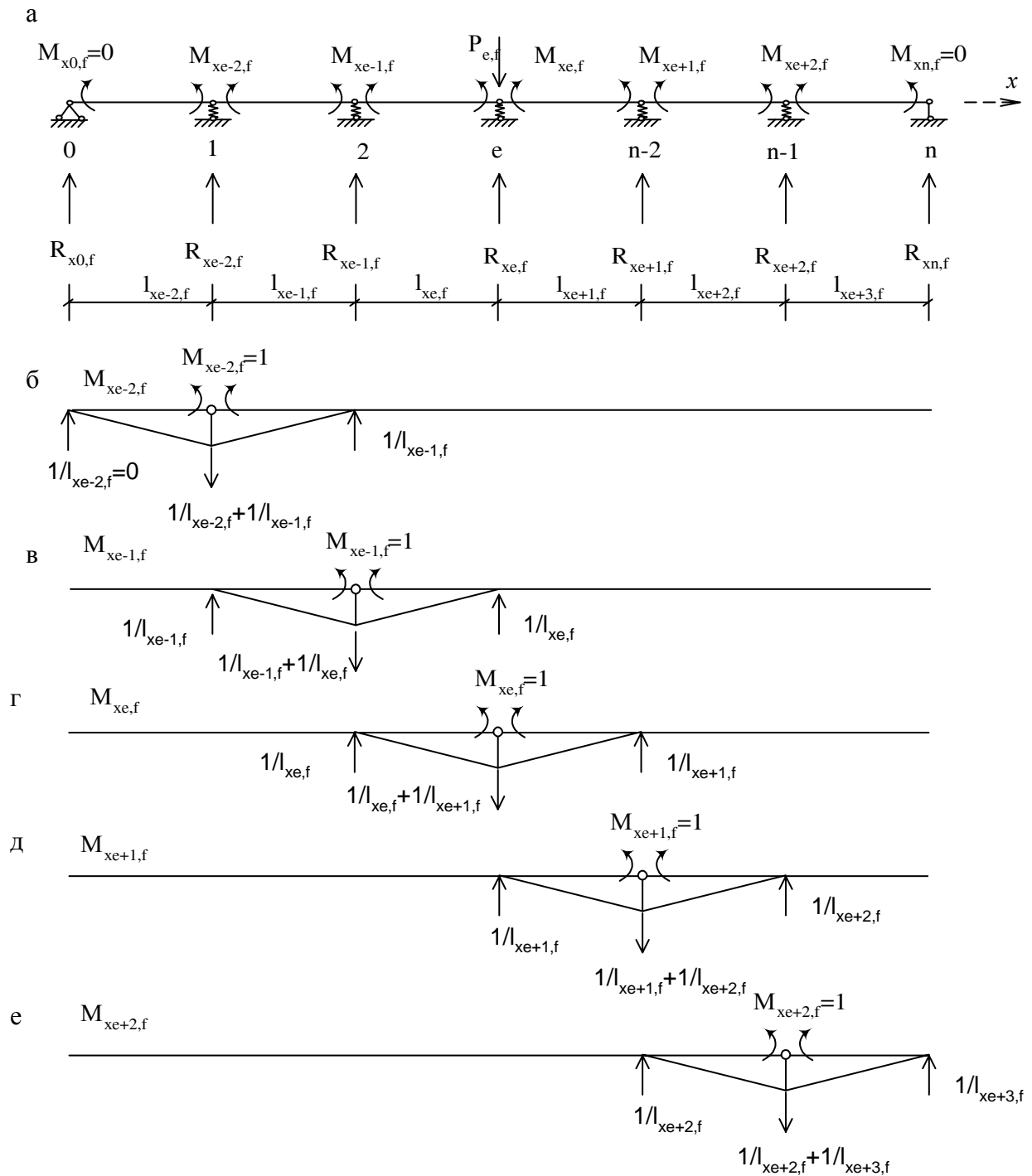


Рис.2. Основна система для балки на пружно-зміщуваних опорах.

Побудуємо епюри згинальних моментів (рис.1, б–е), які спричинені одиничними значеннями згаданих невідомих і обчислимо коефіцієнти канонічних рівнянь.

Зовнішнє навантаження прийнято вузловим (діє в шарнірі). Будь-який вказаний згинальний момент зумовлює в основній системі пружні реакції, в крайньому випадку в одному з вузлів $e-1,f$, e,f , $e+1,f$, і, відповідно, взаємний кут повороту обидвох суміжних перерізів, шарнірно об'єднаних на опорі e,f . Моменти в більш віддалених вузлах не викликають в них ніяких зусиль.

Під час обчислення коефіцієнтів і вільних членів цих рівнянь розглядаємо взаємодію в перерізах елементів згинальних моментів і пружних реакцій в опорах. Коефіцієнти рівняння (1) знаходимо перемноженням відповідних епюр (рис.1, б–е)

$$\delta_{xe-2,f} = c_{xe-1,f} / (I_{xe-1,f} * I_{xe,f}); \quad (2)$$

$$\delta_{xe-1,f} = I_{xe,f} / (6 * E * I_{xe,f}) - c_{xe-1,f} / I_{xe,f} * (1 / l_{xe-1,f} + 1 / l_{xe}, - c_{xe1,f} / I_{xe,f} * (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f})); \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \delta_{xe,f} = & I_{xe,f} / (3 * E * I_{xe,f}) + I_{xe+1,f} / (3 * E * I_{xe+1,f}) + c_{xe-1,f} / I_{xe,f}^2 + \\ & + c_{xe,f} / (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f})^2 + c_{xe+1,f} / I_{xe+1,f}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Коефіцієнти $\delta_{xe+1,f}$, $\delta_{xe+2,f}$ запишуться аналогічно, як і коефіцієнти $\delta_{xe-1,f}$ і $\delta_{xe-2,f}$. Вільний член в загальному вигляді виразимо формулою

$$\begin{aligned} \Delta_{e,fP} = & \sum \frac{M_{xe,f} M_{xe,fP}}{E I_{xe,f}} + \sum \frac{R_{xe,f} * R_{xe,fP}}{E A_{xe,f}} = \\ = & \frac{B_{xe,f}^{\Phi}}{E I_{xe,f}} + \frac{K_{xe+1,f}^{\Phi}}{E I_{xe+1,f}} + \frac{c_{xe-1,f} R_{xe-1,f}}{l_{xe,f}} - c_{xe,f} R_{xe,f} \left(\frac{1}{l_{xe,f}} + \frac{1}{l_{xe+1,f}} \right) + \\ & + \frac{c_{xe+1,f} R_{xe+1,f}}{l_{xe+1,f}} \end{aligned} \quad (5)$$

де через $R_{xe-1,f}$, $R_{xe,f}$, $R_{xe+1,f}$ позначено пружні реакції опор $e-1,f$, e,f , $e+1,f$, отримані внаслідок розподілу зовнішнього навантаження в просторовій стрижневій моделі; через $B_{xe,f}^{\Phi} = -K_{xe,f}^{\Phi} = 0$ позначено фіктивні реакції опор e,f в e,f і $e+1,f$ прольотах, дорівнюють нулю в зв'язку з вузловим прикладанням зовнішнього зусилля P .

Рівняння (1) з врахуванням виразів (2)–(5) матиме вигляд

$$\begin{aligned} M_{xe-2,f} * c_{xe-1,f} / (I_{xe-1,f} * I_{xe,f}) + M_{xe-1,f} * [I_{xe,f} / (6 * E * I_{xe,f}) - c_{xe-1,f} / I_{xe,f} * (1 / l_{xe-1,f} + 1 / l_{xe,f}) - \\ - c_{xe,f} / I_{xe,f} * (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f})] + M_{xe,f} * [I_{xe,f} / (3 * E * I_{xe,f}) + I_{xe+1,f} / (3 * E * I_{xe+1,f}) + \\ + c_{xe-1,f} / I_{xe,f}^2 + c_{xe,f} / (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f})^2 + c_{xe+1,f} / I_{xe+1,f}^2] + \\ + M_{xe+1,f} * [I_{xe+1,f} / (6 * E * I_{xe+1,f}) - c_{xe,f} / I_{xe+1,f} * (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f}) - \\ - c_{xe+1,f} / I_{xe+1,f} * (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f})] + M_{xe+2,f} * c_{xe+1,f} / (I_{xe+1,f} * I_{xe+1,f}) + c_{xe-1,f} * R_{xe-1,f} / I_{xe,f} - \\ - c_{xe,f} * R_{xe,f} * (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f}) + c_{xe+1,f} * R_{xe+1,f} / l_{xe+1,f} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Аналогічно записується рівняння п'яти моментів для балок іншого напрямку.

Прогин на опорі e,f нерозрізної балки в напрямі OX в загальному випадку дорівнює сумарній реакції цієї опори, помножений на коефіцієнт податливості $c_{xe,f}$

$$y_{xe,f} = c_{xe,f} * [M_{xe-1,f} / l_{xe,f} - M_{xe,f} * (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f}) + M_{xe+1,f} / l_{xe+1,f}] + c_{xe,f} * R_{xe,f} \quad (7)$$

в напрямі OY

$$y_{ye,f} = c_{ye,f} * [M_{ye1,f-1} / l_{ye,f} - M_{ye,f} * (1 / l_{ye,f} + 1 / l_{ye,f+1}) + M_{ye,f+1} / l_{y1,f+1}] + c_{ye,f} * R_{ye,f} \quad (8)$$

Вирази (7) і (8) відображають один і той самий прогин в вузлі e,f. Прирівнявши праві частини цих виразів, отримуємо рівняння, яке відображає **статичну рівновагу зусиль** в вузлі e,f з врахуванням податливості опор

$$\begin{aligned} & c_{xe,f} * [M_{xe-1,f} / l_{xe,f} - M_{xe,f} * (1 / l_{xe,f} + 1 / l_{xe+1,f}) + M_{xe+1,f} / l_{xe+1,f}] - \\ & - c_{ye,f} * [M_{ye1,f-1} / l_{ye,f} - M_{ye,f} * (1 / l_{ye,f} + 1 / l_{ye,f+1}) + M_{ye,f+1} / l_{ye,f+1}] + \\ & + c_{xe,f} * R_{xe,f} - c_{ye,f} * R_{ye,f} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Розв'язок цього рівняння – це результат розподілу зовнішнього навантаження $P_{e,f}$ в вузлах системи залежно від геометричної схеми прийнятої математичної моделі. Вираз у квадратних дужках дорівнює реакції, яка зумовлена опорними моментами, а $c_{xe,f} * R_{xe,f}$ ($c_{ye,f} * R_{ye,f}$) – прогин в основній системі від зовнішнього вузлового навантаження. Відмітимо, що тільки в навантаженому вузлі e,f виконується рівність $R_{xe,f} + R_{ye,f} = P_{e,f}$.

Рівняння статичної рівноваги зусиль (1.9) з врахуванням певних спрощень матиме вигляд

$$1/d [M_{xe-1,f} - 2M_{xe,f} + M_{xe+1,f}] + 1/a [M_{ye,f-1} - 2M_{ye,f} + M_{ye,f+1}] + P_{e,f} = 0. \quad (10)$$

СИСТЕМА РІВНЯНЬ НЕРОЗРИВНОСТІ ДЕФОРМАЦІЙ

Рівняння статики (10) ($i_{cm} = m \cdot n$) недостатньо для визначення невідомих згинальних моментів M_x і M_y ($i_m = i_x + i_y = m \cdot n + m \cdot (n - 2) = 2 \cdot m \cdot n - 2 \cdot mn$). Враховуючи це, до системи рівнянь (10) необхідно додати додаткові рівняння нерозривності деформацій.

Згрупувавши в рівнянні (6) члени з однаковими коефіцієнтами податливості, після певних математичних операцій отримуємо

для n-x балок напрямку OX рівняння

$$\begin{aligned} & M_{xe-1,f} \cdot d / (6 EJ_{xe-1,f}) + 2 M_{xe,f} \cdot d / (3 EJ_{xe,f}) + M_{xe+1,f} \cdot d / (6 EJ_{xe+1,f}) + \\ & + \delta_{xe,f-1} / d - 2\delta_{xe,f} / d + \delta_{xe+1,f} / d = 0; \end{aligned} \quad (11)$$

для m-x балок по осі OY

$$\begin{aligned} & M_{ye,f-1} \cdot a / (6 EJ_{ye,f-1}) + 2 M_{ye,f} \cdot a / (3 EJ_{ye,f}) + M_{ye,f+1} \cdot a / (6 EJ_{ye,f+1}) + \\ & + \delta_{ye,f-1} / a - 2\delta_{ye,f} / a + \delta_{ye,f+1} / a = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Рівняння (11) і (12) відображають нерозривність зусиль і прогинів просторової системи.

Отримані таким способом рівняння статики (10) і нерозривності деформацій (11), (12) аналогічні виведеним раніше рівнянням, які відображені в роботах [1, 2].

У рівнянні (10) в прийнятій розрахунковій схемі кількість поперечних балок e може змінюватися від 1 до m, а кількість поздовжніх балок f – від 1 до n; у рівняннях (11), (12) кількість поперечних балок e може змінюватися від 1 до m, а кількість поздовжніх балок f відповідно в рівнянні (11) – від 1 до n, у рівнянні (12) – від 2 до n-1.

Отримана таким способом система рівнянь вміщує $m \cdot n$ невідомих згинальних моментів M_x , $m \cdot (n-2)$ – згинальних моментів M_y , $m \cdot n$ – прогинів δ . У цілому система $L = 3 \cdot m \cdot n - 2n$ раз статично невизначена за умови відсутності дефектів, що впливали б на запис граничних умов (10)–(12).

Крайовими умовами рівняння (10) будуть

$$\begin{aligned} & M_{x(e=0),f} = M_{x(e=e+1),f} = 0, \\ & M_{y(e=1),f} = M_{y(e=f=n)} = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Крайовими умовами рівнянь (11), (12) будуть умови (13) і

$$\delta_{x(e=0),f} = \delta_{x(e=e+1),f} = 0. \quad (14)$$

Запропонована методика просторового розрахунку перехресно-ребристих систем залізобетонних конструкцій з врахуванням податливості вузлів дає можливість обчислити напружено-деформований стан у перерізах системи. Одержані рівняння статички і нерозривності деформацій представляють систему скінченних лінійних алгебраїчних рівнянь, яка є достатньою для визначення невідомих згинальних моментів M_x , M_y і прогинів δ .

1. Кваша В.Г. *Інженерний метод просторового розрахунку перехресно-ребристих балочних залізобетонних систем* // Тез. доп. "Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання". К., 4–6 жовт. 1994. С.122.
2. Кваша В.Г., Іваник І.Г. *Інженерний метод просторового розрахунку плитно-ребристих залізобетонних систем. Проблеми теорії і практики залізобетону* // Ювілейна міжнар. наук.-техн. конф., присвячена 100-річчю від дня народження д.т.н. проф. М.С.Торяника: Зб. наук. статей. Полтава, 29–31 жовт. 1997. С.186–189.
3. Кваша В.Г., Попович Б.С., Іваник І.Г. *До розрахунку залізобетонних балок зі змінною по довжині жорсткістю* // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1997. № 335. С.56–62.

УДК 666.635:666.9.022.3

І.С. Івасів, В.О. Каганов, З.С. Паламар

НУ "Львівська політехніка", кафедра будівельного виробництва, "ЛьвівбудмНДІпроект"

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВСУХОГО ВІБРОПРЕСУВАННЯ ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНОЇ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ ЦЕГЛИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РЕСТАВРАЦІЙНИХ РОБІТ

© Івасів І.С., Каганов В.О., Паламар З.С., 2000

У статті висвітлені особливості технології виготовлення стінових силікатних елементів для проведення відновлювально-реставраційних робіт на конкретних об'єктах, збудованих у м.Львові на початку ХХ ст.

У березні-квітні 1999 р. Львівський державний науково-проектний інститут "ЛьвівбудмНДІпроект" у співпраці з кафедрою будівельного виробництва Національного університету "Львівська політехніка" виконував науково-дослідну роботу з розробки складу формувальної суміші та технології виготовлення облицювальної цегли для ремонту фасаду "Будинку науки і техніки" по вул.Федьковича у Львові.

Фасад цього будинку був облицьований піщано-вапняною цеглою, виготовленою ручним способом методом трамбування в формах. Облицювання фасаду цього будинку було виконано фігурною кладкою і частина цегли виступає з площини стіни. У зв'язку з тим, що у Львові на час виготовлення в промисловості будівельних матеріалів ще не застосовували автоклавну обробку, то тверднення цегли відбувалося в нормальних умовах.