

The results of mathematical modeling of roof bolts, installed in a uniform massif, are shown. The dependences of the change in relative displacement of the roof on the distance between the anchors and resize rational influence zone of single anchor on the angle of inclination are achieved. The analysis of the results is done. The rational density of the homogeneous solid anchoring during the excavations is defined.

Key words: roof bolting, anchoring density, mathematical modeling, surrounding massif.

REFERENCES

1. SHirokov, A.P., Lider, V.A. and Pislyakov, B.G. (1976), *Raschet ankernoy krep'i dlya razlichnykh usloviy primeneniya* [The calculation of roof bolts for different application conditions], Nedra, Moscow, Russia.
2. Krukovsriy, A.P. (2005) "Justification of the parameters and conditions of use of roof bolting in coal mines Dis... Cand. Sc. (Engineering.), 05.15.09, The institute of geotechnical mechanics, Dnipropetrovsk, Ukraine.
3. Bulat, A.F. and Vinogradov, V.V. (2002), *Oporno-ankernoe krep'lenie gornykh vyrabotok ugolnykh shakht* [Support-anchoring of mine workings of coal mines], The institute of geotechnical mechanics, Dnipropetrovsk, Ukraine.
4. Tereschuk, R. (2011), "Determination of influence a single anchor on a uniform surrounding massif", *Ground control in mining*, no. 19, pp. 183-195.
5. Tereschuk, R. (2013), "Defining the parameters of influence a single anchor, set in a uniform surrounding massif", *Materialy mizhnarodnoyi konferentsiyi «Forum girnykiv – 2013»* [Materials of international conference «Forum of mining engineers – 2013»], Dnipropetrovsk, NMU, October 2-5, 2013, pp. 63-68.

Стаття надійшла 29.10.2013.

УДК 622.235

МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ГЛИБИНИ ВИКОРИСТАННЯ НАБРИЗКБЕТОННОГО КРІПЛЕННЯ, ЩО ДОСЛІДЖЕНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В. В. Коваленко

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: kovalenko_vlad@mail.ru

Наведені результати моделювання методом скінчених елементів напружено-деформованого стану виробку, закріпленої набризкбетонним покриттям. Для формування розрахункової схеми обрані гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови розробки найбільш характерні для більшості шахт Донбасу на глибинах 500...700 м, що пояснюється тим, що на цих глибинах набризкбетон використовується рідко або взагалі не використовується. Визначені НДС набризкбетонного кріплення залежно від товщини покриття і місця розташування в арочній області. Подані діаграми залежності зміни коефіцієнта стійкості набризкбетонного покриття при його товщині 20 см від кута дії еквівалентних напружень.

Ключові слова: набризкбетонне кріплення, метод скінчених елементів, еквівалентні напруження, коефіцієнт стійкості кріплення, приконтурний масив порід.

ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАБРИЗГБЕТОННОЙ КРЕПИ, ИССЛЕДОВАННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. В. Коваленко

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: kovalenko_vlad@mail.ru

Представлены результаты моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния (НДС) выработки, закрепленной набрызгбетонным покрытием. Для формирования расчетной схемы выбраны горно-геологические и горнотехнические условия разработки наиболее характерные для большинства шахт Донбасса на глубинах 500...700 м, что объясняется тем, что на этих глубинах набрызгбетон используется редко или вообще не используется. Определены НДС набрызгбетонной крепи в зависимости от толщины покрытия и местоположения в арочной области. Приведены диаграммы зависимости изменения коэффициента устойчивости набрызгбетонного покрытия при его толщине 20 см от угла действия эквивалентных напряжений.

Ключевые слова: набрызгбетонная крепь, метод конечных элементов, эквивалентные напряжения, коэффициент устойчивости крепи, приконтурный массив пород

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Протягом багатьох років набризкбетонне кріплення набуло широкого застосування при кріпленні горизонтальних і похилих виробок як на вугільних так і на рудних шахтах України. За кордоном цей вид кріплення з успіхом використовується для кріплення тунелів, гірничих виробок вугільних шахт, у тому числі й тих, що перебувають у зоні впливу очисних робіт [1]. Відомий позитивний досвід застосування набризкбетонного кріплення в різних гірничо-геологічних умовах у гірничорудній і вугільній промисловості при ремонті й новому кріпленні виробок різного призначення. Більш ніж піввіковий досвід застосування набризкбетонного кріплення свідчить про широкі можливості й перспективи використання даного виду кріплення.

Ефективність застосування набризкбетонного кріплення обумовлена високим ступенем механізації його зведення, значним зниженням товщини конструкції порівняно з опалубним бетоном за тієї ж несучої здатності, зменшенням необхідної площі перетину виробки у світлі й збільшенням продуктивності праці прохідників, зайнятих на кріпленні.

Згідно з даними, наведеними у роботі [2], кріплення з набризкбетону в «чистому» вигляді й у сполученні із залізобетонними або металевими анкерами застосовується в досить широкому діапазоні умов: на глибині від 170 до 1300 м, у породах міцністю на стиск від 150 до 17 МПа, у виробках площею перетину від 5,2 до 117 м², безпосередньо у вибої й на відстані 20...120 м від вибою, при перекріпленні виробок, проведенні виробок комбайном і за допомогою буровибухових робіт.

Набризкбетон застосовується в основному в стійких ($\gamma_H/R \leq 0,3$), рідше середньостійких породах. Область застосування набризкбетону значно обмежена його фізико-механічними показниками роботи в області сталих навантажень. Набризкбетон, хоча й перевершує звичайний бетон за міцністю, однак, він також характеризується тендітним руйнуванням. Введення дисперсних волокон у набризкбетон забезпечує перерозподіл напружень і підвищення працездатності набризкбетону в області тріщиноутворювання.

Зі збільшенням глибини розробки вугільних шарів усе більше проявляється необхідність розробки й впровадження нових технологій, що дозволяють максимально ефективно використати міцнісні параметри набризкбетону за рахунок його дисперсного армування, розширення його можливостей як конструкційного матеріалу, а також вивчення можливого розширення області його використання.

Досвід застосування фібробетону свідчить, що він активно використовується як кріплення тільки в рудних шахтах, що характеризуються сприятливими гірничо-геологічними умовами.

Питання роботи фібробетону в складних гірничо-геологічних умовах, а також вивчення можливості підвищення робочих характеристик набризкбетонного кріплення при його дисперсному армуванні є завданнями, які дотепер так і не були детально розглянуті й вивчені.

Постановка завдання. У численних роботах із кріплення виробок набризкбетонном наведені результати аналітичних досліджень параметрів набризкбетонного кріплення, однак у них не досліджені закономірності зміни геомеханічних параметрів кріплень – вплив жорсткісних характеристик кріплення на напружено-деформований стан породного масиву. Як правило, аналітичний розрахунок кріплення з урахуванням опору порід, ускладнений мінливістю навантаження, є досить трудомістким. Для практичних розрахунків такої складної конструкції, як набризкбетонне (фібробетонне) кріплення, може бути застосований чисельний метод. Варіюванням характеристик кріплення – міцністю й товщиною шару, можуть бути визначені оптимальні параметри для конкретних гірничо-геологічних умов.

Метою цієї роботи є розробка чисельної моделі набризкбетонного кріплення й дослідження впливу параметрів розглянутого кріплення на напружено-деформований стан приконтурного масиву порід.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Послідовність досліджень включала наступні етапи:

- побудова й аналіз картини напружено-деформованого стану породного масиву й набризкбетонного кріплення із наступним визначенням переміщень точок контуру кріплення;

- визначення залежності конвергенції боків виробки від товщини, міцності набризкбетону й параметра γ_H/R ;

- виявлення діапазону значень γ_H/R , за яких зсуви точок контуру виробки мінімальні;

- визначення коефіцієнта запасу стійкості залежно від товщини покриття й параметра γ_H/R .

Для проведення математичного моделювання напружено-деформованого стану (НДС) виробки, закріпленої набризкбетонного кріпленням, приймаємо один із найпоширеніших методів чисельного дослідження – метод скінчених елементів (МСЕ).

У ході проведення досліджень будемо враховувати не стільки НДС приконтурного масиву, скільки стан елементів набризкбетонного кріплення. Із утратою несучої здатності набризкбетонного кріплення відбувається наступна втрата стійкості виробки.

Основними результатами даних досліджень являлась оцінка впливу набризкбетонного кріплення на напружений стан приконтурного масиву.

Для формування розрахункової схеми обрані гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови розробки найбільш характерні для більшості шахт Донбасу на глибинах 500...700 м. Це пояснюється тим, що на цих глибинах набризкбетон використовується рідко або взагалі не використовується.

Аналізу піддавався напружений стан однорідного ізотропного масиву, що вміщує виробку аркової форми із розмірами: ширина – 5 м, висота – 3,5 м. Для виконання обчислень прийнята розрахункова схема, у якій апроксимація області виконана чотирикутними скінченими елементами. Відкинута частина безконечного масиву замінялася на контурі області рівномірно розподіленим гідростатичним навантаженням, рівним γH . Порооди, що вміщують, представлені аргілітом.

Міцнісні характеристики вміщуючих порід і вугілля наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики порід і матеріалу кріплення

Тип порід / матеріалу	Межа міцності на стиск, σ_c , МПа	Межа міцності на розтягання, σ_p , МПа	Об'ємна маса, γ , МН/м ³	Модуль Юнга, $E \cdot 10^4$, МПа	Коефіцієнт Пуассона, μ
Аргіліт	40	3	$2,5 \cdot 10^{-2}$	2,7	0,23
Набризкбетон	22,5	1,5	$2,2 \cdot 10^{-2}$	2,55	0,2

У роботі використовується алгоритм рішення, що припускає кілька етапів. На першому кроці виконується формування кінцево-елементної реалізації розрахункової схеми, завдання навантажень й обмеження по переміщеннях у основі й з боків моделі. На другому етапі виконується рішення лінійного завдання й побудова картини напружено-деформованого стану породного масиву. Для проведення моделювання використана програма COSMOS/M.

Фактично в моделі представлені дві групи елементів, які відповідають набризкбетонному кріпленню. Варіюванням фізико-механічних параметрів у цих групах вдавалося досліджувати діапазон різних варіантів. Розглянуто було кілька варіантів, серед яких першим варіантом був контрольний, при якому елементна група відповідна набризкбетонному кріпленню виключалося із проведення розрахунку, і досліджувалося НДС порід у «чистому» виді, без впливу кріплення (рис. 1). Далі включалася в розрахунок елементна група набризкбетонне кріплення 1, і в останньому розрахунку досліджувалася ситуація, за якої урахувалися обидві елементні групи, відповідні набризкбетонному кріпленню.

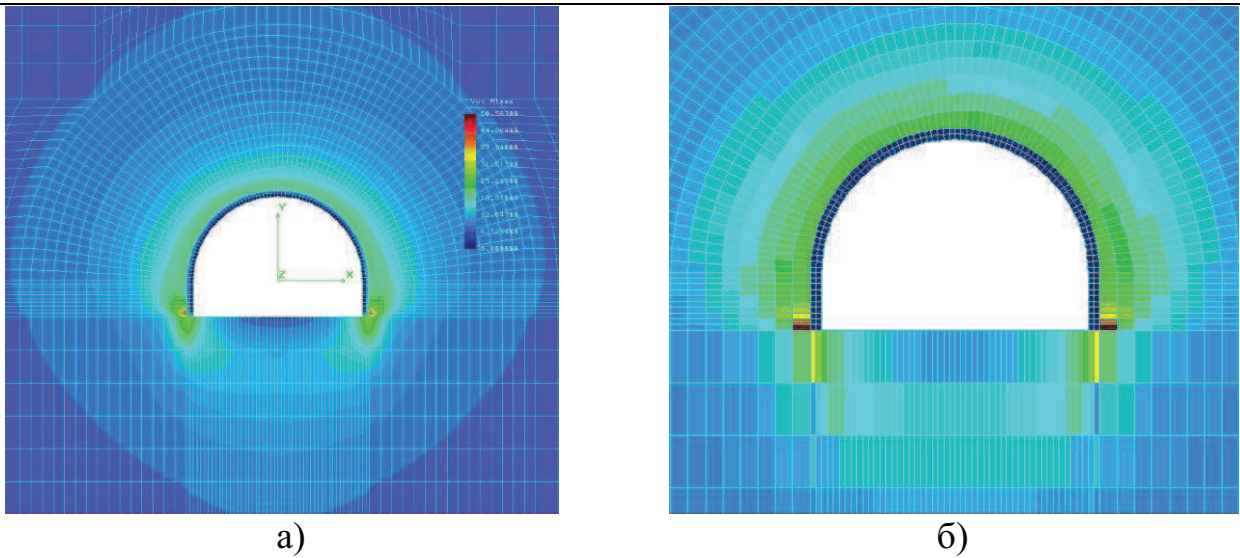


Рисунок 1 – Картина розподілу еквівалентних напружень (а) і переміщень (б) для виробки незакріпленої кріпленням із набризкбетону

Виходячи із наведеної на рис. 1 картини розподілу еквівалентних напружень впливає, що радіус області непружних деформацій r змінюється в діапазоні 4,5...5...5,4 м, а показник r_L/R змінюється в межах 1,95...2...2,35, що згідно з [4] перебуває в рамках припустимих меж, як для аналітичного, так і чисельного рішення тестового завдання.

На другому етапі рішення завдання визначалося НДС приконтурного масиву гірничої виробки із набризкбетонним кріпленням на глибині 500 м (рис. 2).

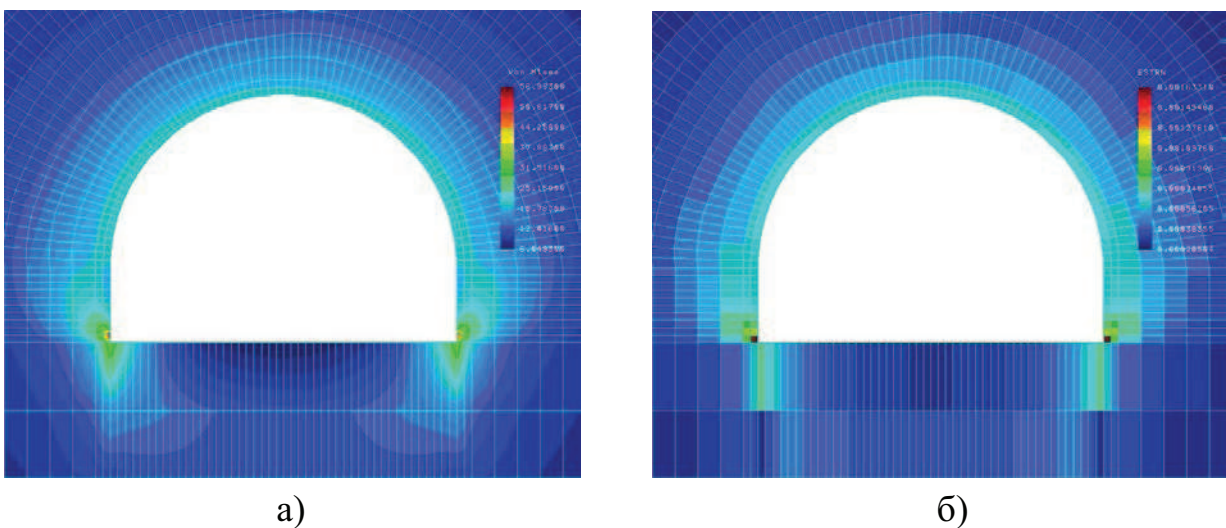


Рисунок 2 – Картина розподілу еквівалентних напружень (а) і переміщень (б) для виробки, що закріплена набризкбетоном на глибині 500 м

На підставі отриманої картини розподілу еквівалентних напружень проведені дослідження з визначення напружень, що виникають на контурі набризкбетонного кріплення. У результаті отримані три діаграми напружень на різних ділянках набризкбетонного кріплення при товщині набризкбетонного покриття (0 м – рис. 3; 0,1 м – рис. 4; 0,2 м – рис. 5).

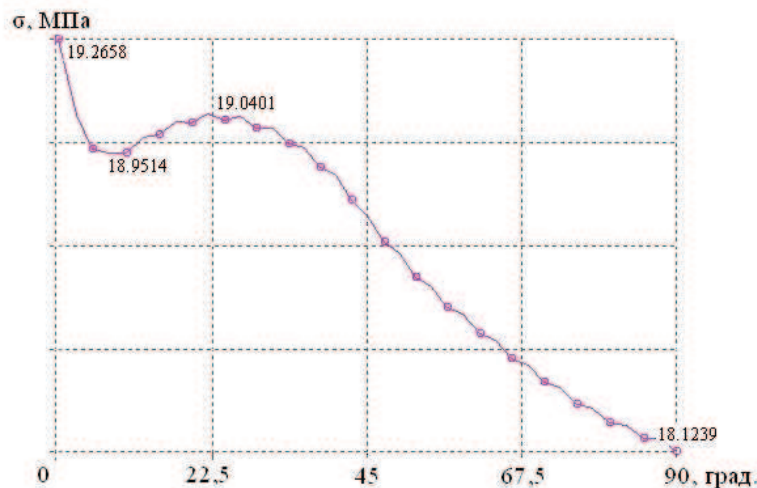


Рисунок 3 – Діаграма еквівалентних напружень на внутрішньому контурі набризкбетонного кріплення, на границі контакту з породами (глибина 500 м)

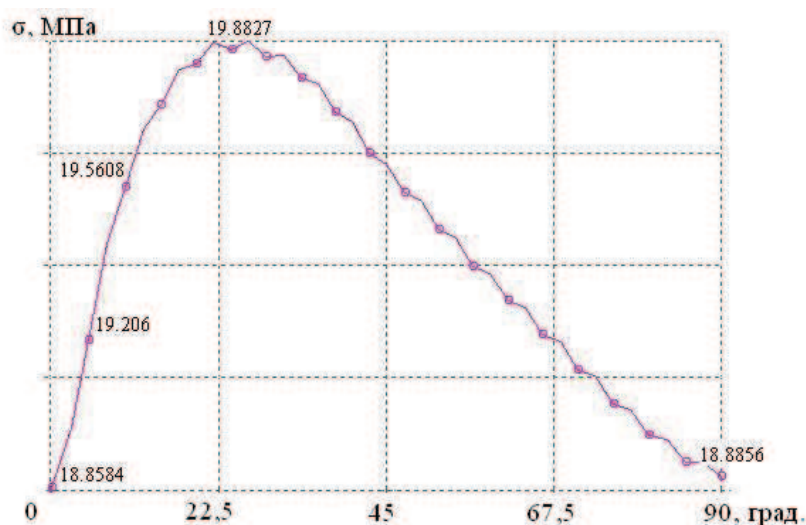


Рисунок 4 – Діаграма еквівалентних напружень в поперечному перерізі набризкбетонного кріплення, на рівні товщини набризкбетонного покриття 10 см (глибина 500 м)

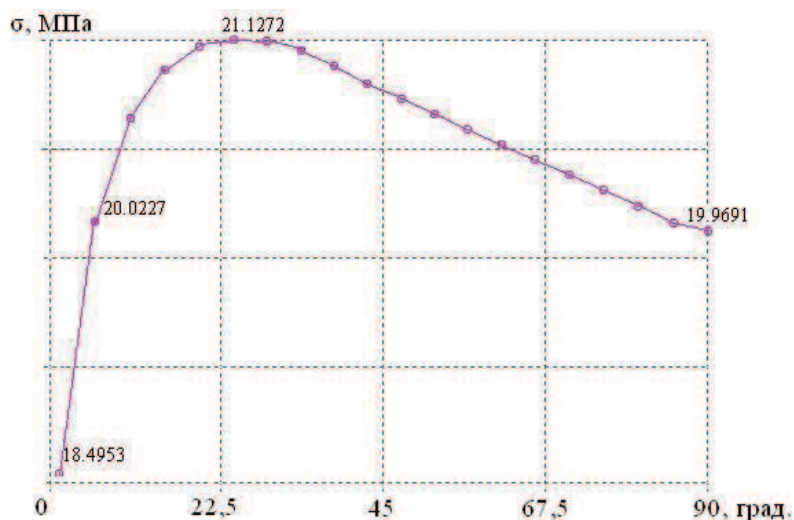


Рисунок 5 – Діаграма еквівалентних напружень на зовнішньому контурі набризкбетонного кріплення, на рівні товщини набризкбетонного покриття 20 см (глибина 500 м)

Із показаних на графіках даних видно, що максимальні напруження виникають у набризкбетонному кріпленні в діапазоні 12...65 градусів. Найбільш повно НДС кріплення й порід, що вміщують, можна описати, використовуючи коефіцієнт запасу стійкості. Він характеризується як відношення еквівалентних напружень до межі міцності матеріалу на одновісьовий стиск. У випадку, коли еквівалентні напруження перевищують межу міцності на одновісьовий стиск, система втрачає стійкий стан. На рис. 5 показаний графік зміни коефіцієнта запасу стійкості на підставі даних, що наведені у діаграмі на рис. 4.

Із графіка на рис. 6 слідує, що на глибині 500 м у набризкбетонному кріпленні виникають напруження, близькі за своїми значеннями до граничних, причому НДС матеріалу кріплення характеризується стійким станом із забезпеченням зміни $K_{ст}$ у межах 1,23...1...1,05.

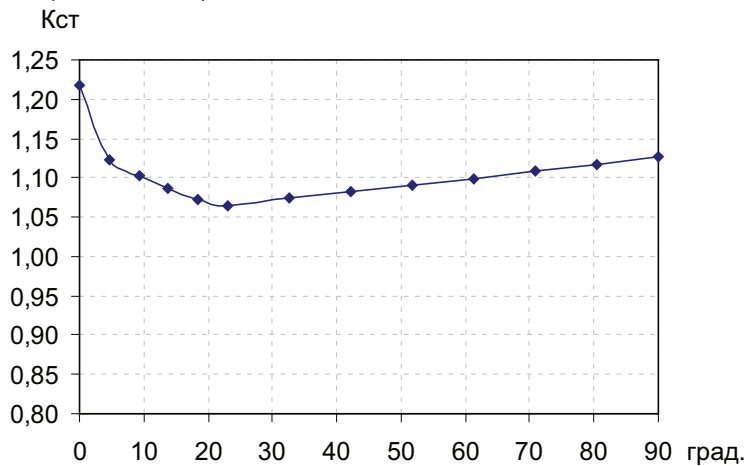


Рисунок 6 – Діаграма зміни коефіцієнта стійкості на зовнішньому контурі кріплення на рівні товщини набризкбетонного покриття 20 см (глибина 500 м)

Наступним кроком досліджень є визначення зміни коефіцієнта стійкості залежно від глибини розташування виробки при варіюванні параметра глибини від 500 до 700 м (рис. 7).

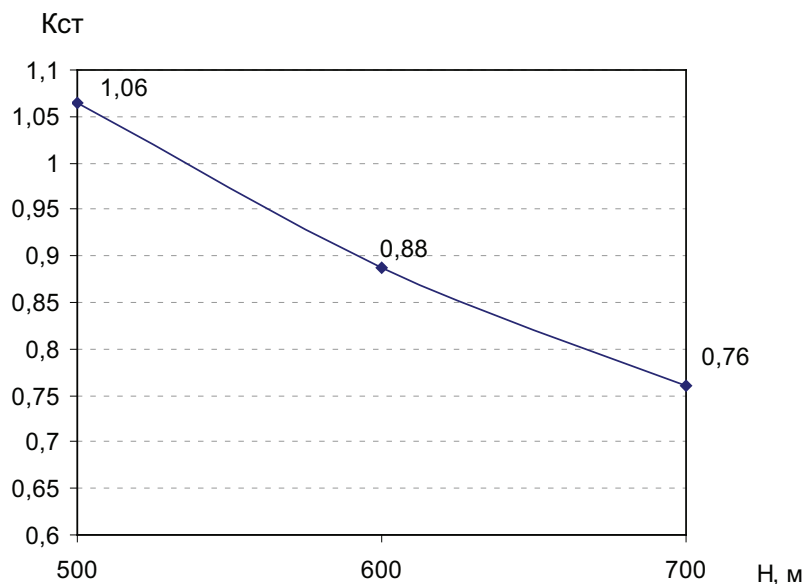


Рисунок 7 – Діаграма зміни коефіцієнта стійкості кріплення на її зовнішньому контурі на рівні товщини набризкбетонного покриття 20 см на глибинах 500 – 700 м

Із отриманих графічних даних можна зробити висновок про зниження коефіцієнта стійкості зі збільшенням глибини розташування виробки. Зниження Кст нижче 1 свідчить про втрату стійкості кріплення. Для вирішення даного питання потрібне проведення наступних досліджень щодо можливості посилення кріплення.

ВИСНОВКИ. Зважаючи на те, що максимальні напруження виникають в арковій частині кріплення в діапазоні 12...65 градусів, посиленню повинно піддавати саме дану ділянку набрызкбетонного кріплення.

Як варіанти посилення кріплення може бути використаний фібробетон, що володіє значною працездатністю на вигин, або проведення тампонажу закріпного простору.

Зниження на графіку коефіцієнта запасу стійкості нижче одиниці свідчить про необхідність використання додаткових заходів при кріпленні виробок.

Використання набрызкбетону на глибині понад 500 м можливо в сполученні з фібробетоном або з повною заміною набрызкбетону на фібробетон.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стрельцов Е.В., Казакевич Э.В., Пономаренко Д.И. Крепление горных выработок угольных шахт набрызгбетоном. – М., Недра, 1979. – 237 с.
2. Заславский И.Ю., Быков А.В., Компанец В.Ф. Набрызгбетонная крепь. – М.: Недра, 1986. – 198 с.
3. Солодянкин А.В., Гапеев С.Н., Халимендик А.В. К вопросу обеспечения устойчивости капитальных выработок в условиях ожидаемых больших деформаций приконтурного массива пород // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2010. – № 34. – Т. 2. – С. 101–112.
4. Шашенко О.М., Сдвижкова О.О., Гапеев С.М. Деформованість та міцність масивів гірських порід: монографія. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. – 180 с.

THE POSSIBILITY OF INCREASING THE DEPTH OF USE FOR SHOTCRETE LINING, STUDIED WITH USE OF A NUMERICAL SIMULATION

V. Kovalenko

State higher educational establishment «National mining university»

prosp. Karl Marks, 19, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mail: kovalenko_vlad@mail.ru

The results of finite element modeling of the stress-strain state of mine working, fixed with shotcrete coating are shown. For the formation of a design scheme it was selected mining-geological and mining conditions which are the most common to the majority of Donbass mines at depths of 500...700 m. It was made due to the fact that at these depths the shotcrete is used rarely or never used. The stress-strain states of shotcrete lining are defined, depending on the thickness of the coating and the location in the arch area. The diagrams of dependence of change of stability factor of shotcrete cover with thickness of 20 cm on the angle of action equivalent stresses are presented.

Key words: shotcrete lining, finite element method, equivalent stresses, stability factor for lining, surrounding rock mass.

REFERENCES

1. Streltsov, E.V., Kazakevitch, E.V., and Ponomarenko, D.I. (1979), Fixing of mine workings of coal mines with shotcrete, Moscow, Nedra.
2. Zaslavsky, I.Y., Bikov, A.V., and Kompanets, V.F. (1986), Shotcrete lining, Moscow, Nedra, 198 p.
3. Solodyankin, A.V., Gapeev, S.N., and Khalimendik, A.V. (2010), To the question of the sustainability of capital workings in conditions of expected large deformations of the surrounding rock mass // Proceedings of NMU № 34, Volume 2 / Dnipropetrovs'k, RVC NMU, pp. 101 – 112.
4. Shashenko, O.M., Zdvizhkova, O.O., and Gapeev, S.M. (2008) Deformovanist ta mitsnist masiviv girskih porid, Dnepropetrovsk, National Mining University, p. 180.

Стаття надійшла 31.10.2013.

УДК 622.271

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРУНТОЗАБОРНОГО УСТРОЙСТВА
ЗЕМЛЕСОСНОГО СНАРЯДА ССБ 500/440**

А. А. Бондаренко

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: bondarenkoa@mail.ua

Обоснована рациональность применения землесосного снаряда ССБ 500/440, оборудованного добычной системой с грунтозаборным устройством, предусматривающим поверхностный или диффузионный размыв грунта посредством системы размывающих струй. Для увеличения экономически приемлемой глубины добычи с 15 м до 22 м грунтозаборное устройство модернизировано путем применения системы струйной подготовки и гидротранспортирования грунтов, при этом для расчета параметров грунтозаборного устройства использован разработанный автором метод расчета конструктивных параметров гидравлических разрыхлителей землесосных снарядов и параметров подводного забоя. В результате разработки проекта модернизации грунтозаборного устройства добычной системы земснаряда ССБ 500/440 были получены значения конструктивных и технологических параметров базового и нового вариантов. Достоинствами новой конструкции грунтозаборного устройства явились: увеличение глубины разработки до 22 м с возрастанием производительности добычной системы; исключение кавитационного износа проточной части грунтового насоса при разработке грунтов с глубин более 15 м; снижение себестоимости добычных работ при глубинной разработке.

Ключевые слова: землесосный снаряд, грунтозаборное устройство, размыв грунта.

**ПРОЕКТУВАННЯ ГРУНТОЗАБІРНОГО ПРИСТРОЮ ЗЕМЛЕСОСНОГО
СНАРЯДУ ССБ 500/440**

А. О. Бондаренко

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: bondarenkoa@mail.ua