

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.6

УДК 622.281.9

**Ю.Ю. Гупало**, аспірант, uliana.gupalo@gmail.com

**І.В. Бельмас**, д.т.н., професор, belmas09@meta.ua

**О.І. Білоус**, к.т.н., доцент, bilouselena66@gmail.com

**Г.І. Танцура**, к.т.н., доцент, hannaivan71@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

## НАПРУЖЕНИЙ СТАН КАНАТНИХ АНКЕРІВ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДАННЯ

*У роботі наведено результати вивчення дослідження впливу напруженого стану канатних анкерів глибокого закладання на елементи його структури. Метою дослідження ставилася розробка методу визначення напруженого стану канатних анкерів глибокого закладання. Отримані результати надають можливість визначати напружений стан елементів канатних анкерів, зокрема дотичних напружень по поверхні адгезійного зв'язку троса та закріплювача, враховувати напруження в процесі розробки анкеру, що збільшує експлуатаційний термін використання зазначених конструктивних елементів.*

**Ключові слова:** напружений стан; канатні анкери; циліндричний шпур; переріз троса; локальні збурення.

*The work presents the results of studying the study of the influence of the stress state of deep anchor rope anchors on the elements of its structure. Purpose of research was to develop a method for determining the stress state of deep anchor rope anchors. The obtained results make it possible to determine the stress state of the elements of rope anchors, in particular tangential stresses on the adhesive bond surface of the cable and fastener, take into account stresses in the anchor design, which increases the service life of these structural elements.*

**Keywords:** stress; rope anchors; cylindrical bore; cable cross section; local perturbations.

### Постановка проблеми

В Україні видобувна промисловість вважається однією з перспективних сфер економіки, а геотехнічна механіка потребує нових вирішень актуальних проблем, пов'язаних з видобувною сферою. У продуктивних підрозділах підприємств при виконанні робіт необхідним є зміцнення породного пласту масиву за допомогою анкерних закріплень різного типу.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Інститутом геотехнічної механіки Національної академії наук України розроблено технологію опорно-анкерного кріплення гірських порід під час здійснення підземних робіт, пов'язаних з видобутком корисних копалин. Для уникнення порушення природної монолітності приконтурних порід запропоновані канатні анкери глибокого закладання [1]. Проте через те, що конструкція опорно – анкерних кріплень має певні особливості, необхідно враховувати наступні параметри канатних анкерів глибокого закладання: довжина, діаметр, міцність їх закріплення, поперечний переріз конструкції [7]. Це обов'язково слід брати до уваги при виникненні пошкодження текстури пласту породи не лише з точки зору монолітності, а й безпеки проведення робіт [8]. При застосуванні одного анкерного кріплення виникає нерівномірність розподілу полів навантаження, що призводить до тектонічних порушень, розламності гірничої породи. Використання ж декількох канатних анкерів дозволяє зменшити зону не пружних деформацій та згладити контур розподілу полів навантаження, залишивши локальні збурення на тектонічному пласті породи [9]. Питанням локальних збурень шляхом зміни анкерних штанг, що призводять до порушення пластів, займалися декілька дослідників, проте розв'язання задачі початковим натягненням анкерних штанг залишало збільшену зону не пружних деформацій [10].

### Формулювання мети дослідження

Конструктивно анкер має один трос. Він за схемою взаємодіє з масивом гірничих порід через полімерний закріплювач у шпурі. Загалом анкер представляє собою композитну двоша-

рову конструкцію. Шарувата композитна структура притаманна також гумотросовим канатам та стрічкам. У своєму складі вони мають різну кількість тросів, запресованих в оболонку з матеріалу, що має інші властивості. Напружений стан канатів та стрічок досліджено в багатьох роботах [2—6]. Проте в них не враховано те, що в анкері глибокого закладання трос один, взаємодіє він з оболонкою циліндричної форми. Тому слід встановити характер та механізм розподілу сил між елементами канатних анкерів. Разом з тим, побудова моделі методами механіки шаруватих композитних матеріалів потребує врахування взаємодії тросів в конструктивних елементах такого типу. Метою дослідження є розробка методу визначення напруженого стану канатних анкерів.

### Виклад основного матеріалу

Сформулюємо модель взаємодії анкера через шар закріплювача з масивом гірської маси. В анкері діаметр троса значно менший за розміри масиву в площині йому нормалі. Як наслідок, жорсткість масиву на стискання в напрямку, паралельному тросу можна прийняти безмежною. Переріз троса анкерного кріплення будемо вважати круглим. Трос розташований у циліндричному шпурі. Приймемо, що їх осі збігаються. Між масивом та тросом знаходиться закріплювач. Зовнішня його поверхня нерухома та передає лише дотичні напруження. Внутрішня поверхня закріплювача взаємодіє з зовнішньою поверхнею троса без можливості їх взаємного зсуву. Кінець троса в масиві матеріалу не навантажений. Кінець троса, що розташований на поверхні виробки, є нерухомо приєднаний до нерухомого масиву та нерухомим. З боку масиву на трос діє сила  $P$ . Приймемо також, що деформування троса та закріплювача відбувається в межах лінійного закону. За прийнятих умов деформування тросу вісесиметричне, лінійне. Віднесемо трос до циліндричної системи координат  $zr\theta$ . Вісь  $z$  сумістимо з віссю троса. Виріжемо з троса елемент малої довжини. Складемо умову його рівноваги

$$dp + \pi dr \cdot dz = 0, \tag{1}$$

де  $p$  — внутрішня сила навантаження троса;  $d$  — діаметр троса;  $\tau$  — дотичне напруження, що діє по поверхні взаємодії троса та закріплювача.

За законом Гука

$$p = E\pi \frac{d^2}{4} \cdot \frac{d\omega}{dz}, \tag{2}$$

де  $E$  — зведений модуль пружності матеріалу троса на розтягнення;  $\omega$  — зміщення перерізу троса вздовж осі  $z$  (відносно масиву).

Дотичне напруження

$$\tau = -G \frac{2\omega}{D-d}, \tag{3}$$

де  $G$  — модуль зсуву матеріалу закріплювача;  $D$  — зовнішній діаметр закріплювача — діаметр шпuru.

Врахуємо (2), (3). Запишемо (1) у вигляді

$$\frac{d^2\omega}{dz^2} - \frac{G}{E} \cdot \frac{8\omega}{E(D-d)} = 0. \tag{4}$$

Розв'язок рівняння (4) в переміщеннях.

$$\omega = Ae^{\alpha z} + Be^{-\alpha z} + \frac{4Pz}{E\pi d^2} + \delta, \tag{5}$$

де  $a = \pm \sqrt{\frac{G}{E} \cdot \frac{8}{(D-d) \cdot d}}$ ;  $\delta$  — невідоме переміщення троса як жорсткого тіла (приймемо  $\delta = 0$ ).

Внутрішні сили розтягу троса визначимо за законом Гука (2)

$$p = E\pi \frac{d^2}{4} (Ae^{\alpha z} - Be^{-\alpha z}) \cdot \alpha + P. \tag{6}$$

З умов навантаження троса знайдемо значення невідомих коефіцієнтів. Розташуємо початок осі координат в площині його входження в гірський масив. У цьому перерізі сила нава-

нтаження троса дорівнює  $P$ . У перерізі  $z = L$  навантаження троса дорівнює нулю. Вказане дозволяє спростити вирази (7) та (8)

$$\omega = \frac{4P}{E\pi d^2} \cdot \left( Z - \left( \frac{e^{\alpha s} + e^{-\alpha s}}{e^{\alpha s} - e^{-\alpha s}} \right) \alpha \right), \quad (7)$$

$$p = P \cdot \left( 1 - \frac{e^{\alpha s} - e^{-\alpha s}}{e^{\alpha L} - e^{-\alpha L}} \right). \quad (8)$$

З урахуванням виразу (3) дотичні напруження, що діють по поверхні адгезійного зв'язку троса та введеного у шпур закріплювача, мають забезпечувати умову міцності:

$$\tau = \frac{2}{D-d} \cdot \frac{8}{E\pi d^2} \cdot \left( Z - \left( \frac{e^{\alpha s} + e^{-\alpha s}}{e^{\alpha L} - e^{-\alpha L}} \right) \right) \leq |\tau|, \quad (9)$$

де  $[\tau]$  — допустиме з умови міцності дотичне напруження.

Аналіз виразів (9)—(11) дозволяє зробити наступні висновки.

Закономірності напружено-деформованого стану канатних анкерів глибокого закладання різної конструкції залишаються аналогічними для різних перерізів у разі, коли для двох анкерів виконується умова

$$a_2 z_2 = a_1 z_1.$$

Параметр  $\alpha$  залежить від механічних параметрів троса, закріплювача та діаметрів троса та шпуру. Відповідно від цих механічних та геометричних параметрів залежить напружено-деформований стан анкера.

За наведеним алгоритмом розраховано такий стан для анкера з наступними складовими. Діаметр отвору в гірській масі 50 мм. Зведений модуль пружності матеріалу троса  $10^5$  МПа. Модуль зсуву матеріалу закріплювача  $10^2$  МПа. Довжина троса 5 м. На графіках (рис. 1) наведено розподіли сил навантаження тросів різного діаметра анкера та тангенсів кутів зсуву матеріалу закріплювача за наведених параметрів елементів анкера.

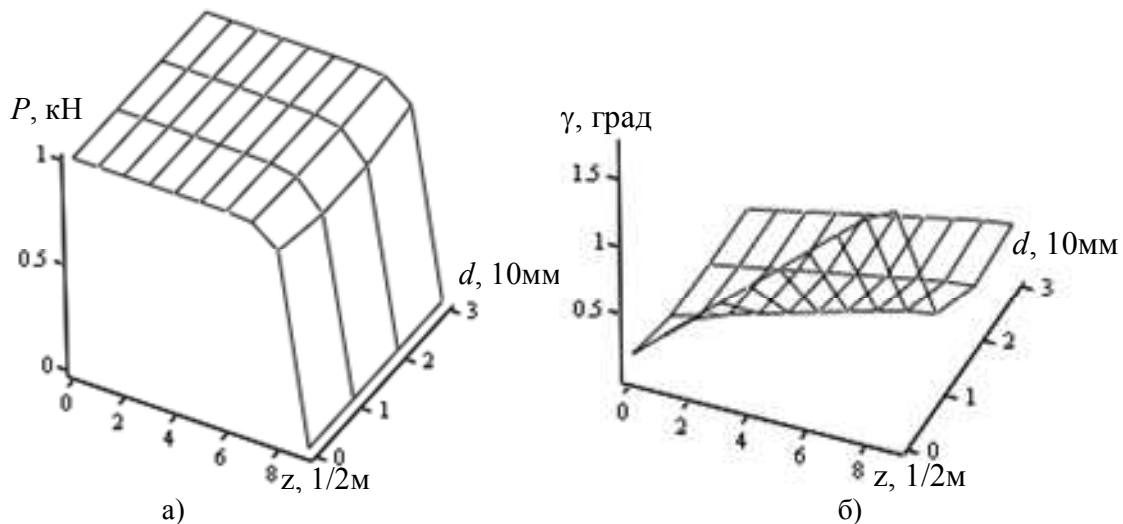


Рис. 1. Напружено-деформований стан тросів та закріплювача: а) сили навантаження тросів по довжині троса ( $z$ ) та в залежності від діаметра троса ( $d$ ); б) кути зсуву закріплювача відносно довжини троса ( $z$ ) та діаметра троса ( $d$ )

Наведені графіки показують, що внутрішні сили розтягу троса спадають до нуля практично лише на кінцевій його частині. В перерізі кінцівки троса кути зсуву закріплювача максимальні.

### Висновки

Дослідженням напруженого стану канатного анкера встановлено, що за характером взаємозв'язку троса з закріплювачем небезпечним є переріз закінчення троса. У зазначеному місці внутрішні сили його розтягу спадають до нуля. Виходячи з цього, існуюча схема застосування не є надійною через високий рівень ризику обриву канатного анкера глибокого закладання. Запропонований метод визначення напруженого стану буде доцільним під час проектування схем кріплення та може використовуватися для визначення напруженого стану канатних анкерів глибокого закладання.

### Список використаної літератури

1. Krukovskiy O. The deep rope bolts as an element of the roof bolting structure. Abstracts of XVI International Scientific and Practical Conference «Science and society, patterns and trends of development» March 30–April 02, 2021. Vienna, Austria, 2021. С. 237-239.
2. Волоховский В.Ю., Радин В.П., Рудяк В.П. Концентрация усилий в тросах и несущая способность резиновых конвейерных лент с повреждениями. Вестник МЭИ. 2010. №5. С. 5-12.
3. Бельмас И.В. Напряженное состояние резиновой ленты при произвольном повреждении тросов Проблемы прочности и надежности машин. 1993, №6 С. 45-48.
4. Ропай В.А. Шахтные уравновешивающие канаты: монография / Днепропетровск : Национальный горный университет, 2016. 263 с.
5. Belmas I., Kolosov D., Dolgov O., Tantsura G. The stress-strain state of the flat rope of hoisting engine with considering their technical state (Напружено-деформований стан плоского канату підйомної машини з урахуванням її технічного стану). Innovations in science and education: challenges of our time. Collection of scientific papers. London: LASHE, 2017, p. 191-196.
6. Бельмас И.В., Колосов Д.Л., Білоус О.І. Взаємодія гумотросового канату з приводним барабаном. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки) Каменське : ДДТУ, Тематичний випуск. Машини і пластична деформація металу. 2018. С.168-173.
7. СОУ 10.1.05411357.010:2014. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги.. Київ: Видання ІГТМ НАН України, 2014. 88 с.
8. Круковский О.П., Круковська В.В. Технология анкерного крепления горной выработки при переходе геологического нарушения. Геотехнічна механіка. 2017. №132. С. 17-25.
9. Круковский А.П., Круковская В.В., Виноградов Ю.А. Математическое моделирование неустановившейся фильтрации воды в выработку с анкерной крепью. Mining of Mineral Deposits. Днепр: НГУ, 2017. № 11(2). С. 21-27.
10. Спосіб опорно-анкерного кріплення гірничих виробок: пат.45341 Україна: E21D 11/00, E21D 13/00/ № u2009 04430; заявл. 05.05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. №21.

### TENSE CONDITION OF DEEP INSERT ROPES

**Hupalo Yu., Belmas I., Belous O., Tantsura G.**

#### Abstract

The problem of determining the stress state of deep anchor rope anchors between structural elements is solved in the scientific work. The purpose of this work was to develop a method for determining the stress state of deep anchor rope anchors in order to increase the level of safety of mining operations and maximize the monolithic nature of the rock formation. According to the goal, the main task was to study the relationship between the elements of rope anchors and the nature of the load distribution.

An analysis of recent work and publications has shown that the use of a single anchor is uneven distribution of load fields, high concentration of stress forces around the perimeter of the structure and the formation of uneven zones of inelastic deformations. However, the stress forces are reduced by using several rope anchors, leaving local perturbations. Attempts to reduce local perturbations on the surface of the tectonic layer of the rock led only to an increase in current.

The model of interaction of an anchor through a layer of a fixer with an array of rock mass is formed. In the anchor, the cable is much smaller in diameter than the size of the array in the plane it is normal. As a result, the compressive stiffness of the array in the direction of the parallel cable can be assumed to be infinite. The cross section of the anchor cable will be considered round. The cable is located in a cylindrical bore. Assume that their axes coincide. There is a fastener between the array and the cable. Its outer surface is stationary and transmits only tangential stresses. The inner surface of the fastener interacts with the outer surface of the cable without the possibility of their mutual displacement.

According to this model, our proposed method of determining the stress state allows you to calculate the stress forces and set the allowable characteristics at the stage of manufacture of rope anchors. It is also possible to determine the stress state of the elements of the deep anchor rope anchors, in particular the tangential stresses on the surface of the adhesive bond of the cable and fastener. According to the results, the prospects of the study are analytical calculations of this design and derivation of optimal parameters of rope anchors.

### References

- [1] Krukovskiy O.(2021) The deep rope bolts as an element of the roof bolting structure. Abstracts of XVI International Scientific and Practical Conference «Science and society, patterns and trends of development» (pp.237-239). Vienna, Austria [in United Kindom].
- [2] Volohovskij V.Yu., Radin V.P., Rudyak M.B. (2010). Koncentraciya usilij v trosah i nesushaya sposobnost rezinotrosovyh konvejernyh lent s povrezhdeniyami [Concentration of efforts in cables and bearing capacity of rubber-cable conveyor belts with damage]. Vestnik Moskovskogo energeticheskogo Instituta – Vestnik of the Moscow Energy Institute, 5, 5-12. [in Russian].
- [3] Belmas I.V. (1993) Napryazhennoe sostoyanie rezinotrosovoj lenty pri proizvolnom povrezhdenii trosov [The stressed state of the rubber-cable tape in case of arbitrary damage to the cables]. – Problemy prochnosti i nadezhnosti mashin – Problems of strength and reliability of machines, 6, 45-48[in Russian].
- [4] Ropaj V.A. (2016) Shahtnye uravnoveshivayushie kanaty: monografiya [Mine balancing ropes: monograph]. Dnepropetrovsk : Nacionalnyj gornyj universitet [in Russian].
- [5] Belmas I., Kolosov D., Dolgov O., Tantsura G. (2017) The stress-strain state of the flat rope of hoisting engine with considering their technical state (Напружено-деформований стан плоского канату підйомної машини з урахуванням її технічного стану). Innovations in science and education: challenges of our tame. Collection if scientific papers.(pp.191-196) London: LASHE [in United Kindom].
- [6] Belmas I.V., Kolosov D.L., Bilous O.I. (2018) Vzayemodiya gumotrosovogo kanatu z privodnim barabanom[Interaction of a gum cable rope with a drive drum]. Zbirnik naukovih prac Dniprovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu (tehnicni nauki) – Collection of scientific practices of the Dniprovsk State Technical University (technical sciences) Tematichnij vipusk. Mashini i plastichna deformaciya metalu. (pp.168-173) Kamenske : DDTU [in Russian].
- [7] SOU 10.1.05411357.010:2014. Sistema zabezpechennya nadijnogo ta bezpechnogo funkcionuvannya girnichih virobok iz ankernim kriplennyam. Zagalni tehnicni vimogi [System for ensuring reliable and safe operation of mine workings with anchoring. General technical requirements.](2014). SOU 10.1.05411357.010:2014 *from 10<sup>th</sup> November 2014*. Kiyiv: Vidannya IGTМ NAN Ukrayini [in Ukrainaine].
- [8] Krukovskij O.P., Krukovska V.V. (2017). Tehnologiya ankernogo krepleniya gornoj vyrabotki pri perehode geologicheskogo narusheniya [Technology of anchor fastening of a mine working at the transition of a geological disturbance]. Geotehnicna mehanika – Geotechnical mechanics,132, 17-25

- [9] Krukovskij A.P., Krukovskaya V.V., Vinogradov Yu.A.(2017) Matematicheskoe modelirovanie neustanovivshejsya filtracii vody v vyrabotku s ankernoj krepyu [Mathematical modeling of unsteady water filtration into a mine working with roof bolting]. Mining of Mineral Deposits. – (Vol.11(2)), (pp. 21-27). Dnepr: NGU. [in Russian].
- [10] Sposib oporno-ankernogo kriplennya girnichih virobok [Method of support-anchor fastening of girders]: pat.45341 Ukrayina: E21D 11/00, E21D 13/00/ – № u2009 04430; zayavl. – 05.05.2009; opubl. 10.11.1009, Byul. №21, 3 s. [in Ukrainaine].