УДК 514.18

Скочко Володимир Ігорович
Кандидат технічних наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1709-2621
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АЛГОРИТМ РОЗВАНТАЖЕННЯ ОКРЕМИХ ОПОР СТРИЖНЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ШАРНІРНИМ ВУЗЛОВИМ СПОЛУЧЕННЯМ

Анотація. *В роботі описаний математичний алгоритм зміни величини навантаження на досліджуваний опорний вузол, що базується на комплексному перерозподілі внутрішніх зусиль або параметрів жорсткості в усіх стрижнях конструкції. При цьому застосовується той же принцип, що й при управлінні формою конструкції шляхом системного розв'язання параметричних рівнянь кожного стрижня із поправкою на плановані зміни величин компонентів опорної реакції.*

Ключові слова: системне розв'язання; стрижневі конструкції; параметричні рівняння стану; формоутворення; дискретна геометрія

Постановка проблеми

Особливості стрижневих конструкцій з шарнірним сполученням усіх в'язей проявляються у простоті та відносній передбачуваності їх роботи у навантаженому стані. За відсутності згинальних моментів кожен стрижень конструкції працює лише на стиск або на розтяг. Це дозволяє досить просто здійснювати процес формоутворення стрижневих конструкцій засобами класичної теоретичної механіки та дискретної геометрії [1, 2, 3]. Якщо прийняти умову, що для кожного стрижня моделі, який сполучає довільні *i*-й та *j*-й її вузли, відношення величини внутрішнього зусилля $R_{i,j}$ до його довжини $\delta_{i,j}$, буде задане сталим:

$$\aleph_{i,j} = R_{i,j}/\delta_{i,j} = const_{i,j}, \qquad (1)$$

то рівняння рівноваги кожного *i*-го вільного вузла приймуть наступну форму:

$$\sum_{j=1}^{n}\left(s_j - s_i\right)\cdot \aleph_{i,j} + \Im_{si} = 0, \qquad (2)$$

де s – узагальнене позначення координат; $\overline{\Im}_i$ – вектор поля (в найбільш загальному випадку) зовнішніх навантажень у *i*-му вузлі; n – кількість вузлів конструкції, суміжних із даним (*i*-м); $\aleph_{i,j}$ – параметр жорсткості стрижня, який сполучає відповідно *i*-й та *j*-й вузли. На практиці величини параметрів жорсткості не можуть бути завжди сталими і змінюються в залежності від характеру розподілу та величини вузлових навантажень $\overline{\Im}_i$ в кожному стрижні конструкції індивідуально. Тому рівняння (2) виражає найбільш узагальнену форму такого підходу. Формоутворення моделі здійснюється шляхом розв'язання системи рівнянь (2), складених для координат усіх вільних вузлів моделі. Маючи координати вузлів конструкції не складно визначити й величини опорних реакцій.

Існує цілий ряд класичних будівельних проблем, що можуть сильно ускладнити або навіть повністю унеможливити розміщення опор стрижневих конструкцій у тому чи іншому проектному місці. Так, наприклад, якщо опори (опорні вузли у складі моделі) конструкції передають навантаження безпосередньо на ґрунтову основу, то у зв'язку з неоднорідними властивостями останньої може виникнути необхідність локально перерозподілити опорні зусилля таким чином, щоб досягти рівномірних деформацій (осадки, просадки, усадки або горизонтальних переміщень) ґрунтового масиву під усіма ділянками споруди. Для вирішення цієї задачі потрібно корегувати конфігурацію форми стрижневої системи або змінювати принцип розподілу експлуатаційних навантажень на її вузли. При цьому змінювати топологічні ознаки системи в більшості випадків не бажано, так як це може вплинути на концептуальну цілісність та візуальне сприйняття конструкції загалом.

Формулювання цілей та завдання публікації

Зважаючи на вище сказане, визначимо математичний алгоритм, що дозволить системно перерозподіляти реактивні зусилля в опорних вузлах, цілеспрямовано розвантажуючи (або довантажуючи) окремі з них шляхом варіювання параметрів жорсткості стрижнів конструкції без зміни топології останньої.

Аналіз основних досліджень

В якості основного інструменту для реалізації поставленої мети використаємо математичний апарат, комплексного корегування форми сітчастих структур, продемонстрований в роботах [4, 5]. Його принцип полягає у наступному. Для системного контролю параметрів жорсткості кожного зі стрижнів необхідно скласти відповідну кількість параметричних рівнянь їх стану. При цьому в якості параметрів кожного зі стрижнів можна прийняти або величини внутрішніх зусиль $R_{i,j}$, або параметри жорсткості стрижнів $\aleph_{i,j}$, які пов'язані залежністю (1). В найбільш загальній та простій формі, адаптованій для будь-яких топологічних особливостей стрижневої системи, параметричні рівняння мають наступний вигляд [6, 7]:

1) для стержня S_aS_b І-го типу, що сполучає два вільних (навантажених) вузли – a-й та b-й:

$$\sum_{i=1}^{m-1}\delta_{a,i}^{2}\cdot\aleph_{a,i}+\chi\cdot\delta_{a,b}^{2}\cdot\aleph_{a,b}+ \\ +\sum_{j=1}^{n-1}\delta_{b,j}^{2}\cdot\aleph_{b,j}-\left(\varphi_a+\varphi_b\right)+B_{a,b}=0; \quad (3)$$

2) для стержня S_aS_{fix} ІІ-го типу, що сполучає один вільний a-й (навантажений) та один базовий (опорний) fix-й вузли:

$$\sum_{i=1}^{m-1}\delta_{a,i}^{2}\cdot\aleph_{a,i}+\chi\cdot\delta_{a,fix}^{2}\cdot\aleph_{a,fix}+ \\ +\left(R_{x\,fix}\cdot x_{fix}+R_{y\,fix}\cdot y_{fix}+R_{z\,fix}\cdot z_{fix}\right)- \\ -\varphi_a+B_{a,fix}=0. \quad (4)$$

Тут: $\delta_{i,j}$ та $\aleph_{i,j}$ – довжина в'язі між i-м й j-м вузлами та параметр її жорсткості; $R_{x\,fix}$, $R_{y\,fix}$ та $R_{z\,fix}$ – проекції вектора реакції опори; φ_i – функція скалярного потенціалу векторного поля впливу в i-му вузлі, тобто:

$$\Im_{s_i}=\partial\varphi_i/\partial s_i; \quad (5)$$

m та n – кількість вузлів суміжних із a-м та b-м (або fix-м) вузлами відповідно; $B_{i,j}$ – константа, що є сумарним результатом операцій інтегрування рівнянь типу (1) та заміни діагональних елементів матриці коефіцієнтів системи параметричних рівнянь на відмінні від $2\cdot\delta^2_{i,j}$ (або нульові) елементи типу $\chi\cdot\delta^2_{i,j}$; χ – деяке невід'ємне число, що обумовлює швидкість та ймовірність збіжності ітераційного числення.

В матричній формі алгоритм застосування рівнянь (2) – (4) ілюструє циклічний ітераційний процес, що здійснюється шляхом послідовного вирішення наступних тотожностей:

$$\left[s^p\right]=\left[\aleph^{p-1}\right]^{-1}\cdot\left(-\left[g^{p-1}\right]-\left[\Im^p\right]\right), \quad (6)$$

$$\left\{\aleph^p\right\}=\left[\left(\delta^p\right)^2\right]^{-1}\cdot\left(\left\{\varphi^{/p}\right\}-\left\{\varphi^p\right\}+\left[\left(\delta^p\right)^2\right]\cdot\left\{\aleph^{p-1}\right\}\right). \quad (7)$$

Тотожність (6) відповідає розв'язку системи рівнянь типу (2), а тотожність (7) – розв'язку системи рівнянь типу (3) і (4). Тут: [s], [g] та [$\Im$] – матриці координат, крайових умов та зовнішніх впливів відповідно (розмірністю $k\times3$); [$\aleph$] – матриця параметрів жорсткості стрижневої структури (розмірністю $k\times k$), що характеризує топологію останньої; k – кількість вільних вузлів моделі. {$\aleph$} – вектор-стовпець параметрів жорсткості сітчастої структури, який містить параметри жорсткості всіх в'язей моделі; {φ} та {$\varphi^/$} – відповідно вектор-стовпці реальних (поточних) та бажаних показників вузлових скалярних потенціалів; {B} – вектор-стовпець операційних констант, які є наслідками побудови параметричних рівнянь стану в'язей моделі; [δ^2] – матриця геометричних параметрів стрижневої структури (розмірністю $h\times h$); h – кількість стрижнів моделі; p – індекс, що відповідає порядковому номеру циклу корегування моделі. Корегування моделі на кожному етапі ітераційного циклу відбувається шляхом заміні поточних величин вузлових потенціалів на бажані.

Основна частина

Очевидно, що сформульований вище принцип корегування параметрів стрижнів конструкції не може бути використаний для вирішення поставленої задачі, оскільки величини вузлових потенціалів лише опосередковано пов'язані з опорними реакціями. Слід зауважити, що в системі (6) – (7) величини опорних реакцій не фігурують у явній формі, однак це відбувається лише тому, що вони залишаються незмінними до і після підстановки потенціалів, а тому самоскорочуються при кожній ітерації.

Відтак, необхідно ввести корективи до тотожності (7), замінивши цільові функції зі скалярного потенціалу на величини компонентів опорних реакції.

Сформуємо систему рівнянь (3) – (4) у матричній формі до початку розв'язання. Всі компоненти системи запишемо у розгорнутому вигляді, окремо виділивши елементи, що відносяться до стрижнів І-го та ІІ-го. Вважатимемо, що кількість стрижнів І-го типу становить q. Кількість стрижнів обох типів, як і раніше становитиме h. Сама система матиме вигляд:

$$\left[\delta^2\right]\cdot\{\aleph\}-\{\varphi\}+\{B\}=0. \tag{8}$$

Вектор-стовпець параметрів жорсткості сітчастої структури $\{\aleph\}$ матиме наступний вид:

$$\begin{aligned}\{\aleph\}^T=\Big[&\aleph_{a,b\ 1}\quad \aleph_{a,b\ 2}\quad \ldots\quad \aleph_{a,b\ q}\ \rightarrow\\ &\rightarrow\ \aleph_{a,fix\ q+1}\quad \aleph_{a,fix\ q+2}\quad \ldots\quad \aleph_{a,fix\ h}\Big].\end{aligned} \tag{9}$$

Вектор-стовпець вузлових показників скалярного потенціалу $\{\varphi\}$ матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}\{\varphi\}^T=\Big[&\varphi_{a\,1}+\varphi_{b\,1}\quad \varphi_{a\,2}+\varphi_{b\,2}\ \ldots\ \varphi_{a\,q}+\varphi_{b\,q}\ \rightarrow\\ &\rightarrow\ const_{q+1}\quad const_{q+2}\quad \ldots\quad const_h\Big].\end{aligned} \tag{10}$$

Вектор-стовпець операційних констант $\{B\}$ матиме наступний вид:

$$\begin{aligned}\{B\}^T=\Big[&B_{a,b\ 1}\quad B_{a,b\ 2}\quad \ldots\quad B_{a,b\ q}\ \rightarrow\\ &\rightarrow B_{a,fix_{q+1}}+(R_{x\,fix}\cdot x_{fix}+R_{y\,fix}\cdot y_{fix}+R_{z\,fix}\cdot z_{fix})_{q+1}\ \rightarrow\\ &\rightarrow B_{a,fix_{q+2}}+(R_{x\,fix}\cdot x_{fix}+R_{y\,fix}\cdot y_{fix}+R_{z\,fix}\cdot z_{fix})_{q+2}\ \ldots\rightarrow\\ &\rightarrow B_{a,fix_h}+(R_{x\,fix}\cdot x_{fix}+R_{y\,fix}\cdot y_{fix}+R_{z\,fix}\cdot z_{fix})_h\Big].\end{aligned} \tag{11}$$

Матриця геометричних параметрів стрижневої структури $[\delta^2]$ матиме такий вигляд:

$$\left[\delta^2\right]=\begin{bmatrix}T & U\\ V & W\end{bmatrix}, \tag{12}$$

де блоки $[T]$, $[U]$, $[V]$ та $[W]$ матимуть форму:

$$[T]=\begin{bmatrix}\chi\cdot\delta^2_{a,b\ 1,1} & \delta^2_{a,b\ 1,2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ 1,q}\vee 0\\ \delta^2_{a,b\ 2,1}\vee 0 & \chi\cdot\delta^2_{a,b\ 2,2} & \cdots & \delta^2_{a,b\ 2,q}\vee 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \delta^2_{a,b\ q,1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ q,2}\vee 0 & \cdots & \chi\cdot\delta^2_{a,b\ q,q}\end{bmatrix}; \tag{13}$$

$$[U]=\begin{bmatrix}\delta^2_{a,b\ 1,q+1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ 1,q+2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ 1,h}\vee 0\\ \delta^2_{a,b\ 2,q+1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ 2,q+2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ 2,h}\vee 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \delta^2_{a,b\ q,q+1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ q,q+2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ q,h}\vee 0\end{bmatrix}; \tag{14}$$

$$[V]=\begin{bmatrix}\delta^2_{a,b\ q+1,1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ q+1,2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ q+1,q}\vee 0\\ \delta^2_{a,b\ q+2,1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ q+2,2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ q+2,q}\vee 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \delta^2_{a,b\ h,1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ h,2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ h,q}\vee 0\end{bmatrix}; \tag{15}$$

$$[W]=\begin{bmatrix}\chi\cdot\delta^2_{a,b\ q+1,q+1} & \delta^2_{a,b\ q+1,q+2}\vee 0 & \cdots & \delta^2_{a,b\ q+1,h}\vee 0\\ \delta^2_{a,b\ q+2,q+1}\vee 0 & \chi\cdot\delta^2_{a,b\ q+2,q+2} & \cdots & \delta^2_{a,b\ q+2,h}\vee 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \delta^2_{a,b\ h,q+1}\vee 0 & \delta^2_{a,b\ h,q+2}\vee 0 & \cdots & \chi\cdot\delta^2_{a,b\ h,h}\end{bmatrix}. \tag{16}$$

Тепер, зважаючи на специфіку елементного складу вектор-стовпця $\{B\}$, розділимо його на дві складові, що включатимуть власне операційні константи (вектор $\{B\}$) та компоненти опорних реакцій (вектор $\{R\}$) відповідно:

$$\begin{aligned}\{\aleph\}^T=\Big[&B_{a,b\ 1}\quad B_{a,b\ 2}\quad \ldots\quad B_{a,b\ q}\ \rightarrow\\ &\rightarrow\ B_{a,fix\ q+1}\quad B_{a,fix\ q+2}\quad \ldots\quad B_{a,fix\ h}\Big],\end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}\{R\}^T=\Big[&0_1\quad 0_2\quad \ldots\quad 0_q\ \rightarrow\\ &\rightarrow (R_{x\,fix}\cdot x_{fix}+R_{y\,fix}\cdot y_{fix}+R_{z\,fix}\cdot z_{fix})_{q+1}\ \rightarrow\\ &\rightarrow (R_{x\,fix}\cdot x_{fix}+R_{y\,fix}\cdot y_{fix}+R_{z\,fix}\cdot z_{fix})_{q+2}\ \ldots\rightarrow\\ &\rightarrow\ (R_{x\,fix}\cdot x_{fix}+R_{y\,fix}\cdot y_{fix}+R_{z\,fix}\cdot z_{fix})_h\Big].\end{aligned} \tag{18}$$

Враховуючи вирази (17) та (18), тотожність (8) можна переписати наступним чином для попереднього кроку ітераційного числення:

$$\left[\left(\delta^{p-1}\right)^2\right]\cdot\left\{\aleph^{p-1}\right\}-\left\{\varphi^{p-1}\right\}+\left\{B^{p-1}\right\}+\left\{R^{p-1}\right\}=0. \tag{19}$$

В роботі [3] було показано, що на кожному етапі ітераційного циклічного числення операційні константи $\{B\}$ залишаються сталими до і після заміни цільових функцій. Відтак, виразимо вектор $\{B\}$ з тотожності (19), враховуючи індекси номеру ітерації:

$$\left\{B^p\right\}=\left\{B^{p-1}\right\}=\left\{\varphi^{p-1}\right\}-\left[\left(\delta^{p-1}\right)^2\right]\cdot\left\{\aleph^{p-1}\right\}-\left\{R^{p-1}\right\}. \tag{20}$$

Підставимо значення вектора $\{B^{p-1}\}$ до рівності (19), записаної для поточного p-го кроку ітерацій, зважаючи на одночасну заміну цільової функції, якою в нашому випадку буде вектор бажаного значення компонентів опорних реакцій $\{R^{/p}\}$:

$$\begin{aligned}&\left[\left(\delta^p\right)^2\right]\cdot\left\{\aleph^p\right\}-\left\{\varphi^p\right\}+\left\{\varphi^{p-1}\right\}-\\ &-\left[\left(\delta^{p-1}\right)^2\right]\cdot\left\{\aleph^{p-1}\right\}-\left\{R^{p-1}\right\}+\\ &+\left(\left\{R^p\right\}-\left\{R^p\right\}+\left\{R^{/p}\right\}\right)=0.\end{aligned} \tag{21}$$

Беручи до уваги те, що розрахункові потенціали, опорні реакції та довжини стрижнів на поточному та попередньому кроках числення не змінюються (тобто: $\{\varphi^p\}=\{\varphi^{p-1}\}$, $\{R^p\}=\{R^{p-1}\}$ і $[(\delta^p)^2]=[(\delta^{p-1})^2]$, так як розрахунок координат, потенціалів і опорних реакцій, а також корекція параметрів жорсткості стрижнів здійснюються в межах одного циклу варіювання), перепишемо останнє рівняння наступним чином:

$$\begin{aligned}&\left[\left(\delta^p\right)^2\right]\cdot\left\{\aleph^p\right\}-\left[\left(\delta^{p-1}\right)^2\right]\cdot\left\{\aleph^{p-1}\right\}-\\ &-\left\{R^{p-1}\right\}+\left\{R^{/p}\right\}=0\text{, або:}\end{aligned} \tag{22}$$

$$\left[\left(\delta^{p}\right)^{2}\right]\cdot\left\{\aleph^{p}\right\}-\left[\left(\delta^{p}\right)^{2}\right]\cdot\left\{\aleph^{p-1}\right\}- -\left\{R^{p}\right\}+\left\{R^{/p}\right\}=0\,. \quad (23)$$

З останньої рівності виразимо поточну величину вектор-стовпця параметрів жорсткості стрижнів конструкції $\{\aleph^{p}\}$:

$$\left\{\aleph^{p}\right\}=\left[\left(\delta^{p}\right)^{2}\right]^{-1}\cdot\left(\left\{R^{/p}\right\}-\left\{R^{p}\right\}+\left[\left(\delta^{p}\right)^{2}\right]\cdot\left\{\aleph^{p-1}\right\}\right). \quad (24)$$

Вектор бажаного значення компонентів опорних реакцій $\{R^{/p}\}$ матиме наступну форму:

$$\begin{aligned}\left\{R^{/p}\right\}^{T}=\Big[\,&0_{1}\quad 0_{2}\quad \dots\quad 0_{q}\ \rightarrow\\ &\rightarrow(R_{x\ fix}^{/p}\cdot x_{fix}^{p}+R_{y\ fix}^{/p}\cdot y_{fix}^{p}+R_{z\ fix}^{/p}\cdot z_{fix}^{p})_{q+1}\ \rightarrow\\ &\rightarrow(R_{x\ fix}^{/p}\cdot x_{fix}^{p}+R_{y\ fix}^{/p}\cdot y_{fix}^{p}+R_{z\ fix}^{/p}\cdot z_{fix}^{p})_{q+2}\ \dots\rightarrow\\ &\rightarrow\ (R_{x\ fix}^{/p}\cdot x_{fix}^{p}+R_{y\ fix}^{/p}\cdot y_{fix}^{p}+R_{z\ fix}^{/p}\cdot z_{fix}^{p})_{h}\,\Big].\end{aligned} \quad (25)$$

Тут: $R_{x}{}^{/p}{}_{fix}$, $R_{y}{}^{/p}{}_{fix}$ та $R_{z}{}^{/p}{}_{fix}$ – проекції вектора опорної реакції довільного закріпленого вузла на координатні осі.

У поєднанні з формулою (6) рівність (24) дає змогу вирішити задачу розвантаження опорних вузлів стрижневої конструкції на основі ітераційного числення.

Слід звернути увагу на подібність формул (24) і (7). Їх схожість свідчить про аналогічність концептуального підходу, використаного для вирішення поставленої задачі, до підходу, запропонованого для комплексного корегування форми стрижневих конструкції шляхом системного перерозподілу параметрів жорсткості їх стрижнів.

Висновки

Запропонований алгоритм перерозподілу опорних навантажень, що передаються стрижневою конструкцією на основу, може бути успішно використаний для вирішення задач будівельної механіки. При цьому абсолютно неважливо чи є досліджувана основа ґрунтовим масивом, чи це несучий остов будівлі, представлений стіновими конструкціями, колонами та пілонами.

Фактично даний алгоритм може стати у нагоді як конструкторам, так і архітекторам, які в разі виникнення перевантажень тих чи інших несучих елементів можуть використовувати запропонований підхід не лише вирішуючи посталу проблему, а й зберігаючи основні закономірності логічної роботи конструкції. Остання в свою чергу працюватиме коректно, так як в основі підходу лежить принцип її статичного формоутворення.

Література

1. *Рабинович И. М. Курс строительной механики стержневых систем. Часть 2. Статически неопределимые системы. Издание 2-е. перераб. / И. М. Рабинович. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. – 548 с., ил.*
2. *Михайленко В.Е. Инженерная геометрия с элементами теории параметризации: Учебное пособие / В. Е. Михайленко, С. Н. Ковалев, Н. И. Седлецкая, В. А. Анпилогова. – К.: УМК ВО, 1989. – 84 с.*
3. *Прикладна геометрія та інженерна графіка. Спеціальні розділи. Випуск 1 / С. М. Ковальов, М. С. Ігумен, С. И. Пустюльга, В. Є. Михайленко та ін.; за ред. В. Є. Михайленка. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2006. – 256 с.*
4. *Kulikov P., 2014. The Principles of Discrete Modeling of Rod Constructions of Architectural Objects / P. Kulikov, O. Ploskiy, V. Skochko // Lublin-Rzeszow, Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Polish Academy of Sciences, vol. 16 (8), 3-10.*
5. *Плоский В. О. Алгоритм управління параметрами в'язей сітчастих структур, на основі корегування величин скалярного потенціалу зовнішніх впливів / В. О. Плоский, В. І. Скочко // Енергозбереження в будівництві та архітектурі. – К. : КНУБА, 2014. – Вип. 5. – с 224-230.*
6. *Скочко В. І. Рівняння параметрів стану та положення в'язей сітчастих структур / В. І. Скочко, Л. О. Скочко // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 34. – с 47-57.*
7. *Скочко В. І. Рівняння параметрів стану та положення в'язі, що сполучає вільний та закріплений вузли сітчастої структури / В. І. Скочко // Містобудування та територіальне планування. – К. : КНУБА, 2014. – Вип. 51. – с 521-527.*
8. *Skochko V., 2015. Morphogenesis and correction of planar rod constructions with a small amount of free nodes / V. Skochko // Lublin-Rzeszow, Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Polish Academy of Sciences, vol. 17 (8), 35-42.*

9. Schutz B. F. Geometrical methods of mathematical physics / Bernard F. Schutz. – Cambridge – London – New York – New Rochelle – Melborn – Sydney: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1979. – 303 p.

10. Palis J. Geometric Theory of Dynamical Systems. An Introduction / Jacobs Palis, Jr, Welington De Melo. – New York – Heidelberg – Berlin: Springer-Verlag, 1982. – 301 p.

11. Preparata F. P. Computational geometry: an introduction / Franco P. Preparata, Michael lan Shamos. – New York: by Springer-Verlag New York Inc., 1985. – 478 p.

12. Blackwell W. Geometry in Architecture. / W. Blackwell. – New York: Ed. John Wiley, 1984.

Стаття надійшла в редколегію 04.12.2015

Рецензент: д.т.н., проф. В.О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Скочко Владимир Игоревич
Кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1709-2621
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

АЛГОРИТМ РАЗГРУЗКИ ОТДЕЛЬНЫХ ОПОР СТЕРЖНЕВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ШАРНИРНЫМ УЗЛОВЫМ СОЕДИНЕНИЕМ

Аннотация. *В работе описан математический алгоритм изменения величины нагрузки на исследуемый опорный узел, основывающийся на комплексном перераспределении внутренних усилий или параметров жёсткости во всех стержнях конструкции. При этом используется тот же принцип, что и при управлении формой конструкции путём системного решения параметрических уравнений каждого стержня с поправкой на планированные изменения величин компонентов опорных реакций.*

Ключевые слова: системное решение; стержневые конструкции; параметрические уравнения состояния; формообразование; дискретная геометрия

Skochko Volodymyr
Doctor of Philosophy, Associate Professor, ORCID: 0000-0002-1709-2621
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

THE ALGORITHM OF DISCHARGING OF CERTAIN SUPPORTS OF ROD BUILDING CONSTRUCTIONS WITH HINGED HUB CONNECTIONS

Abstract. *This article describes a mathematical algorithm of changing of the load on certain fixed node, based on a complex redistribution of internal forces or stiffness parameters in all rods construction. This applies the same principle as in the form regulation of construction by system solving of parametric equations of each rod adjusted for planned changes of the supporting reaction components.*

Keywords: system solution; rod structures; parametric equations of state; morphogenesis; discrete geometry