УДК 622.28.044:622.831

канд. техн. наук Г.І. Ларіонов,
інженер Ю. В. Нечитайло
(ІГТМ НАН України)

ВПЛИВ ДІАМЕТРУ ШПУРА НА ЯКІСТЬ ЗАКРІПЛЕННЯ ВАНТАЖНОГО МЕТАЛОПОЛІМЕРНОГО АНКЕРУ

В работе представлены результаты исследования влияния диаметра шпура на качество закрепления грузового металлополимерного анкера. Для оценки качества закрепления анкера выбраны параметры системы «анкерная штанга – фиксирующая смесь – горный массив». Сделан анализ усилий, перемещений, касательных напряжений и интенсивности касательных напряжений.

THE BOREHOLE DIAMETER INFLUENCE ON RESIN METAL LOAD ANCHOR FIXATION QUALITY

The paper is presented the results of borehole diameter influence on resin-metal load anchor fixation quality investigation. For evaluating of resin-metal load anchor fixation quality the"bar – resin - rock -" system parameters were chosen. Efforts, displacements, shear stresses and shear stress intensity analysis were made.

Актуальність. Диверсифікація джерел постачання в Україну енергетичних видів сировини, як то нафти і газу примушує зробити переоцінку стратегії і перспектив розробки та відновлення власних джерел. Вугілля є одним з найважливіших і доступних джерел, оскільки Україна має потужні його запаси. Донецький вугільний басейн містить достатній об'єм якісного вугілля, але його потрібно видобувати на великих глибинах.

Застосування рамного кріплення гірських виробок на великих глибинах, як показує практика, стало економічно недоцільним і таким, що не забезпечує необхідний рівень безпеки на вугільних шахтах України. Однак анкерне кріплення в змозі ефективно вирішити перелічені проблеми і забезпечити значно більші темпи видобутку [1].

Важливість вибору величини діаметру анкерного шпура, за сталого значення діаметру анкерної штанги, обумовлена значним впливом товщини оболонки фіксуючої суміші на якість і міцність її закріплення. А як відомо [3], товщина оболонки із фіксуючої суміші істотно впливає на ефективність роботи як окремо зафіксованого анкера так і системи анкерного кріплення в цілому.

Для збереження площі поперечного перерізу гірських виробок, все частіше технологічне обладнання підвішують використовуючи вантажні анкери. Вони ефективно виконують відведену їм роль за умов виконання технології його встановлення. Осьове навантаження є основним для вантажних анкерів.

Одним з найважливіших параметрів, що впливає на ефективність роботи механізму передачі навантаження від анкерної штанги, до якої прикладена осьова сила, до гірського масиву є товщина оболонки із фіксуючої суміші або діаметр анкерного шпура.

Таким чином, вибір діаметру анкерного шпура під вантажний металополімерний анкер є проблемою важливою і актуальною для досліджень.

Постановка задачі полягає у визначенні залежності зусиль, переміщень і ін-

тенсивності дотичних напружень у системі «анкер – фіксуюча суміш – гірська порода» від діаметру оболонки із фіксуючої суміші і з'ясуванні впливу його на ефективність роботи вантажних анкерів.

Розв'язок задачі отримаємо суперпозицією розв'язків двох задач.

Перша задача полягає у визначенні залежності зусиль, переміщень і дотичних напружень на поверхні шпура. 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 [2].

Схема навантаження системи представлена на рис.1, а розрахункова схема на рис.2.

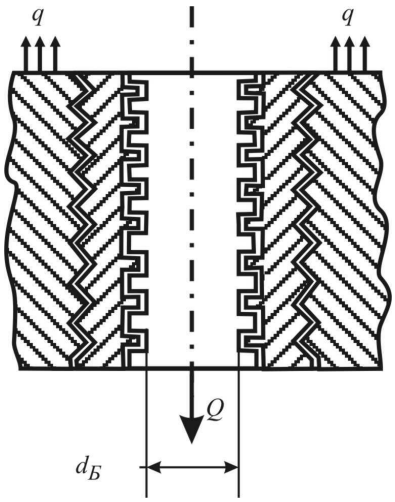


Рис. 1 - Схема навантаження системи гірський масив – оболонка фіксуючої суміші – анкерна штанга

Основні елементи навантаження видно з наведеного вище рисунка.

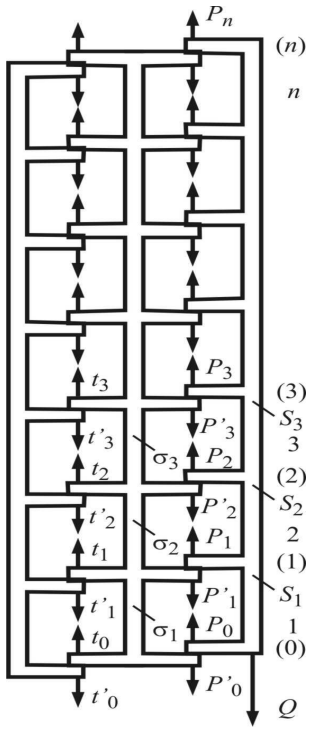


Рис. 2 - Розрахункова схема узагальненої задачі Н.М. Жуковського

Основними параметрами представленими на рис.2 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 перерізах анкерної штанги;

σ_i - зусилля, що виникають у поперечних перерізах оболонки із фіксуючої суміші;

Зусилля, що виникають у тілі оболонки фіксуючої суміші та сили, що виникають на контактах гірська порода – фіксуюча суміш та анкерна штанга – фіксуюча суміш визначаються за формулами відповідно:

$$\sigma_k^B = \sum_{i=0}^{k-1}\left(p_i^B - t_i\right) = \sum_{i=0}^{k-1}\left(p_i - t_i\right),$$

де:

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

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

Зусилля, що виникають у поперечних перерізах оболонки фіксуючої суміші та анкерної штанги обчислюються за формулами відповідно:

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{k+1}^{\Gamma} &= \frac{1}{\lambda_3}\left(t_k - t_{k+1}\right);\\ s_{k+1}^{Б} &= \frac{1}{\lambda_1}\left(p_k - p_{k+1}\right) + \frac{\lambda_2}{\lambda_1\lambda_3}\left(t_k - t_{k+1}\right);\end{aligned}\right\}$$

де:

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

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

$$\lambda_1 = \frac{h_Б}{E_Б F_Б\left(c_Б + c_\Gamma^{прав}\right)};\ \lambda_2 = \frac{h_\Gamma}{E_\Gamma F_\Gamma\left(c_Б + c_\Gamma^{прав}\right)};\ \lambda_3 = \frac{h_\Gamma}{E_\Gamma F_\Gamma\left(c_\Gamma^{лев} + c_C\right)}.$$

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

$E_Б F_Б ; E_Г F_Г$ - модулі пружності та площі поперечного перерізу 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. Зміст коефіцієнтів пропорційності визначаються із формули: $f_i = c * p_i$,де: f_i – переміщення поперечного перерізу під дією сили p_i. Коефіцієнт пропорційності приймається сталим для пари контактуючих поверхонь.

Друга задача полягає у визначенні інтенсивності дотичних напружень у околі анкерного шпура і для її вирішення використаємо задачу [3].

Умовно схема закріплення вантажного анкера зображена на рис. 3а. В гірській породі 1 виконується свердловина радіусом r_0, на деякій частині якої анкер 2 кріпиться за допомогою спеціальної фіксуючої суміші 3. Довжина ділянки, на якій фіксується анкер – 2*l*. Вантажний анкер навантажують осьовим зусиллям *P*.

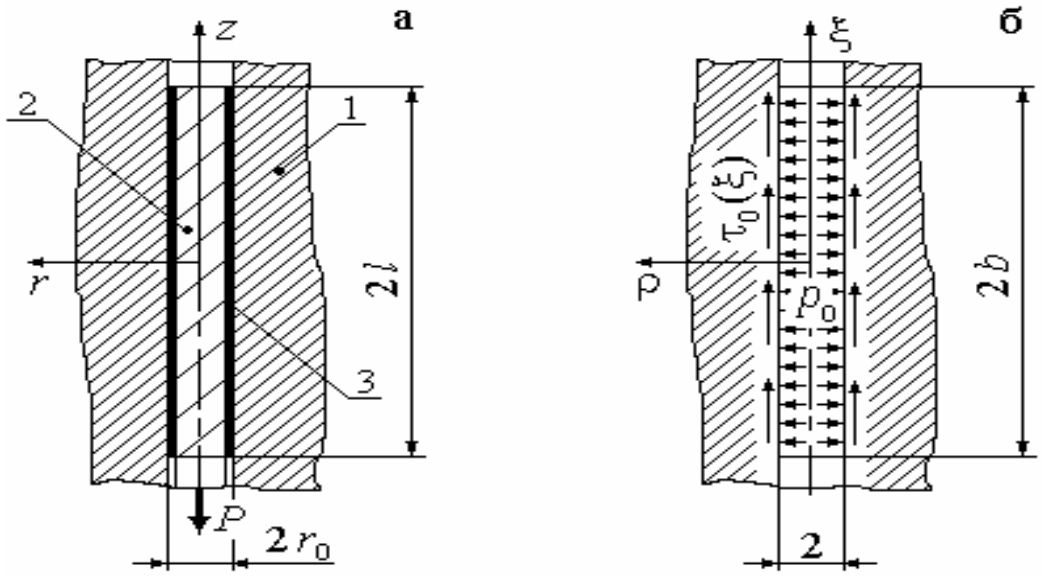


Рис. 3 - До постановки задачі про навантаження свердловини вантажним анкером

Середовище є однорідним та ізотропним, а закріплення анкера здійснюється у глибині шпура на відстані, що значно перевищує його діаметр *l/d>20*. 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.

Для визначення напружено-деформованого стану у околі анкера скористаємося основними рівняннями теорії пружності у осесиметричному випадку [7]. Розв’язок рівнянь відшукували у формі Папковича-Нейбера [6]:

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

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 ; $\rho = r/r_0$, $\xi = z/r_0$. Інтегрування цих виразів дозволило визначити величну інтенсивності дотичних напружень[4]:

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

Закон зміни дотичного напруження вздовж анкера, суттєво впливає на напружено-деформований стан у околі шпура [5] і знаходиться з використанням узагальненої задачі М.Є. Жуковського.

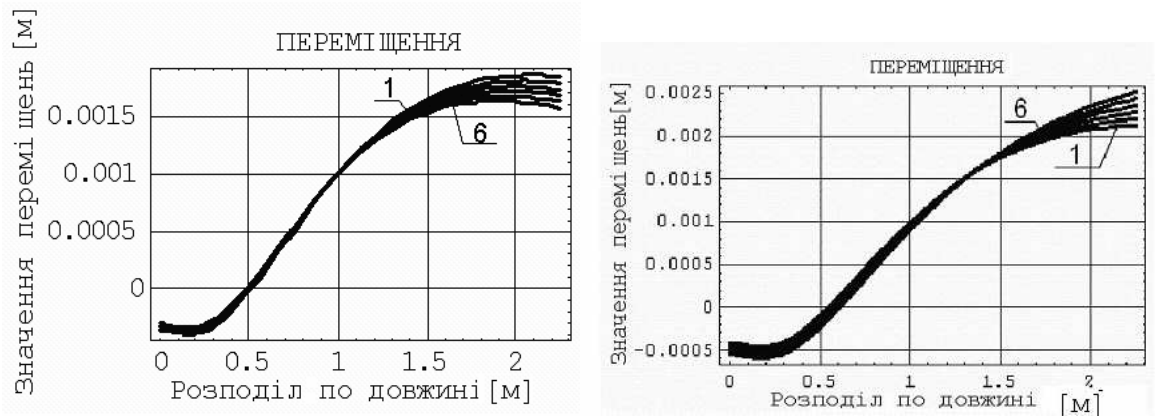
Результати розв'язку поставленої задачі отримано за наступних даних:

L_a =2,25м; Q=5 10^4 н; d_ϕ =2,5 10^{-2} м; D_{vt} =3,2 10^{-2} м; $h_Б$=1,6510^{-2} м;

$h_Г$=0,6510^{-2} м; E_a =1,2 10^{11} н/м^2 ; E_{vt} =9,0 10^9 н/м^2 ; $E_к$ =9,0 10^9 н/м^2 .

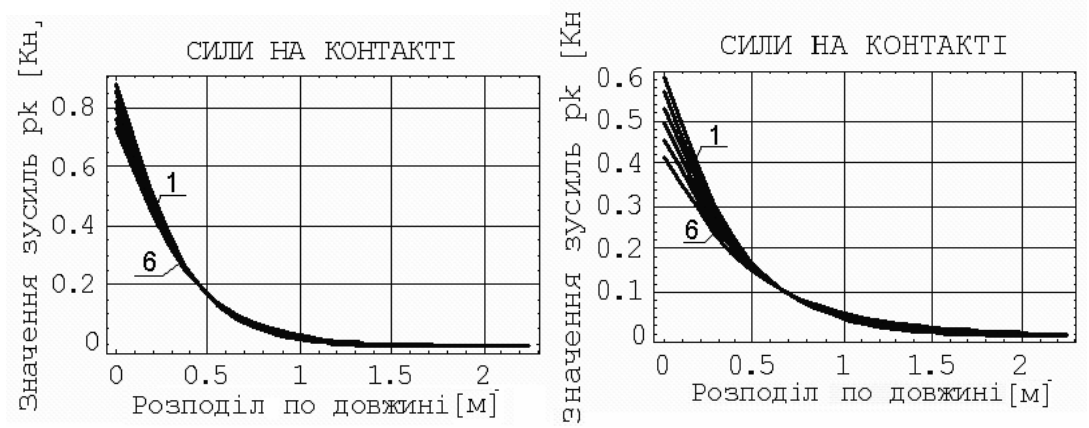
Слід зазначити, що зміна діаметру втулки із фіксуючої суміші E_{vt} відбувалась з кроком $\pm 0{,}5$ мм від початкового значення. Для зручності у порівнянні характеристик, зліва на наведених нижче рисунках, тобто позначених літерою а), наведені характеристики за умов збільшення діаметра втулки, а позначених літерою б) - його зменшення. Причому, цифрою 1 позначено графіки для початкового значення діаметру, 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, визначено для зручності у відносних одиницях (у долях радіусу шпура r_{vt}). Для порівняння наведено графіки для мінімального, початкового та максимального значення з діапазону змін діаметра



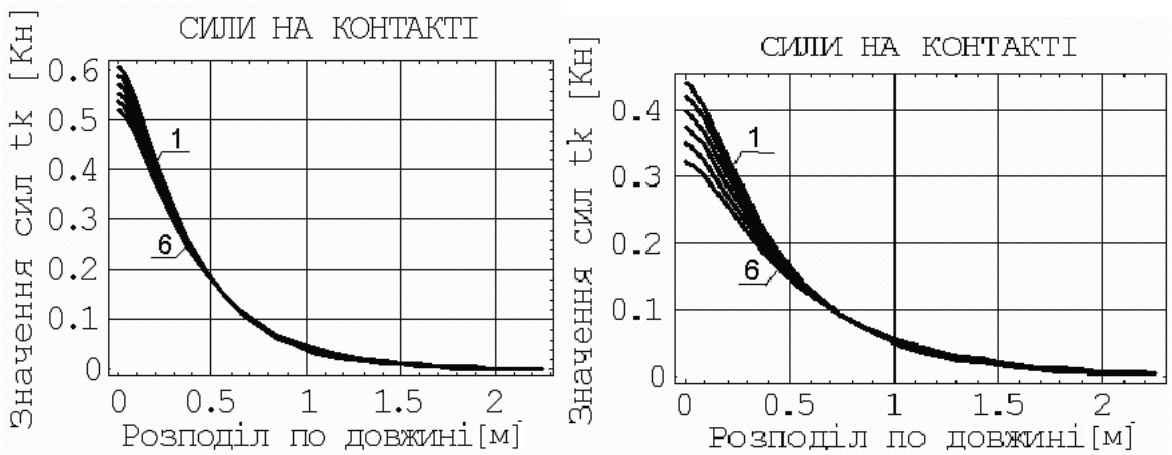
а) б)

Рис. 4- Графік переміщень при а)збільшенні D_{vt} б)при зменшенні D_{vt}



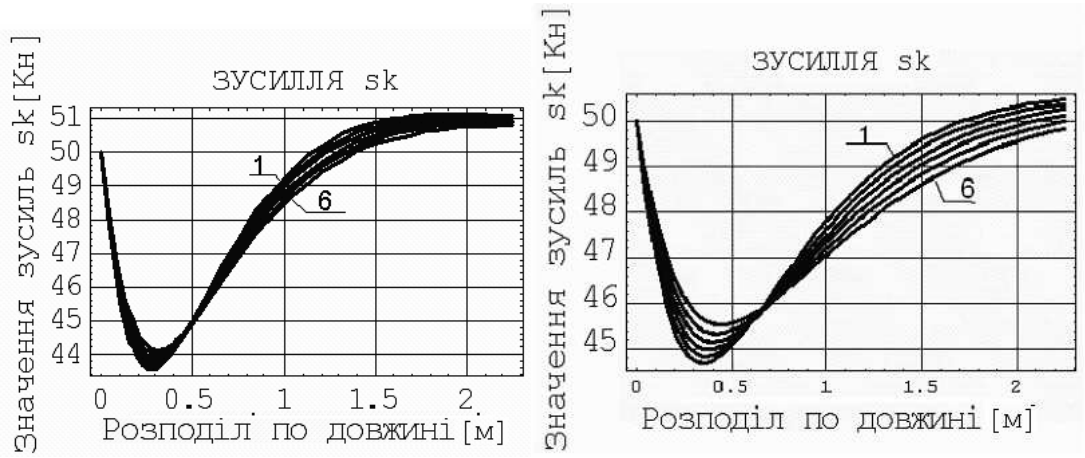
а) б)

Рис. 5 – Графік розподілу зусиль по поверхні анкера
а) при збільшенні D_{vt} ;б) при зменшенні D_{vt}



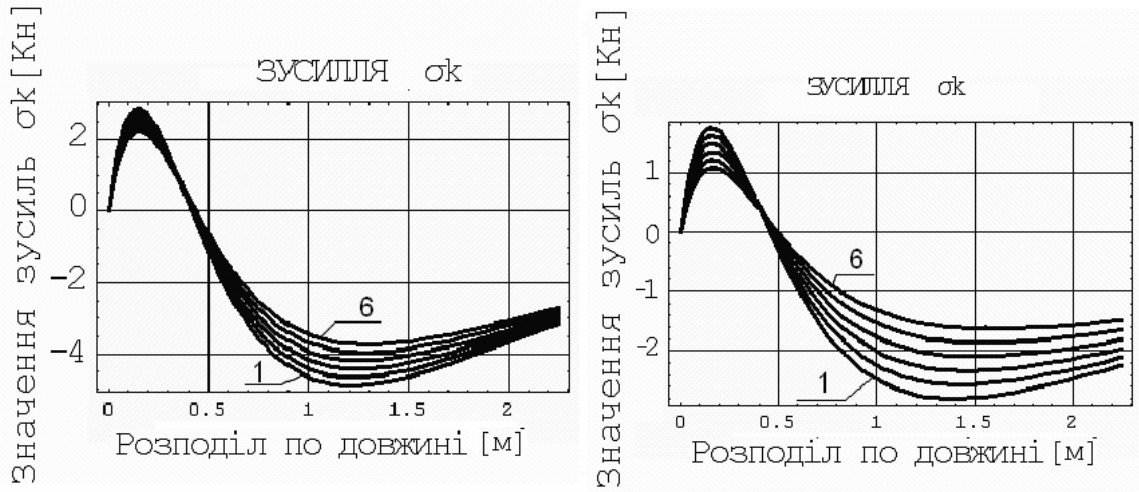
а) б)

Рис. 6 – Графік зовнішніх сил а)при збільшенні E_{vt} ; б) при зменшенні E_{vt}



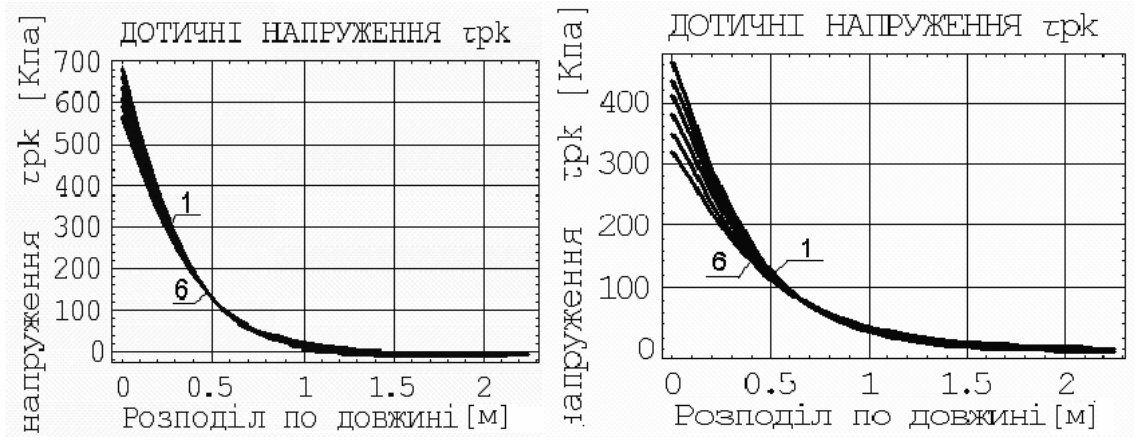
а) б)

Рис. 7 – Графік зусиль s_k а) при збільшенні D_{vt} ; б)при зменшенні D_{vt}



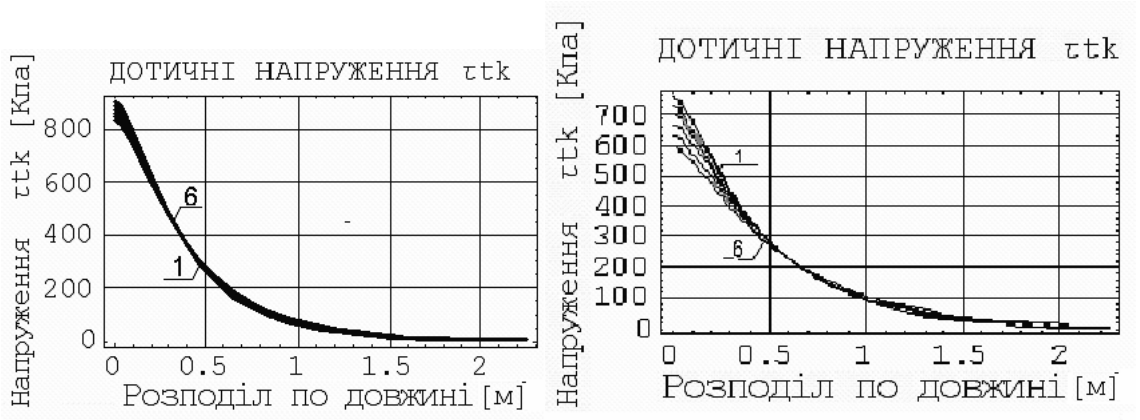
а) б)

Рис. 8 – Графік зусиль у втулці а) при збільшенні D_{vt} ; б)при зменшенні D_{vt}



а) б)

Рис. 9 – Графік дотичних напружень на поверхні анкеру а) при збільшенні D_{vt} ; б)при зменшенні D_{vt}



а) б)

Рис. 10 – Графік дотичних напружень на поверхні шпура а) при збільшенні D_{vt} ; б)при зменшенні D_{vt}

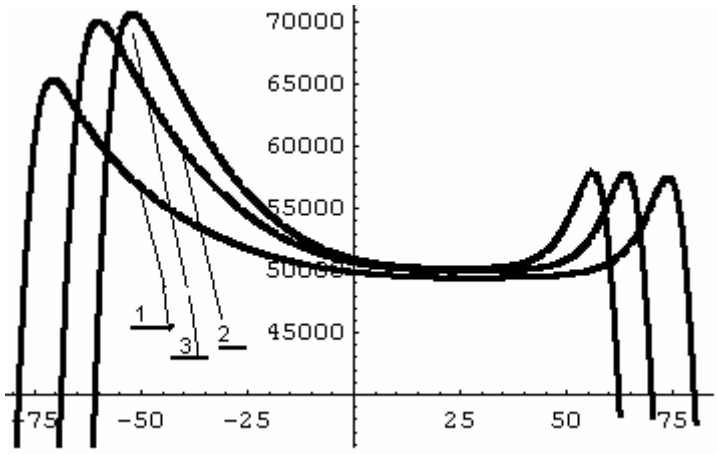


Рис. 11 –Графік інтенсивності дотичних напружень при
1) D_{vt} = *28мм*; 2) D_{vt} = *32мм;*2) D_{vt} = *36 мм;*

Аналіз наведених вище рисунків дозволив зробити висновки про наступне:

1. за умов зменшення діаметру втулки із фіксуючої суміші переміщення вздовж анкерної штанги є більшими (див.рис.4 б), ніж за збільшених значень діаметру (див. рис.4 а). Цей факт відповідає закону Гука і пояснюється зменшенням площі поперечного перетину втулки із фіксуючої суміші;
2. зменшення діаметру втулки із фіксуючої суміші, призводить до незначного зменшення (у гирла шпура) сил на контактній поверхні анкерна штанга – фіксуюча суміш (див. рис.5);
3. зменшення діаметру втулки із фіксуючої суміші, призводить до зменшення сил (у гирла шпура) на контактній поверхні фіксуюча суміш – гірська порода майже у два рази (див. рис. 6 б);
4. зусилля у поперечних перетинах анкерної штанги, за умов зменшення діаметру втулки із фіксуючої суміші (див. рис.7 б), носять більш рівномірний характеру вздовж анкерної штанги у порівнянні з випадком його збільшення (див. рис. 7 а);

5. зусилля у поперечних перетинах втулки із фіксуючої суміші, за зменшення її діаметру (див. рис.8 б), зменшуються майже у два рази і носять більш рівномірний характер у порівнянні з рис. 8 а. Окрім того, швидкість зниження їх за величиною з кроком зниження її діаметра досить висока;
6. дотичні напруження на контактній поверхні анкерна штанга – втулка із фіксуючої суміші зменшуються зі зменшенням її діаметру (див. рис. 9 б) майже у два рази.
7. зменшення діючих дотичних напружень відбувається і на контактній поверхні фіксуюча суміш – стінка шпура. Так зі збільшенням діаметру втулки із фіксуючої суміші величина дотичних напружень залишається майже незмінною. За зменшенням діаметру відбувається зниження величин дотичних напружень, що не перевищують 25% (див. рис.10 б);
8. інтенсивність дотичних напружень вздовж анкерної штанги суттєво залежить від величини діаметру втулки із фіксуючої суміші (див. рис. 11). Цей факт пов'язаний із зміною компонент тензору напружень у околі шпура і викликаний зміною характеру розподілу дотичних напружень на його поверхні. Характер зміни інтенсивності дотичних напружень вздовж анкера за меншого її діаметра (див. рис.11, крива 1) є більш рівномірним, ніж за більшого за величиною (див. рис. 11, крива 3).

Висновки:

- напружено – деформований стан у околі шпура залежить від діаметру шпура (або втулки із фіксуючої суміші);

- використання діаметру шпура меншого за номінальний дозволяє забезпечити більш рівномірний розподіл параметрів напружено – деформованого стану у системі «анкерна штанга – фіксуюча суміш – гірська порода»;

- використання ж діаметру шпура більшого за номінальний (за сталого діаметру анкерної штанги) призводить до перерозподілу сил на контактних поверхнях. Так, сили на контактній поверхні «анкерна штанга – фіксуюча суміш» збільшуються за величиною до 25%, при зменшенні їх на контактній поверхні «фіксуюча суміш – гірська порода» на 10% .Такий перерозподіл не є бажаним, оскільки призводить до зростання сил на більш слабкій контактній поверхні.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. 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.

3. Ларіонов Г.І., Павлишин С.М., Головко 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.

4. Малинин Н.Н., Прикладная теория пластичности и ползучести – М.: Машиностроение, 1975. – 400с.

5.Ларіонов Г.І Про вплив форм розподілу дотичних напружень на напружено-деформований стан масиву гірських порід у околі замкової частини шпура анкера.. Материалы Шестой промышленной международной научно-технической конференции „Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях”- п. Славское,20-24 февраля 2006г.-с.244 - 246