

13. Іванченко Г. М., Гетун Г. В., Безклубенко І. С., Соломін А. В. Вплив вибухових навантажень на будівлі та споруди цивільного захисту населення // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2023. – вип. 111, с. 108-117.

14. Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. Архітектура будівель та споруд. Книга 5. Промислові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2020 р. – 820 с.

15. Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. Конструкції будівель і споруд. Книга 1: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. – К.: Видавництво «Ліра-К». 2021 р. – 820 с.

16. Лисенко Є. Ф., Гетун Г. В. Проектування сталевіробетонних конструкцій: Навчальний посібник / Лисенко Є. Ф., Гетун Г. В. – К.: УМК ВО. 1989 р. – 184 с.

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УСТАЛЕНОГО ПОТОКОРОЗПОДІЛУ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕРЕЖІ**

*Безклубенко І.С.<sup>1</sup>, Гетун Г.В.<sup>2</sup>, Баліна О.І.<sup>3</sup>, Буценко Ю.П.<sup>4</sup>, Сновида В.Є.<sup>5</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури,*

*<sup>4</sup>НТУ України «КПІ» ім. І. Сікорського,*

*<sup>5</sup>Військовий інститут телекомунікації та інформатизації,*

*<sup>1</sup>i.bezklubenko@gmail.com, <sup>2</sup>galinagetun@ukr.net, <sup>3</sup>elena.i.balina@gmail.com,*

*<sup>4</sup>armchairdoc@ukr.net, <sup>5</sup>Eviktoria@bigmir.net*

Інженерні мережі можуть бути класифіковані за природою транспортованої рідини, природою спожитого цільового продукту, інженерному обладнанню мережі, її конструкції і структурі графа мережі:

- за природою транспортованої рідини мережі можна розділити на практично нестисливі в мережі рідини (теплопостачання водою, водопостачання, каналізація, вентиляція і паропроводи низького тиску) і стисливі рідини (вентиляція і паропроводи високого тиску);

- за природою спожитого цільового продукту можна розділити на споживаючі газ (газопостачання), рідину (водопостачання, каналізація), теплову енергію (опалення), рідину і теплову енергію (гаряче водопостачання сумісно з опаленням);

- за структурою графа мережі поділяють на тупикові, кільцеві та довільні. Відомо, що схему з'єднань будь-якої мережі можна розглядати як скінчений зв'язаний граф (звичайно орієнтовний).

Графом тупикової мережі є дерево. Граф кільцевої мережі не містить вільних вершин. Більшість внутрішніх мереж теплопостачання містить тупикову підмережу, в якій рідина тече до стоку (обернена магістраль), тупикову підмережу в якій рідина тече від джерела (подаюча магістраль) і ділянки, що з'єднують ці дві підмережі і є споживачами цільового продукту.

Це проста кільцева мережа. До довільних мереж відносяться мережі, граф яких містить і кільця і вільні вершини (наприклад, мережі гарячого водопостачання).

Одна із важливих та актуальних задач проектування полягає в створенні такої мережі, яка б забезпечила всіх споживачів мережі цільовим продуктом в достатній кількості і належної якості, при мінімальному значенні деякого критерію, записаного в вартісному, енергетичному або надійнісному вигляді з урахуванням розвитку мережі. Оскільки неперервне зростання числа споживачів і змінення їх параметрів призводить до зростання вимог до мереж і відповідно, до змінення критеріїв їх функціонування, то виникає потреба розширення або реконструкції мережі.

Для розв'язання задач аналізу і синтезу мережі, що проектується чи реконструюється, може бути застосована математична модель усталеного потоку розподілу, яка ідентифікується сильно зв'язаними лінійним графом  $G(D, V)$ , на якому визначені постулати мереж (закони Кірхгофа) [2,3].

Згідно теорії графів [1,2], скінчений орієнтовний зв'язний граф  $G(D, V)$  математично описується матрицею інциденцій  $A = \{a_{ki}\}$  розміру  $v \times l$ , рангу  $v - 1$ ,  $a_{ki} = 1$ , якщо ребро  $i$  інцидентно вершині  $k$  і  $a_{ki} = 0$ , в протилежному випадку. Цей же граф може бути представлено списком інциденцій  $A: D = \{1, \dots, e\}$  — множина дуг графа,  $V = \{1, \dots, v\}$  — множина вершин графа.

Деревом графа називається [1] підграф, що містить усі вершини графа і не утворює жодного замкнутого циклу. Ребра, що входять в дерево, називаються гілками дерева, решта — хордами. Маємо  $(v - 1)$  гілку дерева і  $\mu = l - v + 1$  хорд. Число  $\mu$  називається цикломатичним числом графа.

Будь-якому довільно вибраному дереву графа однозначно відповідає  $(v-1)$  головний переріз і фундаментальна система  $\mu$  циклів.

Головний переріз являє собою підмножину ребер графа, що містить гілки дерева і хорди, що з'єднують два піддерева графа, який утворюється з існуючого дерева після видалення гілки дерева, а фундаментальний цикл — підмножину ребер графа, що містить хорду і гілки дерева, що утворюють єдиний простий ланцюг, з'єднуючий кінцеві точки цієї хорди.

$v-1$  - головний переріз математично описується матрицею головних перерізів  $Q = \{q_{ij}\}$  розміру  $(v-1) \times l$  рангу  $(v-1)$ , а система фундаментальних циклів — цикломатичною матрицею  $B = \{b_{ri}\}$  розміру  $\mu \times l$ , рангу  $\mu$ . Залежність між матрицями  $A, Q, B$ , подано в [2].

Граф  $G(D, V)$  містить  $V$  вузлів і  $l$  дуг, кожній дузі цього графа поставлено у відповідність ряд активних та пасивних елементів, а також послідовна змінна  $q_i$  і паралельна змінна  $h_i$ . Два  $l$ -вимірних вектора

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \{q_1, \dots, q_l\}, \\ \bar{h} &= \{h_1, \dots, h_l\}. \end{aligned}$$

характеризують стан розподілу потоку в інженерній мережі. Між  $i$ -ми компонентами цих векторів існує функціональна залежність  $h_i = h(q_i)$ .

Вид функції не залежить від геометричної структури мережі, різний для кожного виду інженерної мережі і визначається параметрами активних та пасивних регульованих елементів.

Якщо дуга та її активні джерела однаково орієнтовані, при заданому режимі роботи активних регулюючих елементів  $w_i$  ця залежність може бути представлена у вигляді

$$h_i = \text{sign} q_i r_i |q_i|^\lambda - (a_i(w_i) q_i^2 + b_i(w_j) q_i + c_i(w_i)), \quad (1)$$

де

$$\text{sign} q_i = \begin{cases} 1, & q_i > 0 \\ -1, & q_i < 0 \\ 0, & q_i = 0 \end{cases},$$

$\lambda$  — коефіцієнт нелінійності пасивних регулюючих елементів дуги, що залежить як від параметра елемента, так і від послідовної змінної  $q_i$  [2],  $r_i$  — коефіцієнт опору.

Якщо топологія мережі описується орієнтовним графом, напрямком дуг якого співпадає з напрямком потоку і мережа не містить активних регулюючих елементів, залежність (1) має вигляд

$$h_i = \frac{kl_i q_i^\lambda}{D_i^m} \quad (2)$$

На підставі першого закону Кірхгофа, алгебраїчна сума послідовних змінних, поставлених у відповідність дугам графа інженерної мережі, інцидентним будь-якому вузлу або які належать будь-якому перерізу дорівнює нулю, тобто

$$Aq = 0. \quad (3)$$

Або

$$Qq = 0. \quad (4)$$

З другого закону Кірхгофа випливає, що сума паралельних змінних, поставлених у відповідність дугам графа мережі, для будь-якого замкненого циклу дорівнює нулю:

$$Bh = 0. \quad (5)$$

Вирази (1) або (2) в сукупності з залежністю (3) або (4) та (5) представляє собою математичну модель усталеного потокорозподілу в інженерній мережі, тобто є тією системою рівнянь, яка дозволяє однозначно відобразити залежність між змінними, параметрами та топологічною структурою мережі. Ця математична модель лежить в основі розв'язання задач аналізу і синтезу інженерних мереж [3].

### Література

1. Ivanchenko, G., Getun, G., Bezklubenko, I., Solomin, A. (2023). Feature of design and calculations of complex reinforced concrete frames of buildings // *Strength of Materials and Theory of Structures*, 110, p. 108-117. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110>

2. Ivanchenko, G., Getun, G., Bezklubenko, I., Solomin, A., Posternak, O. (2023). Influence of explosive loads on buildings and structures of the population civil protection. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 111, 39-48. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111>

3. Jawad A. M., Alamro L., Abdulrazak L., AbdelRahman A., Bezklubenko I. Camera efficiency and Image Resolution // *Proceedings of FRUCT'35 Tampere, Finland, 24-26 April 2024*. FRUCT Oy, Finland

4. Безклубенко І. С. Визначення області керованості потоків в автономних підграфах декомпозиуємої інженерної мережі. // *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 38. С. 33-36.

5. Безклубенко І. С. Завдання вектору переваги критеріїв при виборі варіанта проекту інженерної мережі. // *Управління розвитком складних систем К.*, №30 2017.

## **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО АРМУВАННЯ ОПОРНИХ ЗОН МОНОЛІТНИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ КАРКАСНИХ БУДИНКІВ**

*Афанасьєва Л.В.<sup>1</sup>, Лаврінєнко Л.І.<sup>2</sup>*

*Київський національний університет будівництва та архітектури,  
E-mail: <sup>1</sup>afanasieva2709@gmail.com, <sup>2</sup>ludmila.lavrinenko@gmail.com*

У наземних конструкціях багатоповерхових каркасних будинків сприйняття та перерозподіл вертикальних і горизонтальних навантажень здійснюється плитами перекриття, які жорстко з'єднані з вертикальними несучими конструкціями. Для запобігання можливого продавлювання зазначених опорних зон плит перекриття визначають додаткове армування вузлового сполучення за результатами розрахунку з урахуванням контуру критичного перерізу.

Метою проведених досліджень [4,5,6,7,8] є визначення раціонального армування опорних зон плит перекриття, що відповідає експлуатаційним вимогам і не сприяє технологічним ускладненням при будівництві багатоповерхових каркасних будинків.

Вирішення поставленої задачі здійснювалось на підставі аналізу вихідних проектних даних каркасно-монолітної будівлі торгово-готельного комплексу в м. Києві.

Багатоелементна розрахункова модель будівлі створена за результатами чисельних досліджень з використанням ПК SCAD Soft 21 [4]. В результаті виконаних розрахунків отримані параметри