

УДК 622.28.044:622.831

Г.І. Ларіонов

ВИБІР КРОКУ ГВИНТОВОЇ НАВИВКИ АНКЕРНИХ ШТАНГ ДЛЯ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ АНКЕРІВ

Актуальність. Долаючи енергетичну залежність України виникає потреба у розширенні джерел і пошуку нових технологій для забезпечення потреб промисловості і населення як теплом так газом. Поряд з пошуком нових родовищ і відновлення старих, особлива увага приділяється збільшенню видобутку власного вугілля. Донецький вугільний басейн містить великі запаси якісного вугілля, але його потрібно видобувати на великих глибинах.

Видобуток вугілля при застосуванні рамного кріплення гірських виробок на великих глибинах, як свідчить практика, став економічно недоцільним і таким, що не забезпечує необхідний рівень безпеки. Сучасний вид кріплення гірських виробок - анкерне кріплення в змозі ефективно вирішити перелічені проблеми і забезпечити значно більші темпи видобутку[1]. Але ефективність його протидії гірському тиску у великій мірі залежить від забезпечення, як технології його спорудження, так і якості його комплектуючих: міцності фіксуючої суміші, параметрів міцності анкерних штанг, наявності періодичних виступів на їх поверхнях, жорсткості підхоплень, характеристик шайб тощо. Нормативними документами, що діють на Україні, регламентовано, як правила виконання робіт по спорудженню анкерного кріплення в гірських виробках вугільних шахт, так і вимоги до його комплектуючих. Згідно з вимогами до анкерних штанг регламентовано крок гвинтової навивки та геометрія її поперечного перетину. Так згідно[1], крок гвинтової навивки для анкерної штанги номінального діаметру 25мм складає 16,5мм. Напрямо гвинтової навивки обрано виходячи з умов досилання фіксуючої суміші у донну частину шпура, за умов обертання бурової штанги проти годинникової стрілки.

У будівництві, як ніде більше, використовують властивість арматури з періодичними виступами на поверхні арматури зафіксованої у бетоні протидіяти переміщенням будь-якої природи.

Міцність зчеплення арматурних стрижнів з бетоном дозволяє створювати широкий спектр будівельних споруд різного призначення і архітектури.

Величезна кількість дослідів проведених у будівельній галузі над з'ясуванням, як параметрів міцності зразків бетону, так і механізмів їх руйнування довела схожість їх з гірськими породами[2].

Міцність зчеплення арматурних стрижнів з бетоном залежить, як від зчеплення виступів на поверхні арматури періодичного профілю, так і від сил тертя, що виникають на контактній поверхні арматури. Як встановлено [3-4], найбільший вплив на міцність зчеплення здійснює перший фактор, він забезпечує 3/4 загального опору зчеплення ковзання арматури в бетоні.

Схожість процесів, що виникають при висмикуванні арматурного стрижня з бетону [4] і анкеру з гірської породи дає підстави для їх порівняння і дослідження, як якісних, так і кількісних результатів. Окрім того, актуальності набирає проблема вибору такої розрахункової моделі, яка б дозволила визначити крок гвинтової навивки для анкерних штанг метало полімерних анкерів.

Оскільки над вирішенням сформульованої вище задачі працювали і постійно працюють у будівельній галузі, то необхідно віддати їм належне і розглянути уважно моделі та методики вибору параметрів періодичних виступів на поверхні будівельної арматури. Для аналізу і обґрунтування вибору моделі, розглянемо більш детально модель, яку використовують для розрахунку напружено – деформованого стану залізобетонних конструкцій.

Задача вибору висоти та кроку профілю набула актуальності з переходом до використання арматури періодичного профілю . Для з'ясування механізму зчеплення арматури періодичного профілю проводилась тривала дослідницька робота. Стосовно стрижневої арматури було встановлено, що попри велике різноманіття періодичних профілів, вирішальне значення має питома площа зсуву [4].

$$\alpha_{sb} = \frac{n_r A_r \sin \beta_r}{\pi d_s s_r}$$

де: s_r - крок періодичних виступів; d_s - номінальний діаметр арматури; n_r - кількість виступів по периметру; A_r - площа проєкції

одного виступу на його серединну поверхню; β_r - кут нахилу періодичних виступів до осі стрижня.

Досліди довели, що у достатньо широких межах податливість зчеплення однозначно визначається значенням α_{sb} . При цьому є не суттєвим і нахил виступів до осі арматури і форма виступів. Опосередкованим шляхом встановлено, що адгезійний опір і тертя гладкої поверхні мають другорядне значення. Головне і вирішальне значення має зачеплення виступів арматури.

Геометричне зображення схеми навантаження моделі, яка є найпоширенішою при розрахунках та дослідженні необхідної кількості та параметрів будівельної арматури, представлено на рис. 1.

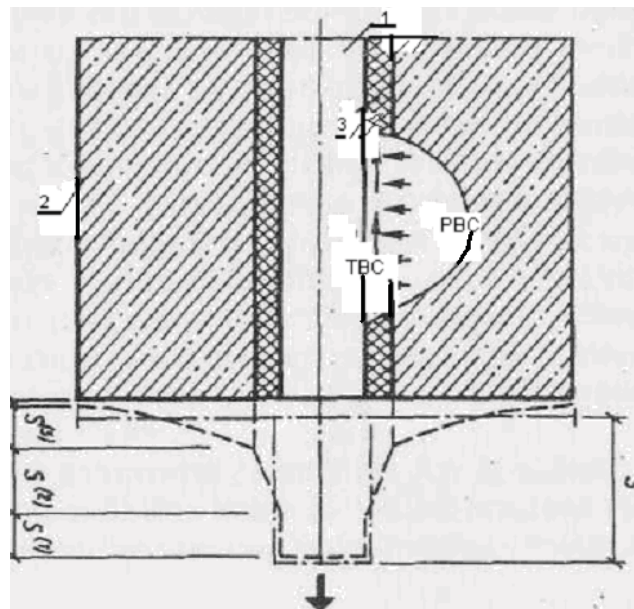


Рисунок 1 – Основна схема для розрахунку напружено-деформованого стану у околі зафіксованої у бетоні будівельної арматури

Складові цієї моделі такі: умовно гладка арматура періодичного профілю діаметру рівному її номінальному діаметру (1), оболонка з бетону (2), контактний шар (3), у якому знаходяться зони тріщиноутворення, пластичних деформацій та локальних руйнувань. На рис.1 взаємні зміщення арматурного стрижня відносно оболонки з бетону позначено літерою S . Зв'язок між умовними та дійсними зміщеннями зображено на рис. 1. Дійсні зміщення позначено пунктиром. Вони складаються зі зміщень на гладких ділянках арматури $s^{(1)}$, зміщень від деформацій контактного шару $s^{(2)}$ та зміщень від депланації оболонки із бетону $s^{(3)}$. Умовні взаємні

зміщення розглядаються як головна характеристика деформації контакту.

Деформації оболонки вважаються пружними, і відповідають гіпотезі плоских поперечних перетинів. Це припущення є надто грубе, якщо не враховувати контактний шар, але забезпечує задовільну точність розрахунків.

Таке уявлення базується на тому, що контактні тріщини утворюються у межах шару невеликої товщини близької до s_r . Окремі тріщини, які мають великий розвиток - або наскрізні повинні враховуватися за використання технічної теорії зчеплення (ТТЗ) спеціально.

Основні положення технічної теорії зчеплення можуть бути представлені наступним чином: розглядаються призматичні елементи, центрально армовані одним стрижнем; приймається модель "оболонка із бетону - контактний шар - арматура"; деформації поза зоною контакту і арматури вважаються пружними; пропонується наявність єдиного зв'язку між τ_{bc} і s . За звичай, у розрахунковій практиці стосовно бетону і арматури рахують, що зчеплення – це опір бетону повздовжнім переміщенням арматури.

Незважаючи на вищенаведені припущення, приймаючи розрахункову модель, арматурний стрижень вважають умовно гладким. А це означає, що будь-які переміщення, в тому числі і взаємні зміщення, спричинені осьовим навантаженням гладкого арматурного стрижня, визначаються опосередковано тобто без врахування основного чинника впливу у передачі навантаження - періодичних виступів на його поверхні. Крім того, штучне виділення проміжного між арматурою і оболонкою із бетону шару з особливими властивостями робить методику розрахунку функції зчеплення досить складною.

Зрозуміло, що більш адекватна розрахункова модель повинна враховувати наявність механізму передачі навантаження періодичними виступами на поверхні арматурного стрижня.

Постановка задачі полягає у виборі моделі та дослідженні на її основі впливу кроку гвинтової навивки анкерної штанги на параметри контактних зусиль, дотичних напружень на поверхні анкерного шпура та інтенсивності дотичних напружень у його околі.

Розв'язок задачі про визначення напружено – деформованого

стану у околі анкерного шпура і впливу на нього кроку гвинтової лінії на поверхні анкерної штанги полягає у послідовному рішенні двох задач.

Перша задача полягає у визначенні залежності зусиль, переміщень і дотичних напружень на поверхні шпура від кроку гвинтової навивки. Для цього використаємо розв'язок узагальненої задачі Н.М. Жуковського, який доводить свою ефективність при визначенні силових параметрів для системи гірський масив – оболонка фіксуючої суміші – анкерна штанга[5].

Схема навантаження системи представлені на рис.2, а розрахункова схема на рис.3.

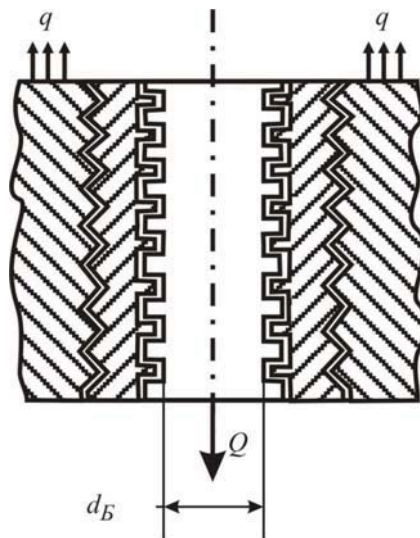


Рисунок 2 - Схема навантаження системи гірський масив – оболонка фіксуючої суміші – анкерна штанга

Основні елементи навантаження видно з наведеного вище рисунка.

Основними параметрами представленими на рис.2 є:

Q – осьове навантаження анкерної штанги; p_i - сили взаємодії, що виникають на контактні анкерна штанга – фіксуюча суміш; t_i - сили взаємодії, що виникають на контактні 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 суміші.

Друга задача полягає у визначенні інтенсивності дотичних напружень у околі анкерного шпура від кроку гвинтової навивки. Для вирішення цієї задачі скористаємось підходом, викладеним у [6].

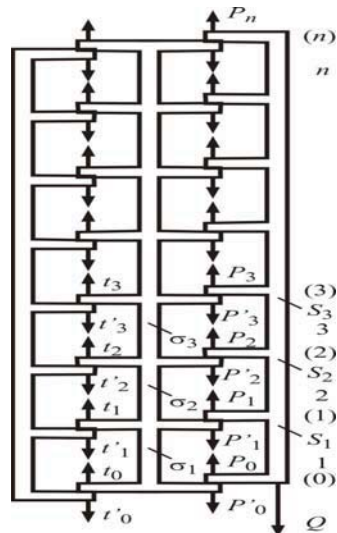


Рисунок 3 - Розрахункова схема узагальненої задачі
М. Є. Жуковського

Умовно схема закріплення зображена на Рис. 4а. В гірській породі 1 виконується свердловина радіусом r_0 , на деякій частині якої анкер 2 кріпиться за допомогою спеціальної фіксуєчої суміші 3. Довжина ділянки, на якій фіксується анкер – $2l$. Анкер навантажують осьовим зусиллям P .

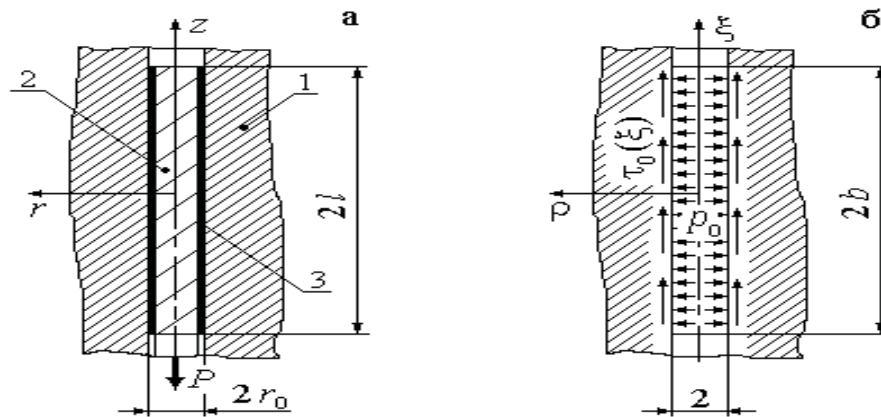


Рисунок 4 - До постановки задачі про навантаження свердловини
вантажним анкером

Середовище є однорідним та ізотропним, а закріплення анкера здійснюється у глибині шпура на відстані, що значно перевищує його діаметр. Ці спрощення дають змогу розглядати модель середовища як пружний простір з достатньо довгим циліндричним отвором. З боку анкеру на породу діє нормальне напруження, яке є рівним реакції від дії на анкер гірського тиску.

Розв'язок задачі має вид:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= -\frac{2\mu}{r_0} \left[\left((3-2\nu) \beta K_0(\beta\rho) + \left(4(1-\nu) \frac{1}{\rho} + \beta^2 \rho \right) K_1(\beta\rho) \right) C + \right. \\ &+ \left. \beta \left(\beta K_0(\beta\rho) + \frac{1}{\rho} K_1(\beta\rho) \right) D \right] \cdot (f \cos \beta\xi + g \sin \beta\xi) ; \\ \sigma_\varphi &= \frac{2\mu}{r_0} \left[\left((1-2\nu) \rho K_0(\beta\rho) + 4(1-\nu) \frac{1}{\rho} K_1(\beta\rho) \right) C + \frac{\beta}{\rho} K_1(\beta\rho) D \right] \cdot \\ &(f \cos \beta\xi + g \sin \beta\xi) ; \\ \sigma_z &= \frac{2\mu}{r_0} \left[(\beta^2 \rho K_1(\beta\rho) - 2\nu \beta K_0(\beta\rho)) C + \beta^2 K_0(\beta\rho) D \right] \cdot \\ &(f \cos \beta\xi + g \sin \beta\xi) ; \\ \tau_{rz} &= \frac{2\mu}{r_0} \left[(\beta \rho K_0(\beta\rho) + 2(1-\nu) K_1(\beta\rho)) C + \beta K_1(\beta\rho) D \right] \cdot \\ &\beta (g \cos \beta\xi - f \sin \beta\xi), \end{aligned}$$

де $K_0(\beta\rho)$, $K_1(\beta\rho)$ – модифіковані функції Ганкеля, а C , D , f , g – довільні сталі; σ_r , σ_φ , σ_z , τ_{rz} – радіальний, окружний, осьовий та дотичний компоненти тензору напружень; ν – коефіцієнт поперечної деформації r, φ, z – циліндричні координати; r_0 – радіус шпура; $\rho = r/r_0$, $\xi = z/r_0$; $P = k \lambda \gamma H$; $\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$; Визначивши компоненти тензору

напружень, знаходимо величину інтенсивності дотичних напружень за формулою:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

Таким чином, методика визначення напружено – деформованого стану у околі анкерного шпура та аналізу впливу на нього кроку гвинтової навивки полягає у послідовному вирішенню двох задач. З рішення узагальненої задачі М.Є. Жуковського визначається розподіл дотичних напружень вздовж поверхні анкерного шпура. Використовуючи отримані дотичні напруження у якості граничних умов для просторової задачі пружності у переміщеннях, знаходимо розподіл параметрів тензору напружень, а відповідно і інтенсивності дотичних напружень у околі анкерного шпура.

Для вибору кроку гвинтової навивки було сформульовано задачу умовної оптимізації. У якості функції цілі було обрано інтеграл по

довжині анкерної штанги від суми сил на контактних поверхнях системи „анкерна штанга - фіксує суміш – гірська порода”.

$$f = \int_a^b (p + t) d\xi,$$

У якості обмежень задачі виступали двосторонні обмеження на параметр оптимізації. Результатом пошуків екстремуму ставала точка, що лежить на нижній межі накладених обмежень на змінну. Цей факт може вказувати лише на тенденцію у виборі кроку гвинтової навивки. Його вибір може бути обмеженим конструктивними або технологічними параметрами за його виготовлення, або умовою здійснення попереднього навантаження за умов використання періодичних виступів у якості силової різьби. Для здійснення вибору і дослідження впливу кроку гвинтової навивки, вирішено побудувати їх графічні залежності за умов зменшення та збільшення кроку гвинтової навивки з фіксованим кроком зміни. Вплив гравітаційних сил на напружено – деформований стан у околі анкерного шпура моделювався введенням тиску на стінки шпура, який є реакцією анкерної штанги на дію гірського тиску.

Результати розв’язку поставленої задачі отримано за наступних даних:

$$L_a = 2,25 \text{ м}; \quad Q = 5 \cdot 10^4 \text{ н}; \quad d_a = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad d_{vt} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \\ h_a = 1,65 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad h_r = 0,65 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad E_a = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ н/м}^2; \quad E_{vt} = 9 \cdot 10^9 \text{ н/м}^2; \\ E_k = 6 \cdot 10^9 \text{ н/м}^2.$$

Слід зазначити, що зміна кроку періодичних виступів у вигляді гвинтової лінії h_a відбувалась з кроком $\pm 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ від початкового значення. Причому, для зручності у порівнянні характеристик, зліва, на наведених нижче рисунках, позначених літерою а), наведені характеристики за умов збільшення кроку гвинтової лінії h_a , а позначених літерою б) - зменшення кроку гвинтової лінії h_a . Причому, цифрою 1 позначено графіки за початкового значення кроку гвинтової лінії h_a , а цифрою 6 – графіки для максимального його значення (див. рис а)), або для мінімального (див. рис б)).

На рис. 11. наведено графіки розподілу інтенсивності дотичних напружень вздовж анкера, на глибині занурення у масив гірських порід рівному $10 r_{vt}$. Одиницею вимірювання довжини, у цьому випадку, обрано для зручності відносні одиниці (у долях радіусу

шпура r_{ot}). Для порівняння впливу зміни гвинтової лінії періодичних виступів наведено графіки для мінімального, початкового та максимального значення з діапазону змін кроку гвинтової лінії h_a . За прийнятою процедурою зміни кроку гвинтової лінії анкерної штанги крок зміни складав $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ і виконувалось по 7 кроків на його збільшення і зменшення. Таким чином, збільшення кроку h_a відбувалось від $1,75 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ до $2,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, а зменшення кроку h_a від $1,55 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ до $0,85 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. У подальшому діапазони збільшення і зменшення кроку гвинтової лінії будемо розуміти такими, що відбуваються у наведених вище межах.

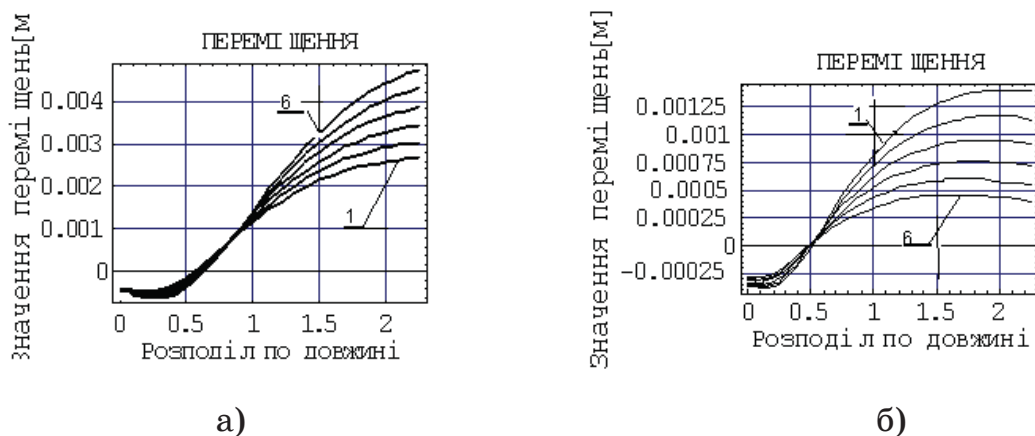


Рисунок 5- Графік переміщень при а) збільшенні h_a
б) при зменшенні h_a

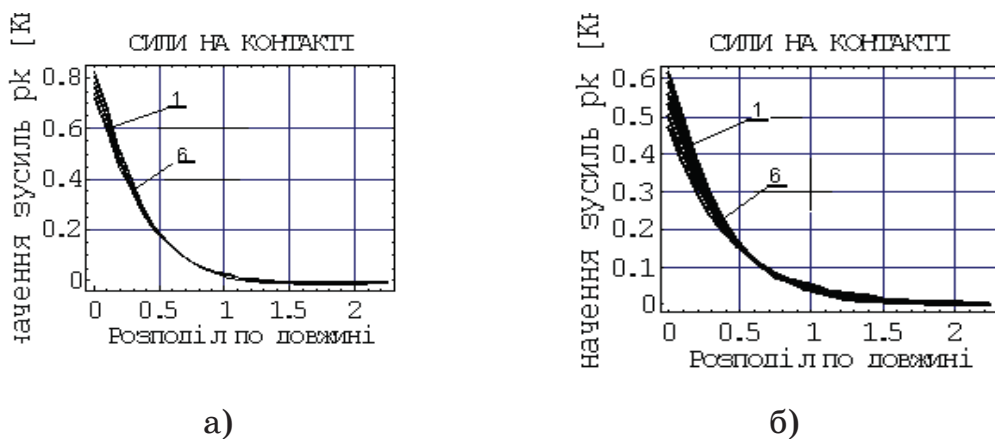


Рисунок 6- Графік сил на контакті анкерна штанга – фіксуєча суміш
при а) збільшенні h_a б) при зменшенні h_a

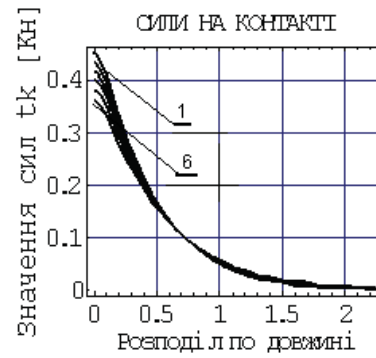
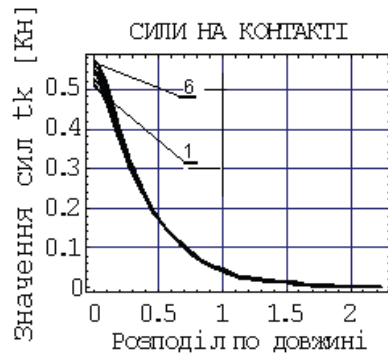


Рисунок 7- Графік сил на контакті анкерна фіксуюча суміш – порода при а) збільшенні h_a б) при зменшенні h_a

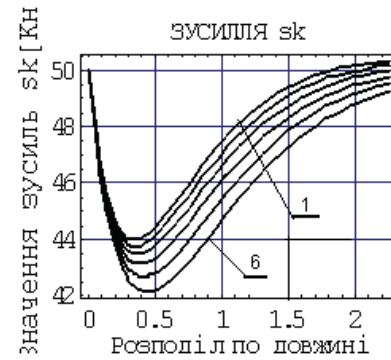
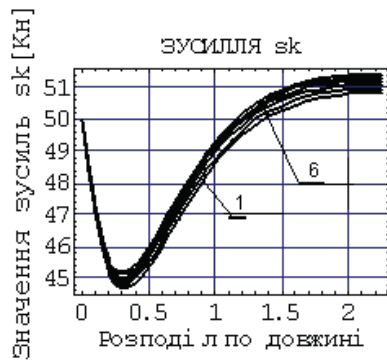


Рисунок 8- Графік зусиль у анкері при а) збільшенні h_a б) при зменшенні h_a

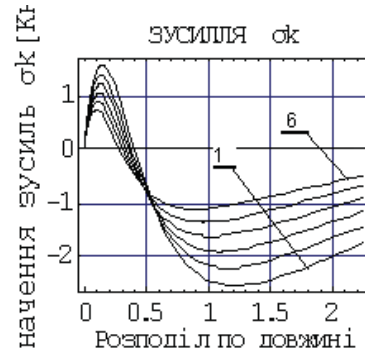
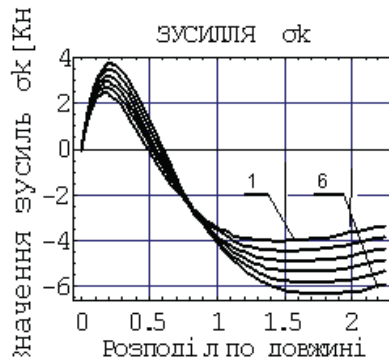


Рисунок 9- Графік зусиль у оболонці із фіксуючої суміші при а) збільшенні h_a б) при зменшенні h_a

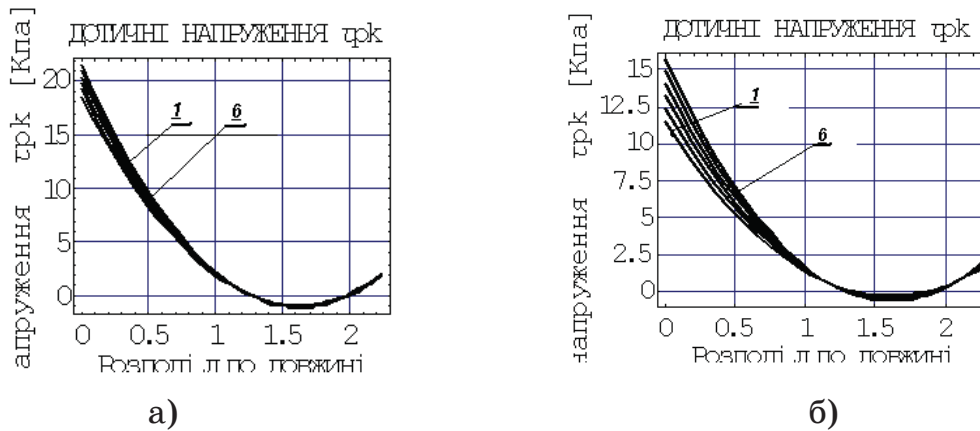


Рисунок 10- Графік дотичних напружень на поверхні анкерної штанги при а)збільшенні h_a б)при зменшенні h_a

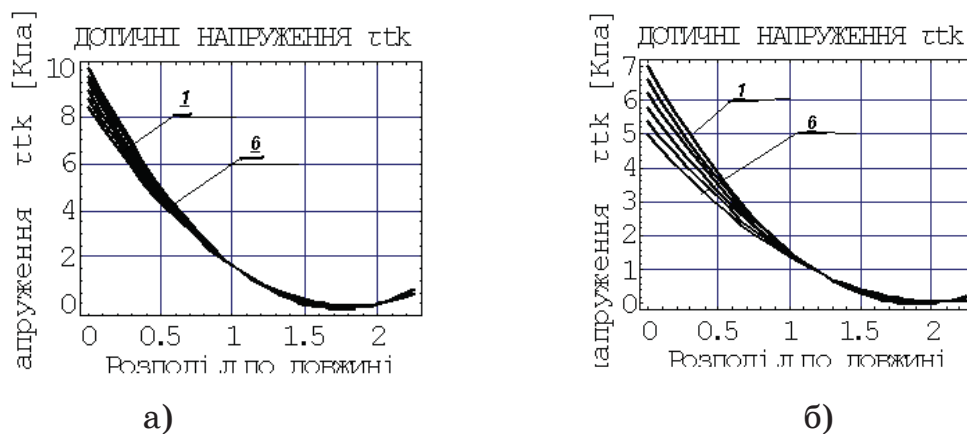


Рисунок 11- Графік дотичних напружень на поверхні гірської породи при а)збільшенні h_a б)при зменшенні h_a

Для порівняння впливу зміни кроку гвинтової лінії періодичних виступів на інтенсивність дотичних напружень у околі анкерного шпура наведено графіки для послідовності значень кроку гвинтової лінії (див. рис. 12). Графіки отримано для осьового навантаження $Q=1 \cdot 10^4$ н та $\kappa \lambda = 0.01$.

Аналіз залежностей параметрів на контактних поверхнях від кроку гвинтової лінії, зображених на рис. 5 – 12 дає підґрунтя для наступних висновків:

зі збільшенням кроку h_a

1. переміщення втулки із фіксуючої суміші збільшуються майже у два рази (див. рис. 5а).

2. сили на контактних поверхнях анкерна штанга – фіксуюча суміш збільшуються у незначній степені і у гирла анкерного шпура(див. рис.6а).

3. сили на контактних поверхнях фіксуюча суміш – гірська порода збільшуються, але не більше ніж 12% (див. рис.7а).

4. дотичні напруження на контактній поверхні фіксуюча суміш – гірська порода збільшуються(збільшення не перевищує 2%)(див. рис.11а).

5. зусилля у поперечних перетинах анкерної штанги збільшуються, у при забійній зоні шпура, на 2%(див. рис.8а).

6. зусилля у поперечних перетинах втулки із фіксуючої суміші збільшуються майже на 20%(див. рис.9а).

7. дотичні напруження на контактній поверхні анкерна штанга – фіксуюча суміш зменшуються (зменшення не перевищує 5%)(див. рис.10а).

дотичні напруження на контактній поверхні фіксуюча – порода суміш зменшуються(зменшення не перевищує 5%)(див. рис.11а).

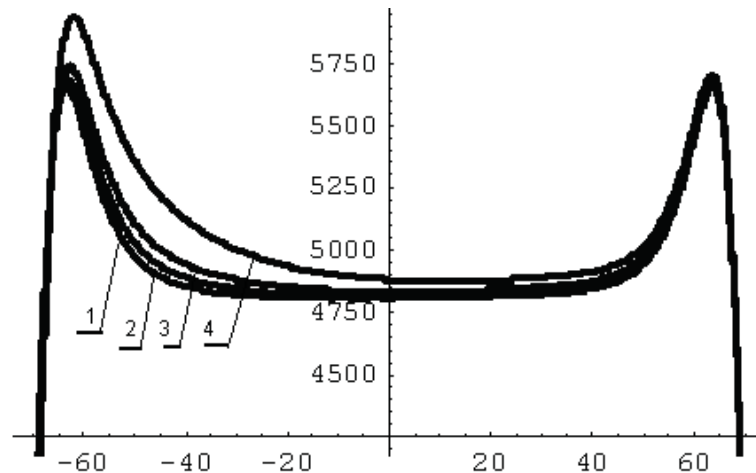


Рисунок 12 –Графік інтенсивності дотичних напружень при 1) $h_a = 10,5\text{мм}$; 2) $h_a = 13,5\text{мм}$; 3) $h_a = 16,5\text{мм}$, 4) $h_a = 22,5\text{мм}$;

Зі зменшенням кроку:

8. переміщення втулки із фіксуючої суміші зменшуються майже у п'ять разів (див. рис. 5б);

9. сили зменшуються за величиною, аж до 40%, але тільки у гирла(див. рис. 6б);

10. сили на контактних поверхнях зменшуються майже на 20%(див. рис.7б);

11. зусилля зменшуються, у при забійній зоні шпура, майже на 10%(див. рис.8б);

12. зусилля зменшуються майже на 40%(див. рис.9б);

13. збільшується на величину до 20%(див. рис.10б);

14. зменшується на величину до 20% (див. рис.11б);

15. за менших значень кроку гвинтової лінії інтенсивність дотичних напружень є меншою і більш рівномірною (див. рис.12 крива 1), ніж для більших його значень. Так різниця у величинах інтенсивності дотичних напружень, у гирловій частині шпура, для кроків $h_a = 10,5$ і $22,5 \cdot 10^{-2}$ м, складає майже 10%.

Висновки:

1. крок гвинтової лінії виступів на поверхні анкерної штанги істотно впливає на параметри системи «анкерна штанга – фіксуюча суміш – гірська порода»;

2. збільшення кроку гвинтової лінії призводить до збільшення переміщень, як анкерної штанги, так і втулки із фіксуючої суміші, і не призводить до істотних змін у розподілі параметрів системи «анкерна штанга – фіксуюча суміш – гірська порода»;

3. зменшення кроку гвинтової лінії призводить до істотного (у п'ять разів) зменшення переміщень, як анкерної штанги, так і втулки із фіксуючої суміші і до перерозподілу дотичних напружень на контактних поверхнях системи - збільшенню їх на контактній поверхні «анкерна штанга - фіксуюча суміш», і зменшенню на контактній поверхні «фіксуюча суміш – гірська порода»;

4. для істотного обмеження переміщень, у чому виникає потреба для слабких порід, рекомендовано використовувати анкерні штанги з меншими за величиною кроками гвинтових виступів (для анкерних штанг номінального діаметру 25мм крок гвинтової лінії лежить у діапазоні $h_a=0,4 - 0,6 d_a$);

5. для забезпечення надійної роботи анкерного кріплення в умовах міцних оточуючих порід для забезпечення меншої жорсткості закріплення анкерів рекомендовано використовувати анкерні штанги з відносно більшими за величиною кроками гвинтових виступів (для анкерних штанг номінального діаметру 25мм крок гвинтової лінії лежить у діапазоні $h_a=0,6 - 0,8 d_a$);

Діапазони зміни кроку гвинтової лінії на анкерних штангах рекомендовані виходячи із аналізу силових параметрів в системі «анкерна штанга – фіксуюча суміш – гірська порода» і представлено у [7]. До уваги не брались такі параметри як: наявність шнекового

ефекту, викликаного гвинтовою лінією виступів, густина фіксуючої суміші, висота виступів гвинтової лінії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерне кріплення гірничих виробок вугільних шахт/ Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дніпропетровськ, 2002. – С. 372.
2. М.М. Холмянский К механизму сопротивления трещиноватых горных пород и бетона однородному сжатию//Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1979. - №5 с.12 – 23.
3. Байков В.Н., Сигалов Э.Е Железобетонные конструкции. Общий курс / М., Стройиздат, 1991. — 767 с.
4. Холмянский М.М. Бетон и железобетон (Деформативность и прочность). –М.:Стройиздат,1997.-576с.
5. 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.90-98.
6. Ларионов Г.І., Павлишин С.М., Головка С.А., Буліч Ю.Ю. Про деформований стан масиву гірських порід у околі навантаженого по осі анкера// Зб. наук. праць НГУ № 22 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2005. – с.48 – 55.
7. СОУ 10.1.05411357.010:2008 „Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги”.

Одержано 15.01.2009р.