ні закономірності їх поширення і утворення. До перших слід віднести: бьомівські смужки – прямолінійні та дугові – і блокування в зернах кварцу, які характеризують прогинання Донбасу. До других: мікропорушення структури типу площин деформації, які інтенсивно проявились в інверсійний період розвитку регіону і спостерігались в антикліналях і поблизу насувів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Делицин И.С. Структурообразование кварцевых пород – М.: Наука, 1985. – С. 34-35.

2. Маметова Л.Ф. Чинники фізичного стану гірничого масиву, визначені на мікрорівні./ Геотехнічна механіка - № 67 – С.168-174

3. Баранов В.А. Микронарушенность кварца песчаников Донбасса в связи с их выбросоопасностью. Дисс. … канд. геол. наук: 04.00.16 /ДГИ – Днепропетровск, 1989. – 180с.

4. Пимоненко Л.И. Тектонические основы прогноза горно-геологических условий разработки угольных месторождений Донбасса. Автореферат диссертации на соискание уч. степени доктора геол. наук - Днепропетровск, 2005. – 34с.

5. Забигайло В.Е., Васючков Ю.Ф., Репка В.В. Физико-химические методы управления состоянием угольно-породного массива – К.: Наук. думка, 1989. – С.12-39.

6. Привалов В.А. Тектонотермальная эволюция Донецкого бассейна // Диссертация на соискание уч. степени доктора геол. наук Донецк, 2004.–340с.

7. Лукинов В.В. Многоэтапность тектонических преобразований углевмещающих пород Донбасса по данным петрографии / В.В.Лукинов, В.А. Баранов, Л.Ф. Маметова //Геотехническая механика –1998. - №10 – С.51-55.

УДК 622.28.044:622.831

Г.І.Ларіонов, канд. техн. наук
(ІГТМ НАН України)

ПРО ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПОПЕРЕДНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ АНКЕРІВ

В работе рассмотрен подход к определению значений предварительного натяжения метало полимерного анкера, с учетом прочности фиксирующей смеси в замковой части анкера. Показана эффективность применения модификации метода Брандона для решения обобщенной задачи М.Є. Жуковского. Получена формула, связывающая предварительное натяжение анкера с параметрами системы «анкерная штанга – фиксирующая смесь – горный массив»

ON MAXIMUM RESIN ANCHOR PRETENSION VALUE OBTAINING

The paper is devoted to maximum metal resin anchor pretension value obtaining with taking into account the lock permissible resin shell stress. Brandon modification method is applied and efficiency showed for general M. E. Zukovsky’s solve. The system “anchor bar – resin shell - rock” parameters influence for pretension value formulae is obtained

Використання модифікованого розв’язку узагальненої задачі М.Є. Жуковського довело свою ефективність при визначенні параметрів системи „анкерна штанга – фіксуюча суміш – гірська порода”[1-3].

Але користування цих формул пов’язане з деякими складнощами у користуванні. Справа полягає у тому, що залежність силових параметрів на контактуючих поверхнях носить складний характер і містить гіперболічні і степеневі функції. У практичній діяльності доцільно було б представити його у звичній для обчислювання формі, а саме – у вигляді формули.

Постановка задачі полягає у виявленні закономірності впливу величини попереднього навантаження *q*, діаметрів анкерної штанги та анкерного шпура d_a, d_{vt} , модулів пружності матеріалів E_a, E_{vt} та кроків гвинтових навивок h_a , h_{vt} на величину середньо інтегрального значення зусиль у оболонці із фіксуючої суміші. Враховуючи особливу важливість шару фіксуючої суміші у механізмі передачі навантажень від анкерної штанги на гірський масив, розглянемо у якості силового параметру середньо - інтегральне значення від величини зусиль, що виникають у тілі оболонки із фіксуючої суміші (1).

$$\sigma_{vt}^{p} = \frac{1}{L}\int_{0}^{L}\sigma_{vt}(\xi)d\xi = \sigma(q, d_a, d_{vt}, E_a, E_{vt}, h_a, h_{vt}) \qquad (1)$$

Де: L – довжина замкової частини шпура; а величина σ_{vt} визначається за формулою:

$$\sigma_{vt} = \sum_{i=1}^{k-1}(\mathrm{p_i} - \mathrm{t_i}) \qquad (2)$$

Сили, що виникають на контактах системи „анкерна штанга – фіксуюча суміш – гірська порода” визначаються за формулами (3–4):

$$t_k = \frac{\lambda_1\lambda_3 q}{8\,\mathrm{sh}\frac{\beta_1+\beta_2}{2}\,\mathrm{sh}\frac{\beta_1-\beta_2}{2}}\left[\frac{e^{-\left(k+\frac{1}{2}\right)\beta_2}}{\mathrm{sh}\frac{\beta_2}{2}} - \frac{e^{-\left(k+\frac{1}{2}\right)\beta_1}}{\mathrm{sh}\frac{\beta_1}{2}}\right]; \qquad (3)$$

$$p_k = \frac{\lambda_1 q}{2\,\mathrm{sh}\frac{\beta_1+\beta_2}{2}\,\mathrm{sh}\frac{\beta_1-\beta_2}{2}}\left[\mathrm{sh}\frac{\beta_1}{2}e^{-\left(k+\frac{1}{2}\right)\beta_1} - \mathrm{sh}\frac{\beta_2}{2}e^{-\left(k+\frac{1}{2}\right)\beta_2}\right] + t_k; \qquad (4)$$

де: $\lambda_1 = \frac{h_Б}{E_Б F_Б\left(c_Б + c_Г^{прав}\right)}$; $\lambda_2 = \frac{h_Г}{E_Г F_Г\left(c_Б + c_Г^{прав}\right)}$; $\lambda_3 = \frac{h_Г}{E_Г F_Г\left(c_Г^{лев} + c_С\right)}$

$$\mathrm{ch}\,\beta_1 = 1 + \frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3}{4} + \sqrt{\left(1+\frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3}{4}\right)^2 - \frac{\lambda_1\lambda_3}{4}};$$

$$\mathrm{ch}\,\beta_2 = 1 + \frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3}{4} - \sqrt{\left(1+\frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3}{4}\right)^2 - \frac{\lambda_1\lambda_3}{4}};$$

Основними параметрами представленими у формулах є:

q –осьове навантаження анкерної штанги; p_i - сили взаємодії, що виникають на контакті анкерна штанга – фіксуюча суміш; t_i - сили взаємодії, що виникають на контакті фіксуюча суміш – гірський масив; S_i - зусилля, що виникають у поперечних перетинах анкерної штанги; σ_i - зусилля, що виникають у поперечних перетинах оболонки із фіксуючої суміш;

$h_Б$, $h_Г$ – відстань між виступами штанги анкера і поверхні шпура відповідно;

$E_Б F_Б; E_Г F_Г$ - модулі пружності та площі поперечного перетину анкера та оболонки із фіксуючої суміші відповідно; $\left(c_Б + c_Г^{прав}\right)$, $\left(c_Г^{лев} + c_С\right)$ - суми коефіцієнтів пропорційності на контактах анкерна штанга – оболонка фіксуючої суміші та оболонка фіксуючої суміші – гірська порода відповідно.

Для вирішення поставленої задачі, з метою розширення області застосування методу Брандона [4], скористаємось наступною його модифікацією. Виберемо опорну точку у області визначення функціонала (1), координати якої визначаються із умови: $x_p^j = \left(\dfrac{x_{\max}^j - x_{\min}^j}{2}\right)$, тобто точка лежить у центрі області визначення . $x_{\max}^j - x_{\min}^j$ Змінюючи з певним кроком, на відрізку визначення, параметр q отримаємо відповідну послідовність значень $\left\{\sigma_{vt}^j\right\}$ яка відповідає послідовності значень $\left\{q^j\right\}$. Знайдемо функцію яка інтерполює цю послідовність точок у напрямку першого параметру q. Функцію для інтерполяції наведених даних вибираємо із умови відсутності доданків, тобто із множини простих функцій. Для першого параметру q будемо мати: $\sigma_{vt} = a_q * f(q)$ де: коефіцієнт інтерполяції $a_q = a_q\left(d_a, d_{vt}, E_a, E_{vt}, h_a, h_{vt}\right)$ є залежним від перелічених параметрів за виключенням першого; $f(q)$ - функція, яка відповідає наведеним вище вимогам, і інтерполює отримані дані найкращим чином. Результат вибору функції інтерполяції показав, що найкращою функцією є лінійна функція $f(q) = q$. Тоді залежність від параметру q набуває вигляду:

$$\sigma_{vt} = a_q * f(q) = a_q q$$

Наступним етапом необхідно повторити аналогічну процедуру відносно параметру d_a. Для послідовності значень параметра $\{d_a\}$ знайдемо послідовність значень коефіцієнта апроксимації $\{a_q\}$ і виберемо функцію інтерполяції. Результат вибору функції інтерполяції показав, що найкращою є функція $f(d_a) = 1/d_a^4$. Тоді залежність величин коефіцієнту інтерполяції a_q від параметру d_a має вигляд $a_q = a_{da} * f(d_a)$ і може бути представлена як

$$\sigma_{vt} == a_q f(q) = a_{da} f(d_a) f(q) = a_{da} \frac{1}{d_a^4} q$$

де: коефіцієнт інтерполяції $a_{da} = a\left(d_{vt}, E_a, E_{vt}, h_a, h_{vt}\right)$ вже не залежить від параметру, інтерполяція залежності якого вже знайдена. Виконавши аналогічні процедури відносно параметру d_{vt} отримаємо функцію інтерполяції у вигляді: $f(d_{vt})=d_{vt}^4$. Тоді залежність шуканої величини від параметрів q , $d_ф$ і d_{vt} набуває вигляду

$$\sigma_{vt} = a_{dvt} * f(d_{vt}) = a_{dvt} * q\left(\frac{d_{vt}}{d_a}\right)^4 \;;$$

де: коефіцієнт інтерполяції $a_{dvt} = a(E_a, E_{vt}, h_a, h_{vt})$ вже не залежить від параметрів функції інтерполяції яких вже знайдено. Виконавши аналогічні процедури відносно параметру E_a отримаємо функцію інтерполяції у вигляді: $f(E_a)=1/E_a$..Тоді залежність від параметрів q , d_a , d_{vt} і E_a набуває вигляду

$$\sigma_{vt} = a_{E_a} * f(E_a) = a_{E_a} * q\left(\frac{d_{vt}}{d_a}\right)^4 \left(\frac{1}{\mathrm{E_a}}\right);$$

де: коефіцієнт інтерполяції $a_{Ea} = a(E_{vt}, h_a, h_{vt})$ вже не залежить від параметрів функції інтерполяції яких вже знайдено. Виконавши аналогічні процедури відносно параметру E_{vt} отримаємо функцію інтерполяції у вигляді: $f(E_{vt})= E_{vt}$

Тоді залежність від параметрів q , d_a , d_{vt} , E_a і E_v набуває вигляду

$$\sigma_{vt} = a_{E_{vt}} * f(E_{vt}) = a_{E_{vt}} * q\left(\frac{d_{vt}}{d_a}\right)^4 \left(\frac{E_{vt}}{\mathrm{E_a}}\right);$$

де: коефіцієнт інтерполяції $a_{Evt} = a(h_a, h_{vt})$ вже не залежить від параметрів функції інтерполяції яких вже знайдено. Виконавши аналогічні процедури відносно параметру h_a отримаємо функцію інтерполяції у вигляді:. $f(h_a)= h^2_a$.

Тоді залежність від параметрів q , d_a , d_{vt} , E_a , E_v і h_a набуває вигляду

$$\sigma_{vt} = a_{h_a} * f(h_a) = a_{h_a} * q\left(\frac{d_{vt}}{d_a}\right)^4 \left(\frac{E_{vt}}{\mathrm{E_a}}\right)\left(h_a^2\right);$$

де: коефіцієнт інтерполяції $a_{ha} = a(h_{vt})$ вже не залежить від параметрів функції інтерполяції яких вже знайдено. Виконавши аналогічні процедури відносно параметру h_{vt} отримаємо функцію інтерполяції у вигляді:. $f(h_{vt})=1/h^2_{vt}$. Тоді залежність шуканої величини від параметрів q , d_a , d_{vt} , E_a , E_v , h_a і h_v набуває вигляду

$$\sigma_{vt}=a_{hvt}*f\left(h_{vt}\right)=a_{h_{vt}}q\left(\frac{E_{vt}}{\mathrm{E_a}}\right)\left(\frac{h_a}{h_{vt}}\right)^2\left(\frac{d_{vt}}{d_a}\right)^4\;;$$

де: коефіцієнт інтерполяції a_{hvt} вже не залежить від параметрів функції інтерполяції яких вже знайдено. Так коефіцієнт інтерполяції для нашого випадку a_{hvt} = 0.0258048. Таким чином , остаточно, залежність σ_{vt} від параметрів q , d_a , d_{vt} , E_a , E_v , h_a і h_v набуває вигляду

$$\sigma_{vt}=a_{hvt}q\frac{E_{vt}}{E_a}\left(\frac{h_a}{h_{vt}}\right)^2\left(\frac{d_{vt}}{d_a}\right)^4 \tag{5}$$

Із формули наведеної вище випливає

$$q=\frac{\sigma_{vt}E_a h_{vt}^2 d_a^4}{a_{hvt}E_{vt}h_a^2 d_{vt}^4}.$$

Якщо, розділити величину зусиль у формі наведеній вище на площу ділянки на яку вони діють, і припустити, що вони досягли максимально допустимих значень, отримаємо:

$$P_{\max}=\frac{[\sigma_{оболон}]E_a h_{vt}^2 d_a^4\pi\left(d_{vt}^2-d_a^2\right)}{4a_{hvt}E_{vt}h_a^2 d_{vt}^4}$$

Поставлене завдання виконано і залишається перевірити обґрунтованість і достовірність результатів отриманих з допомогою знайденої формули (5) і початкової формули (1).

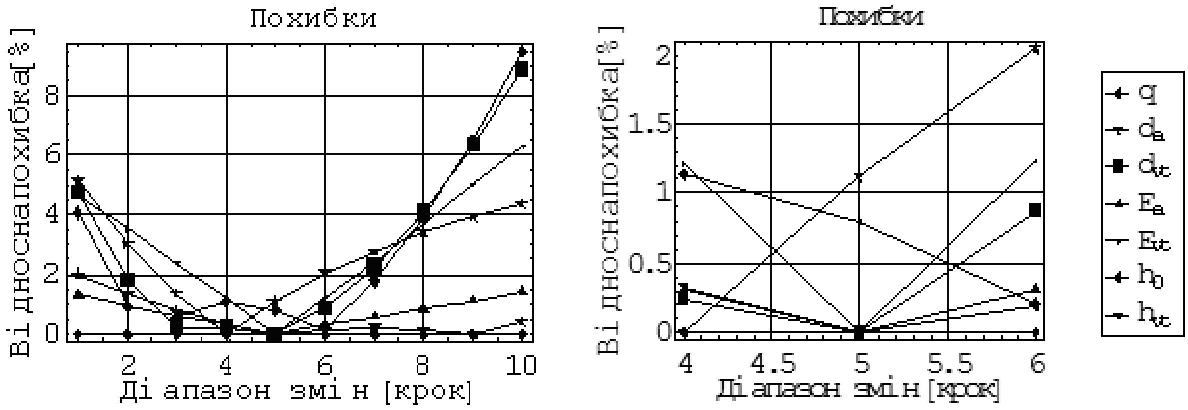
Розбиття діапазону змінних здійснювалось на 10 інтервалів, причому координати опорної точки М співпадають з кроком №5, тобто точка М лежить на середині інтервалу (див. Табл. 1).

Таблиця 1 – Діапазони змін параметрів системи

Пара-метри	Діапазон змін			Крок змін
	1	5	10	
q, [Н]	$1\cdot10^4$	$5\cdot10^4$	$10\cdot10^4$	$1\cdot10^4$
E_a, [Па]	$1.1\cdot10^{11}$	$1.2\cdot10^{11}$	$1.3\cdot10^{11}$	$0.02\cdot10^{11}$
E_{vt}, [Па]	$5\cdot10^9$	$8\cdot10^9$	$11\cdot10^9$	$0.6\cdot10^9$
d_a, [м]	0.018	0.019	0.020	0.0002
d_{vt}, [м]	0.02	0.025	0.027	0.0004

	3			
h_0, [м]	0.00 7	0.013	0.018	0.0012
h_1, [м]	0.00 4	0.0065	0.009	0.0005

Графіки розподілу відносних похибок параметрів $q,\ d_a, d_{vt}, E_a, E_{vt}, h_0, h_1$ для анкеру номінального діаметру 19мм представлено на рис.1.а,б).



а) б)

Рис.1 – Розподіл відносної для анкерної штанги номінального діаметру 19мм;
а) для повної області визначення; б) для скороченої області визначення

Аналіз графічних залежностей розподілу відносних похибок у визначенні функції середньо інтегральної величини зусиль у поперечних перетинах оболонки із фіксуючої суміші за зміни зазначених параметрів дав підстави для наступних висновків:

1. запропонований алгоритм послідовної інтерполяції засвідчив свою працездатність і забезпечив достатню для інженерних розрахунків точність;

2. отримано закономірність впливу на середньо інтегральне значення зусиль у оболонці із фіксуючої суміші параметрів системи «анкерна штанга – фіксуюча суміш – гірська порода»;

3. отримано формулу, яка зв’язує величину максимальної значення попереднього навантаження з параметрами замкової частини анкерного шпура.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ларіонов Г.І. Визначення напружено - деформованого стану гірських порід у околі шпура металополімерного анкера при осьовому навантаженні. - Сб. научн. тр. Нац. горн. ун-та т.1, №27, Днепропетровск: РИК НГУ, 2007 - с.58-65

2. Ларіонов Г.І. Використання розв’язку узагальненої задачі М.Є Жуковського для визначення напружено – деформованого стану у околі анкерного шпура. Математичні проблеми технічної механіки - 2009/Тези доповідей Міжнародної наукової конференції– 20-23 квітня ‚Дніпропетровськ-Дніпродзержинськ:2009. – с. 84-86.

3. Ларионов Г.И. О применении решения обобщенной задачи Н.Е. Жуковского к исследованию качества закрепления металлополимерного анкера. - Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць/ Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. -Дніпропетровськ, 2007.-вип.68, с.117-125.

4. Марюта А.Н., Бойцун Н.Е. Статистические методы и модели в экономике. – Дн-ск: Пороги, 2002. – 384с.