

Другий варіант передбачає використовувати для напруження цієї арматури спеціальну переставну раму з упорами. Для анкерування на кінцях стрижня приварено упорні коротуни. Напружену арматуру бетонують в конструкції і після тужавіння бетону до проектної міцності натяг арматури відпускають.

1. Прокоп'яшин А.П. Экономическая эффективность реконструкции жилищного фонда. – М.: Стройиздат, 1990. – 225 с. 2. Розробка конструкції і технології підсилення залізобетонних мостів з використанням попереднього напруження зі зміною статичної схеми: Звіт про НДР / Національний університет “Львівська політехніка”, Інститут будівництва та інженерії докілья, кафедра мостів та будівельної механіки. – Львів: Держдор НДІ. – №7073. – 2004. – 51 с. 3. Гнідець Б.Г., Щеглюк М.Р., Каваціук І.Д. Електротермічне попереднє напруження будівельних конструкцій в умовах будівництва. – Львів: “Сполом”, 2004. – 108 с. 4. Гнідець Б.Г., Щеглюк М.Р. Електротермічне напруження стержневої арматури в умовах будівництва // Будівництво України. – 2002. – №4. – С.29 – 32. 5. ДСТУ 3760-98. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.

УДК 539.3

М.І. Задворняк

Національний університет “Львівська політехніка”

## ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В ГІРСЬКОМУ МАСИВІ З ЦИЛІНДРИЧНОЮ ВИРОБКОЮ

© Задворняк М.І., 2006

**Розроблено методику розрахунку напружено-деформованого стану в анізотропному вагомому середовищі з циліндричною виробкою некругового поперечного перерізу. Методами теорії функції комплексної змінної задачі зведено до нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь.**

**The technique of calculation of tensely warped state in anisotropic weight environment with cylindrical elaboration of non-circular cross-section is developed. Using the methods of theory of function of complex variable the problems were brought to infinite systems of linear algebraic equations.**

Міцність та стійкість підземних виробок значною мірою залежать від анізотропії механічних властивостей масиву гірських порід, в якому вони закладені. В роботі пропонується методика визначення поля напружень в анізотропному масиві з горизонтальною заглибленою циліндричною виробкою, проведеною на глибині  $H$  від денної поверхні. Вважається, що масив має площину пружної симетрії  $XOy$ , перпендикулярну до твірних циліндричної поверхні виробки (рисунок). В координатній площині  $XOy$  контур виробки  $L$  описується рівнянням вигляду [3]

$$x + iy = R \left( e^{i\theta} + \sum_{k=1}^N c_k e^{-ik\theta} \right), \theta \in [0; 2\pi]. \quad (1)$$

Напруження в масиві з виробкою подамо у вигляді суми

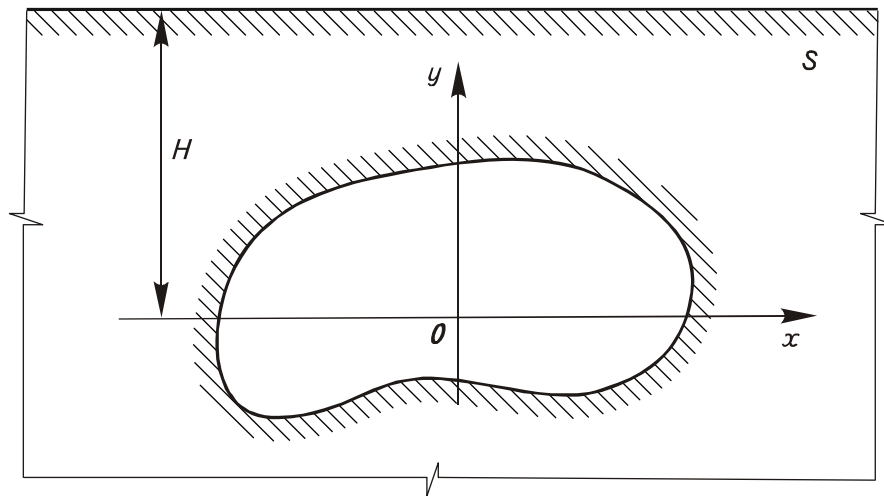
$$\sigma_x = \sigma'_x + \sigma''_x, \sigma_y = \sigma'_y + \sigma''_y, \sigma_{xy} = \sigma'_{xy} + \sigma''_{xy}, \quad (2)$$

де  $\sigma'_x, \sigma'_y, \sigma'_{xy}$  – компоненти напружень в нерозробленому масиві;  $\sigma''_x, \sigma''_y, \sigma''_{xy}$  – напруження, зумовлені наявністю виробки.

Напруження в нерозробленому масиві визначаються за формулами

$$\sigma'_x = \lambda \gamma (y - H), \sigma'_y = \gamma (y - H), \sigma'_{xy} = 0, \quad (3)$$

де  $\lambda = -\beta_{12}/\beta_{11}$  – коефіцієнт бокового розпору;  $\gamma$  – середня густина гірської породи;  $\beta_{ij}$  ( $i, j = 1, 2$ ) – пружні сталі [1, 2].



Поперечний переріз масиву з тунельною виробкою

Для визначення поля напружень, зумовлених проведеною виробкою, застосовуються методи механіки деформованого твердого тіла та теорії функцій комплексної змінної [1, 3, 4].

У разі, коли поверхня виробки вільна від зовнішнього навантаження, додаткові напруження  $\sigma''_x, \sigma''_y, \sigma''_{xy}$  описуються комплексними потенціалами  $\Phi_j(z_j)$  ( $j = 1, 2$ ) [1, 3], які задовольняють граничним умовам у вигляді таких інтегральних співвідношень:

$$\int_L F(t) dU = -\gamma \int_L F(t)(y - H) d(x + i\lambda y); \quad (4)$$

$$\int_L \overline{F(t)} dU = -\gamma \int_L \overline{F(t)}(y - H) d(x + i\lambda y);$$

$$dU = \sum_{j=1}^2 [(1 + i\mu_j)\Phi_j(z_j) dz_j + (1 + i\overline{\mu_j})\overline{\Phi_j(z_j)} d\overline{z_j}], \quad (5)$$

де  $z_j = x + \mu_j y$  – узагальнені комплексні змінні ( $z_j \in S_j, j = 1, 2$ );  $F(z)$  – довільна функція, голоморфна в області  $S$  (нескінченна зовні  $L$  область);  $\mu_j$  – корені характеристичного рівняння.

Функції напружень  $\Phi_j(z_j)$  ( $j = 1, 2$ ) в областях  $S_j$ , які отримують із заданої області  $S$  відповідним афікним перетворенням  $z_j = x + \mu_j y$  ( $j = 1, 2$ ), повинні задовольняти умовам однозначності переміщень точок пружного середовища:

$$\int_{L_j} \Phi_j(z_j) dt_j = i B_j \int_{L_j} (t - \bar{t}) dt_j \quad (6)$$

( $t \in L, t_j \in L_j, L_j$  – внутрішній контур області  $S_j$ ;  $B_j$  ( $j = 1, 2$ ) визначається через пружні характеристики масиву).

В областях  $S_j$  функції  $\Phi_j(z_j)$  мають такий вигляд:

$$\Phi_j(z_j) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k^{(j)} z_j^{-k}, \quad (7)$$

причому  $\lim_{|z_j \rightarrow \infty|} \Phi_j(z_j) = 0$ .

Граничні подання потенціалів (7) ( $z_j \rightarrow t_j$ ,  $t \in L$ ,  $\sigma = e^{i\theta}$ ,  $\sigma \in \gamma$ ,  $\gamma$  – одиничне коло) зобразимо комплексними рядами Фур'є:

$$\Phi_j(t_j) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^{(j)} \sigma^k + \sum_{k=1}^{\infty} B_k^{(j)} \sigma^{-k}. \quad (8)$$

Тут

$$A_n^{(j)} = \frac{1}{2\pi i} \sum_{k=1}^{\infty} \int_{\gamma} C_k^{(j)} t_j^{-k}(\sigma) \sigma^{-n-1} d\sigma; \quad (9)$$

$$B_n^{(j)} = \frac{1}{2\pi i} \sum_{k=1}^{\infty} \int_{\gamma} C_k^{(j)} t_j^{-k}(\sigma) \sigma^{n-1} d\sigma;$$

$$t_j(\sigma) = (1 - i\mu_j) t(\sigma) / 2 + (1 + i\mu_j) \overline{t(\sigma)} / 2, \quad (10)$$

де  $t(\sigma)$  – рівняння контура  $L$ ;  $t_j(\sigma)$  – рівняння контурів  $L_j$  областей  $S_j$  ( $j = 1, 2$ ).

Виконавши інтегрування граничних умов (4) з врахуванням (5) та довільності аналітичної в області  $S$  функції  $F(z)$  [3, 4], отримаємо нескінченну систему лінійних алгебраїчних рівнянь стосовно невідомих коефіцієнтів  $A_s^{(j)}$ ,  $B_s^{(j)}$  ( $j = 1, 2$ ;  $s = 0, 1, 2, \dots$ ):

$$\sum_{j=1}^2 \left[ (1 + i\mu_j) A_{n-1}^{(j)} + (1 + i\overline{\mu_j}) \overline{B_{n+1}^{(j)}} \right] = \frac{\gamma}{8\pi} \int_{\gamma} \sigma^{-n} f(\sigma) d\sigma, \quad (n = 1, 2, 3, \dots), \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^2 \left[ (1 + i\overline{\mu_j}) \overline{A_{n-1}^{(j)}} + (1 + i\mu_j) B_{n+1}^{(j)} \right] = -\frac{\gamma}{8\pi} \int_{\gamma} \sigma^n f(\sigma) d\sigma,$$

де  $f(\sigma) = (t(\sigma) - \overline{t(\sigma)} - 2iH) \left[ (1 + \lambda) t'(\sigma) + (1 - \lambda) \overline{t'(\sigma)} \right]$ .

Розв'язавши систему (4) і використавши співвідношення (9), отримаємо граничні зображення на  $L_j$  потенціалів (7), які дають можливість за відомими формулами [1, 2] визначити додаткові напруження на  $L$ , зумовлені наявністю виробки.

У разі, коли поверхня виробки підкріплена абсолютно жорстким кільцевим елементом, комплексні потенціали  $\Phi_j(z_j)$  ( $j = 1, 2$ ) задовольняють таким граничним умовам:

$$\int_L F(t) dV = i\varepsilon_0 \int_L F(t) dt - 2ib \int_L F(t)(y - H) dy; \quad (12)$$

$$\int_L \overline{F(t)} dU = i\varepsilon_0 \int_L \overline{F(t)} dt - 2ib \int_L \overline{F(t)}(y - H) dy;$$

$$dV = \sum_{j=1}^2 [(p_j + iq_j) \Phi_j(z_j) dz_j + (\overline{p_j + iq_j}) \overline{\Phi_j(z_j)} \overline{dz_j}], \quad (13)$$

де

$$\begin{aligned}
 p_j &= \beta_{11} \mu_j^2 + \beta_{12} - \beta_{16} \mu_j; & q_j &= \beta_{12} \mu_j^2 + \beta_{22} / \mu_j - \beta_{26}; \\
 b &= \gamma (\beta_{11} \beta_{22} - \beta_{12}^2) / (2 \beta_{11})
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

( $\varepsilon_0$  – кут повороту кільця як жорсткого цілого).

Використавши подання функцій напружень (8) та виконавши інтегрування граничних умов (12), задача зводиться до системи лінійних алгебраїчних рівнянь, аналогічної до (11).

На основі розробленої методики складено загальний алгоритм, який дає змогу здійснювати числову реалізацію задачі залежно від пружних характеристик гірської породи та геометричних параметрів виробки.

1. Лехницький С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. 2. Савин Г.Н. Распределения напряжений около отверстий. – К.: Наук. думка, 1968. 3. Задворняк М.И., Мартынович Т.Л. Изгиб анизотропной пластины с упругим анизотропным включением // Журнал прикл. мех. и техн. физ. – 1983. – №6. 4. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1965.

УДК 624.004.69

В.Г. Кваша

Національний університет “Львівська політехніка”

## ДОСВІД РЕМОНТУ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТІВ УКРАЇНИ

© Кваша В.Г., 2006

**Описано конструктивно-технологічні рішення найбільш розповсюджених на мережі автодоріг України існуючих залізобетонних мостів, їх технічний стан та характерні дефекти, що виникали під час тривалої експлуатації. Наведено сучасні технології їх ремонту та реконструкції з розширенням габариту різними типами залізобетонної накладної плити.**

**The structurally-technological decisions of the most widespread on a network motorways of Ukraine of existent bridges of the reinforced concretes, technical state and characteristic defects which arose up in the process of the protracted exploitation, are described. Modern technologies of their repair and reconstruction are presented with expansion of size by the different types of the reinforced concrete superimposed flag.**

### Вступ

В інфраструктурі автодоріг України мости, що належать до однієї з найважливіших її складових, є найбільш відповідальними, складними і високовартісними технічними системами, парк яких формувався впродовж більше ніж 100 років в процесі розвитку дорожньої мережі. За цей період декілька разів змінювались норми їх проектування, технології будівництва, експлуатаційні вимоги та нормовані тимчасові навантаження. Тому об’єктивною реальністю є наявність в експлуатації мостів з різними габаритами, вантажопідйомністю, пропускною здатністю, умовами комфортності і безпеки руху, фізичним станом, моральним і фізичним зношуванням, дефектністю, надійністю, довговічністю.

Переважна більшість мостів побудована у післявоєнний період індустріальними методами з використанням типових збірних залізобетонних елементів. Багаторічний досвід їх експлуатації показав, що більшість з них має значні дефекти та пошкодження і загалом незадовільний технічний стан. Тому основним завданням мостового господарства України є максимальне збереження існуючих мостів малих і середніх прольотів масового будівництва, їх ремонт, відновлення та реконструкція. Питання стоїть так: чи перебудувувати міст, чи ремонтувати або реконструювати його? Розв’язання цього завдання є складним, оскільки вимагає об’єктивної оцінки технічного стану несучих конструкцій. Тому