

І. Г. Сахно
С. В. Сахно

НОВА КОНЦЕПЦІЯ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ В СВІТЛІ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА НАЙБЛИЖЧИХ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ

Наведено аналіз сучасного стану анкерного кріплення в світі і означені основні перспективи його розвитку в світлі росту інтенсивності напружень на контурі гірничих виробок і підвищення деформацій. Сформульоване завдання дослідження – розробка анкерної системи, що забезпечує високу несучу здатність при значних деформаціях високонапружених гірських порід. Запропонована нова концепція неадгезійного кріплення анкерів. Проведено лабораторні тести, що дозволили встановити ефективність запропонованих рішень і переваги перед традиційним хімічним закріпленням анкерних болтів.

Ключові слова: анкер, анкерна система, навантаження, деформації, енерго-абсорбуючі анкери, суміш, що розширюється.

Постановка проблеми. Сьогодні анкерні системи широко поширені в світовій гірничій практиці кріплення гірничих виробок. Основні види і конструктивні рішення анкерного кріплення однакові для рудної, нерудної та вугільної галузей, незважаючи на різні гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови. Анкерне кріплення забезпечує високу несучу здатність порід, що укріплюються, при мінімальних витратах металу, трудомісткості встановлення, транспортних витратах. Саме тому анкери є одним з найперспективніших видів кріплення. В останні десятиліття сучасні анкери провідних світових виробників активно впроваджуються на найкращих вітчизняних підприємствах галузі. Проте область використання традиційних анкерних систем обмежена зсувами покрівлі 200-500 мм і статичним режимом навантаження.

Розвиток гірничого виробництва і неминучий перехід на більш великі глибини стає причиною того, що стан гірничих виробок на вугільних шахтах світу погіршується щороку. Деформування їх контуру вже нерідко перевищує 1000-1500 мм [1-3]. Шахти України в цьому сенсі не виняток [4-5]. За таких деформацій традиційні анкерні системи не тільки не можуть забезпечити стійкість порід, а навіть не можуть бути запроєктовані, тому що прогнозні деформації значно перевищують можливу межу деформацій анкера. Збільшення щільності встановлення анкерів при цьому не призводить до пропорційного підвищення стійкості порід і зменшення зсувів. Тому проблема підтримання виробок з використанням анкерних

систем в умовах великих деформацій стає все більш актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Традиційні анкери поділяються на три групи:

- механічні анкери – закріплені в донній частині шпуру замком спеціальної конструкції (рис. 1 а);

- хімічні анкери – закріплені по всій довжині шпуру за рахунок адгезії швидкотвердіючими сумішами (рис. 1 б);

- фрикційні анкери – закріплені по всій довжині шпуру, або в його більшій частині за рахунок сил тертя між анкерним болтом і стінками шпуру.

Несуча здатність механічних анкерів обумовлена конструкцією замкової частини і міцністю порід на контурі шпуру. Ці анкери витримують навантаження 160-170 кН до моменту зриву замкової частини, після чого анкер не працює. Реологічні процеси і вібрація призводять до виходу з ладу механічних анкерних систем.

Хімічно закріплені арматурні сталеві болти через твердіючий розчин пов'язані з породами. Несуча здатність таких анкерів в основному залежить від властивостей закріплювача і геометрії болта. Ці анкери мають найвищу несучу здатність, близько 200-210 кН, але найменші предруйнівні деформації, вже при 40 мм деформацій анкер руйнується. Це пов'язано з жорстким режимом його роботи і локальним навантаженням анкерного болта.

До фрикційних анкерів відносяться дві системи Split Set та Swellex (Omega). І в першому і другому випадку болт це сталева труба спеціального перетину, що випрямля-

ється в шпурі гідравлічно, пневматично або за рахунок власної пружності. Фрикційні болти забезпечують постійний опір при великих деформаціях, майже по всій довжині, але мають низьку несучу здатність, близько 50-60 кН (6, 7). Виготовлення таких анкерів технологічно більш складно ніж перелічених вище.

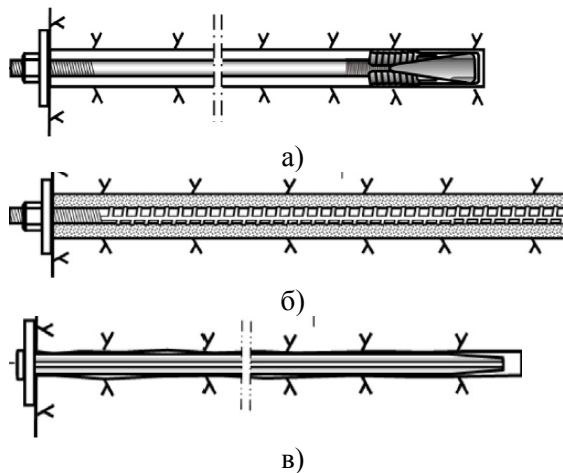
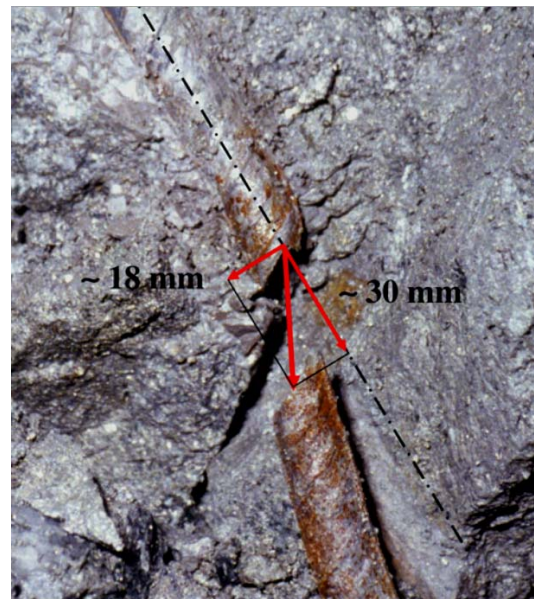


Рис. 1. Види анкерів

а) – механічний; б) хімічний; в) фрикційний

Слід зазначити, що традиційні хімічні анкери з армованої сталі поступово замінюються більш сучасними канатними і склополімерними анкерами. Особливо за умов кріплення порід на глибину більше 4 м. Гнучкі анкерні болти за таких умов значно краще ніж сталеві. За результатами тестів Стжерна [8] несуча здатність канатних двожильних анкерів 2x12,7 мм в діаметрі на деформаціях 25 мм становить 170 кН, а максимальна 210 кН при 250 мм деформацій. Анкер зі скловолокна діаметром 22 мм витримує 380 кН при деформаціях 37 мм. Тобто скловолоконні анкери мають приблизно на 80% більшу несучу здатність ніж армополімерні. Але вони також не допускають великих деформацій і працюють в жорсткому режимі.

Результатом такої поведінки анкерів в умовах великих деформацій є їх руйнування (рис. 2а) і, як наслідок, вивали порід (рис. 2б), що призводить до дестабілізації виробничих циклів, травмування гірників і підвищення собівартості продукції за рахунок додаткових робіт на ремонт і перекріплення виробок.



а)



б)

Рис. 2. Руйнування анкера при великих деформаціях (а) і вивали порід (б) [9]

На протязі багатьох років в світі проводяться дослідження спрямовані на удосконалення конструкції анкерних болтів і покращення взаємодії анкера з масивом. В останній час все більше дослідників займається розробкою систем анкерного кріплення для складних умов, таких як великі деформації і динамічні навантаження. Результатом їх роботи стали енерго-абсорбуючі анкерні системи, які в вітчизняній літературі частіше називаються піддатливими анкерами. По суті ці анкери ґрунтуються на комбінації трьох традиційних принципів закріплення, наведених вище. До найвідоміших

анкерів нового рівня слід віднести конічні болти (Cone Bolts), Garford, Roofex, Yield-Lok болти, MD Sandvick болти, D-болти.

З врахуванням нових конструкцій, на наш погляд, більш коректною є класифікація анкерів запропонована Виндсором [10], що відокремлює суцільні механічні (в тому числі і адгезійні), суцільні фрикційні і дискретно механічні або фрикційно з'єднані анкери.

Започаткували новий напрям анкерного кріплення Ягер і Ортлеп [11, 12], які в 1992 році винайшли конусний болт для кріплення виробок металевих рудників в умовах гірничих ударів. Болт уявляв собою гладкий металевий прут на кінці-хвостовику якого був зроблений плоский конус. В версії розробників болт закріплювався в шпурі цементним розчином. При навантаженні конус руйнував цементний розчин і болт рухався з умовно постійним опором в напрямку виробки. Вже в 2001 році Симсером було запропоновано закріплювати конусний болт смолами. Дослідження проведені Линдфордсом [13] в Швеції в 2000 році підтвердили, що конусні болти при статичному навантаженні витримують 170 кН, (майже як традиційні хімічні анкери) при деформаціях 900 мм. Динамічні тести проведені Варденом [14] показали розбіжність в несучих здатностях 110-210 кН і відповідних деформацій 310-140 мм. Великий розбіг несучої здатності болтів пов'язаний з неоднорідністю властивостей закріплювача і не ідеальністю форми конуса.

Недоліки конусного болта було враховано в болті Гарфорда (рис. 3 а). Рух конусної частини по цементному розчину було замінено протягуванням конусоподібної втулки, виконаної на кінці анкера через замок, розташований в шпурі. В якості замка використовувалась смола, яка частково заповнювала середню частину шпуру.

Аналогічний принцип роботи мають анкери Roofex [15]. Замок анкера заповнюється смолою в шпурі, а гладкий болт проковзує через нього, забезпечуючи опір при великих деформаціях. Такі болти при навантаженні 270 кН витримують деформації близько 300 мм.

В анкерах Yield-Lok (рис. 3 б) модифіковано замок. Замість смоли інкапсульованої в шпур, на хвостову частину анкера встановлено полімерну оболонку [16]. При критичному навантаженні рухома частина анкера руйнує оболонку і рухається при пос-

тійному опорі в напрямку виробки, що дозволяє при статичному і динамічному навантаженні 170-175 кН деформуватись на 120-160 мм.

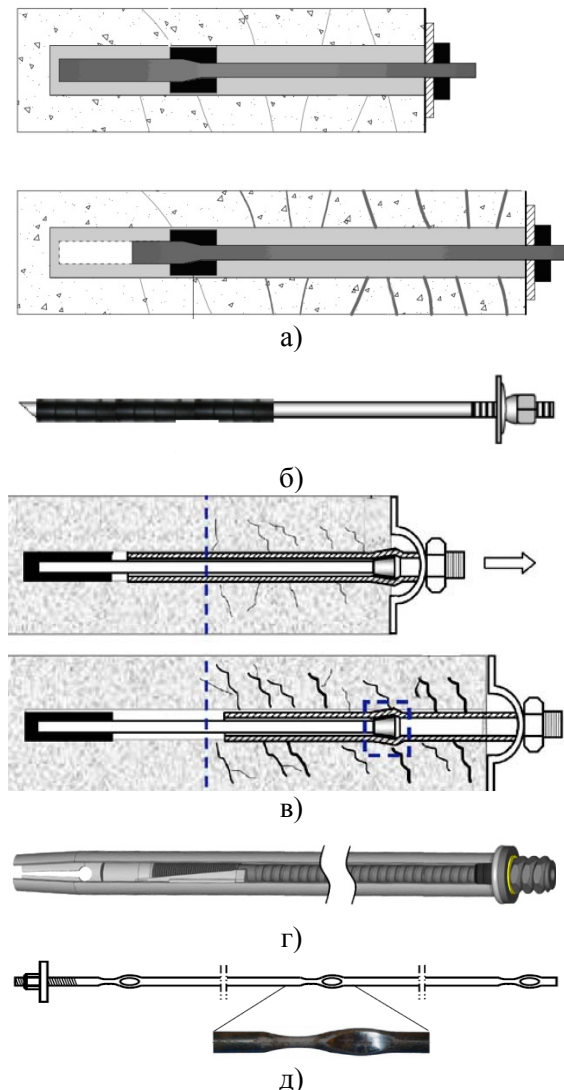


Рис. 3. Енерго-абсорбуючі анкери
а) болт Гарфорда; б) Yield-Lok; в) болт NPR MG;
г) MD Sandvick д) D-болт

Інноваційне рішення реалізоване в анкері NPR MG (рис. 3 в). Цей анкер складається з гладкого болта, з конусом на кінці, розташованого всередині труби, що поєднана з опірною планкою [17]. Хвостова частина анкера закріплена смолою в донній частині. При розвитку деформацій рухома частина анкера посувається з умовно постійним опором близько 300 кН, що забезпечується за рахунок екструзивного протягнення труби через конусну частину болта.

Компанія Sandvick представила в 2014 році болти MD Sandvick, які по суті є комбінацією анкерів Split Set з розташованим все-

редині них конусним болтом (рис. 3г), що може встановлюватись з попереднім натягненням за рахунок затягування гайки. За результатами тестів [18] ці анкери витримують до 300 мм деформацій при перерахунку на навантаження близько 120 кН.

Всі перелічені болти є енерго-абсорбуючими анкерами з двохточечним закріпленням. Інший принцип покладено в конструкцію винайденого в Норвегії в 2010 році D – болта [19]. Це анкер з багатоточечним закріпленням. Він складається з гладкого стрижня в якому локальним стисненням по довжині змінено перетин не менше двох разів. В місцях зміненого перетину анкер кріпиться в шпурі за допомогою інкапсульованої смоли, а гладка частина болта є незакріпленою і має можливість деформуватись в межах пружності сталі. Таким чином кожна секція анкера є незалежним елементом кріплення і працює в своєму режимі. Навантаження, що витримує анкер, за результатами тестів [20], 260-285 кН при граничних деформація 15% від довжини.

Задачі дослідження. Науковий інтерес до енерго-абсорбуючих анкерів зумовлений новими, більш складними, умовами підтримання виробок, в яких традиційні анкерні системи більше не здатні забезпечити стійкий стан. Враховуючі наведене завданням дослідження є розробка анкерної системи, що забезпечує високу несучу здатність при значних деформаціях високонапружених гірських порід.

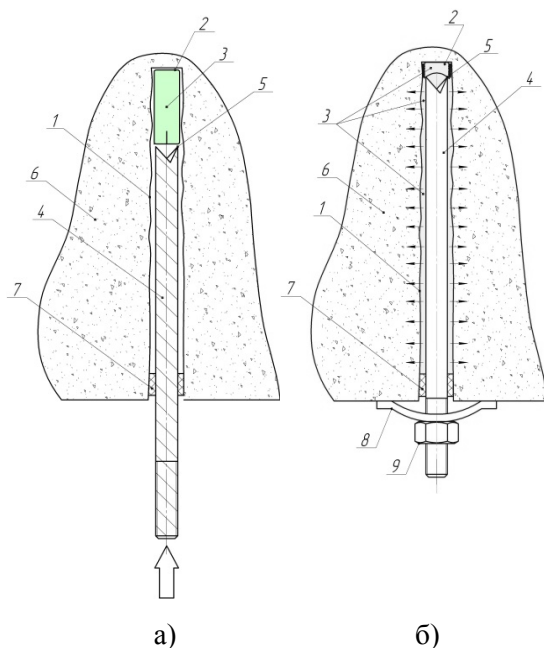
Викладення основного матеріалу і результати. З наведеного вище аналізу очевидно, що енерго-абсорбуючі системи анкерного кріплення можуть бути розроблені на основі комбінації фрикційного, адгезійного і механічного закріплення. Без фрикційного ефекту забезпечити великі деформації анкера неможливо. Управління фрикційною силою закріплення за рахунок додаткових механічних систем призводить до підвищення складності конструкції анкерного кріплення, багатоопераційності встановлення, підвищення вартості робіт з кріплення. В розробленій анкерній системі управління фрикційною силою закріплення болтів пропонується вести за допомогою сумішей, що саморозширюються. При цьому установка анкерних болтів включає буріння шпурів, введення в шпури не менше ніж по одному картриджу з твердіючим розчином, в якості якого використовують суміш, що розширю-

ється в процесі гідратаційного твердіння зі створенням в умовах обмежених деформацій тисків не менше ніж 30 МПа за першу добу, установку анкерних болтів, установку опорних планок і затягування гайок. В такій системі в якості анкерних болтів можуть використовуватись склополімерні стержні з відповідною фурнітурою, гнучкі канатні конструкції з відповідною фурнітурою, тощо. Таким чином процес установки анкерів суттєво не відрізняється від установки армополімерних анкерів, не потребує додаткового обладнання, втрат часу тощо.

Використання в якості твердіючого розчину суміші, що розширюється в процесі гідратаційного твердіння зі створенням в умовах обмежених деформацій тисків не менше 30 МПа призводить до затиснення сумішню, що розширюється, анкерного болта між стінками шпуру, незалежно від якості його стінок, наявності пилу и вологи. Якщо тиск розширення сумішей, що використовуються як твердіючий розчин, в умовах обмежених деформацій менше 30 МПа за першу добу, то фактичний тиск в умовах шпуру пробуреного в реальних породах буде менше на 10-50% в залежності від модуля деформацій порід і наявної тріщинуватості. В такому випадку зусилля закріплення анкерного болта суттєво знижуються. Сутність закріплення анкерів сумішами, що саморозширюються, пояснюється рис. 4, де наведено один з можливих варіантів способів установки болта.

Спосіб реалізується наступним чином. Відповідно до паспорту кріплення в виробці проводиться розмітка місць установки анкерів в перетині. За розміткою бурять шпури 1 на глибину визначену паспортом робіт. Після цього в кожний шпур 1 вставляють спочатку не менше ніж по одному картриджу 2 з твердіючим розчином 3, а потім анкерний болт 4 з гострими елементами 5. В якості твердіючого розчину 3 використовують суміш, що розширюється в процесі гідратаційного твердіння зі створенням в умовах обмежених деформацій тисків не менше ніж 30 МПа за першу добу. Поступово подаючи анкерний болт 4 посувають картридж 2 з твердіючим розчином 3 до дна шпуру 1, після чого гострі елементи анкера 5 руйнують оболонку картриджу 2, зминають її і притискають до дна шпуру 1, а вивільнений з картриджу твердіючий розчин 3 заповнює простір між анкерним болтом 4 і стінками шпу-

ру 1. В процесі гідратаційного твердіння зростає обсяг твердіючого розчину 3, який затискає анкерний болт 4 між стінками шпуру 1 з наростаючим тиском. За необхідності проводять попередню фіксацію анкерного болта 4 фіксуючим пристроєм 7. Встановлюють опорну плиту 8, затягують гайку 9. За необхідності проводять натягіння анкера 4, яке виконують після розвитку сумішшю, що розширюється тиску, який дорівнює не менше ніж половині тиску саморозширення за першу добу.



1 – шпур; 2 – картридж; 3 – твердіючий розчин; 4 – анкерний болт; 5 – гострі елементи анкера; 6 – вмішувач масив; 7 – фіксуючий пристрій; 8 – опорна плита; 9 – гайка

Рис. 4. Спосіб установки анкерів за допомогою сумішей, що само розширюються
а) в процесі установки, б) після установки

Тестові випробування запропонованої анкерної системи були проведені в лабораторних умовах в натуральному масштабі. Тестування проводилось на механічному пресі. Лабораторні зразки уявляли собою бетонні циліндри висотою 200 мм залиті в металеві труби діаметром 100 мм. Металеві труби стримували бетон, що імітував гірські породи, від руйнування. Всередині зразків були утворені отвори, які імітували шпури.



а)



б)



в)

Рис. 5. Загальний вигляд експерименту
а) підготовка зразків; б) заливка твердіючої суміші; в) випробування на пресі

В донній частині отворів створювали пінопластовий шар товщиною 50 мм (рис. 5а). В вільну частину отворів заливали твердіючу суміш і встановлювали анкерні болти (рис. 5б), що виступали на 100 мм над бетонним зразком. Діаметр анкерів становив 20 мм, діаметр отворів – 32 мм. Після твердіння суміші зразки встановлювали на прес і вдавлювали анкер до повної посадки (рис. 5 в). При цьому фіксували тиски і відповідні деформації.

В першій серії дослідів в якості твердіючої суміші використовували невибухову суміш, що саморозширюється [21], в другій серії клеєм Cement KL виробництва Orica/Minova. Таким чином в першому випадку анкер утримувався за рахунок затиснення в другому – за рахунок адгезії. Кожна серія складалась з 5 зразків. Результати експериментів наведені на графіку рис. 6.

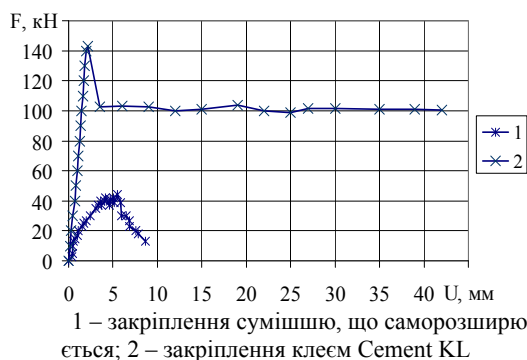


Рис. 6. Результати тестів «навантаження – деформація» анкерів
1 – закріплення сумішшю, що саморозширюється; 2 – закріплення клеєм Cement KL

Аналіз результатів експериментів підтверджує ефективність запропонованого способу закріплення анкерів. Максимальне навантаження при закріпленні стисненням склало близько 140 кН, що майже в 3 рази більше ніж для адгезійного закріплення. Після зрушення анкер закріплений стисненням рухався по отвору при навантаженні близько 100 мм майже до повної посадки, в той час як хімічно закріплений анкер при деформаціях 5 мм почав поступово втрачати несучу здатність і вже на 8 мм рухався при опорі менше 18 кН. Характер графіку «навантаження – деформація» (рис. 6) свідчить, що поведінка розробленої анкерної системи співпадає з відомими енерго-абсорбуючими анкерами.

Висновки і напрям подальших досліджень. Найближча перспектива анкерного кріплення пов'язана з розвитком енерго-абсорбуючих анкерних систем, що комбінують

фрикційний ефект з адгезійним і механічним закріпленням. Управління фрикційною силою закріплення за рахунок додаткових механічних систем призводить до підвищення складності конструкції анкерного кріплення, багатоопераційності встановлення, підвищення вартості робіт з кріплення. Розроблено енерго-абсорбуючу анкерну систему в якій управління фрикційною силою закріплення болтів пропонується вести за допомогою сумішей, що саморозширюються. При цьому виготовлення, установка і працездатність робіт суттєво не відрізняються від армополімерних анкерів. Лабораторними тестами доведено ефективність розробленої анкерної системи.

Подальші дослідження будуть спрямовані на обґрунтування параметрів анкерних систем з закріпленням сумішами, що саморозширюються, і їх випробування в умовах підземних гірничих виробок.

Список літератури

1. Wen, Z.J. Deformation failure characteristics of coal body and mining induced stress evolution law/ Z.J. Wen, G.L. Qu, J.H. Wen, Y.K. Shi, C.Y. Jia // *The Scientific World Journal*. - 2014. №5, Article ID 714507.
2. Walentek, A. Optymalizacja obudowy wyrobisk przyścianowych zlokalizowanych na głębokości większej niż 1000 m / A. Walentek, Z. Lubosik // *Przegląd Górniczy*. - 2017. - №2. - pp. 76-84.
3. Wen, Z.J. Study of stress features of fully grouted prestressed anchors / Z.J. Wen // *Rock and Soil Mechanic*. - 2010. - № 31. - pp. 177-181.
4. Rodzin, S. Ochrona wyrobisk utrzymywanych w strefie skał spękanych w ukraińskich kopalniach węgla kamiennego / S. Rodzin, I. Sakhno, A. Isayenkow, K. Ostrowski // *Przegląd Górniczy*. - 2016. - № 9. - pp. 78-83.
5. Bondarenko, V. Numerical Methods of Geomechanics Tasks Solution during Coal Deposits' Development / V. Bondarenko, M. Hardygora, H. Symanovych, V. Sotskov, V. Snihur // *Mining of Mineral Deposits*. - 2016, №10(3). - pp. 1-12.
6. Cheng, L. Mechanism and strengthening effect of split set bolts / L. Cheng, S. Feng // *Proceedings of International Symposium on Rock Bolting*. Abisko. - 1983. - pp. 429-437.
7. Myrvang, A. Experiences with friction rock bolts in Norway. / A. Myrvang, TH. Hanssen // *Proceedings of International Symposium on Rock Bolting*. Abisko. - 1983. - pp. 419-423.
8. Stjern, G. Practical performance of rockbolts / G. Stjern // *PhD Thesis*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. - 1995. - p. 52.
9. Li, C.C. Field Observations of Rock Bolts in High Stress Rock Masses / C.C. Li // *Rock Mechanics and Rock Engineerin*. - 2010. - №43. - pp. 491-496.
10. Windsor, C.R. Rock reinforcement systems / C.R. Windsor // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. - 1997. - №34(6). - pp. 919-951.

11. Jager, A.J. Two new support units for the control of rockburst damage/ A.J. Jager // *Proceedings of International Symposium on Rock Support in Mining and Underground Construction*. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1992. – pp. 621-631.

12. Ortlepp, W.D. The design of support for the containment of rockburst damage in tunnels e an engineering approach / W.D. Ortlepp // *Proceedings of International Symposium on Rock Support in Mining and Underground Construction*. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1992. – pp. 593-609.

13. Lindfors, U. (2000) Test of the cone bolt in the Kristineberg mine. Sweden: Boliden Mineral AB; 2000. B2/00.

14. Varden, R. Development and implementation of the Garford dynamic bolt at the Kanowna Belle Mine / R. Varden, R. Lachenicht, J. Player, A. Thompson, E. Villaescusa // 10th Underground Operators Conference. Launceston, 2008. – pp. 95-102.

15. Charette, F. Roofex -results of laboratory testing of a new concept of yieldable tendon. / F. Charette, M. Plouffe // *Deep Mining 07 - Proceeding of the 4th International Seminar on Deep and High Stress Mining*. Australian Centre for Geomechanics, 2008. – pp. 395-404.

16. Wu, YK. The Yield-Lok bolt for bursting and squeezing ground support/ YK. Wu, J. Oldsen, M. Lamothe // *Deep Mining 2010 - Proceedings of the 5th International Seminar on Deep and High Stress Mining*. Australian Centre for Geomechanics, 2010. – pp. 301-308.

17. He, M. Development of a novel energy-absorbing bolt with extraordinarily large elongation and constant resistance/ M. He, , W. Gong, J.Wang, P. Qi, Zh. Tao, Sh. Du, Y. Peng // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2014. - № 67. – pp. 29-42.

18. Sandvik MD Bolt and In-situ Dynamic Testing of Ground Support [Електронний ресурс] / Bradley Darlington Ground Support Engineer Sandvik [2014] / URL:<https://www.workplacesafetynorth.ca/sites/default/files/resources/WSN%202014%2C%20B.%20Darlington%20-%20Sandvik%20MD%20bolt%20and%20in-situ%20dynamic%20testing%20of%20ground%20support.pdf> (дата звернення: 05.11.2017).

19. Li, C.C. A new energy-absorbing bolt for rock support in high stress rock masses / C.C. Li // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2010, № 47. – pp. 396–404.

20. Li, C.C. Performance of D-bolts Under Static Loading / C.C. Li // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2012. - № 45. – pp. 183–192.

21. Пат. к.м. № 119161, МПК (2006) C04B 7/00 Невибухова суміш, що саморозширюється / С.В. Сахно, О.О. Ісаєнков, Я.О. Ляшок, І.Г. Сахно (Україна). – u201703778; заявл. 18.04.2017, опубл. 11.09.2017, бюл. № 17. – 4с.:іл.

References

1. Wen, Z.J., Qu, G.L., Wen, J.H., Shi, Y.K. & Jia, C.Y. (2014) “Deformation failure characteristics of coal body and mining induced stress evolution law”, *The Scientific World Journal*, 2014 (5), Article ID 714507.

2. Walentek, A. & Lubosik Z. (2017) “Optymalizacja obudowy wyrobisk przyścianowych zlokalizowanych na głębokości większej niż 1000 m”, *Przegląd Górniczy*, 2, 76-84.

3. Wen, Z.J. (2010) “Study of stress features of fully grouted prestressed anchors”, *Rock and Soil Mechanics*, 31, 177–181.

4. Rodzin, S. Sakhno, I., Isayenkov, A. & Ostrowski, K. (2016) “Ochrona wyrobisk utrzymywanych w strefie skał spękanych w ukraińskich kopalniach węgla kamiennego”, *Przegląd Górniczy Nr 9 (1125) Tom 72* pp. 78-83.

5. Bondarenko, V., Hardygora, M., Symanovych, H., Sotskov, V., & Snihur, V. (2016). “Numerical Methods of Geomechanics Tasks Solution during Coal Deposits’ Development”. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 1-12

6. Cheng, L. & Feng, S. (1983) “Mechanism and strengthening effect of split set bolts”. In: *Proceedings of International Symposium on Rock Bolting*. Abisko. pp. 429-437.

7. Myrvang, A. & Hanssen, TH. (1983) “Experiences with friction rock bolts in Norway”. In: *Proceedings of International Symposium on Rock Bolting*. Abisko. pp. 419-423.

8. Stjern, G. (1995) “Practical performance of rockbolts”. PhD Thesis. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. p. 52.

9. Li, C.C. (2010) “Field Observations of Rock Bolts in High Stress Rock Masses”. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 491-496.

10. Windsor, C.R. (1997) “Rock reinforcement systems”. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*;34(6): 919-951.

11. Jager, A.J. (1992) “Two new support units for the control of rockburst damage”. In: Kaiser PK, McCreath DR, editors. *Proceedings of International Symposium on Rock Support in Mining and Underground Construction*. Rotterdam: A.A. Balkema. pp. 621-631.

12. Ortlepp, W.D. (1992) “The design of support for the containment of rockburst damage in tunnels e an engineering approach”. In: Kaiser PK, McCreath DR, editors. *Proceedings of International Symposium on Rock Support in Mining and Underground Construction*. Rotterdam: A.A. Balkema. pp. 593-609.

13. Lindfors, U. (2000) “Test of the cone bolt in the Kristineberg mine”. Sweden: Boliden Mineral AB; 2000. B2/00.

14. Varden, R, Lachenicht R, Player, J, Thompson, A & Villaescusa, E. (2008) “Development and implementation of the Garford dynamic bolt at the Kanowna Belle Mine”. In: *10th Underground Operators Conference*. Launceston; pp. 95-102.

15. Charette, F, Plouffe, M. (2008) “Roofex - results of laboratory testing of a new concept of yieldable tendon”. In: Potvin Y, editor. *Deep Mining 07 - Proceeding of the 4th International Seminar on Deep and High Stress Mining*. Australian Centre for Geomechanics. pp. 395-404.

16. Wu, YK, Oldsen, J, Lamothe, M. (2010) “The Yield-Lok bolt for bursting and squeezing ground support”. In: Jan MVS, Potvin Y, editors. *Deep Mining 2010 - Proceedings of the 5th International Seminar on Deep and High Stress Mining*. Australian Centre for Geomechanics. pp. 301-308.

17. He, M., Gong, W., Wang, J. Qi P., Tao, Zh. Du, Sh. & Peng, Y. (2014) “Development of a novel energy-absorbing bolt with extraordinarily large elongation and constant resistance”. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 67, 29-42.

18. Bradley, Darlington, (2014), Sandvik MD Bolt and In-situ Dynamic Testing of Ground Support [Online] / Ground Support Engineer Sandvik [2014] Available: <https://www.workplacesafetynorth.ca/sites/default/files/resources/WSN%202014%2C%20B.%20Darlington%20-%20Sandvik%20MD%20bolt%20and%20in-situ%20dynamic%20testing%20of%20ground%20support.pdf> (November 11.2017).

19. Li, C.C. (2010) "A new energy-absorbing bolt for rock support in high stress rock masses". *International*

Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 47, 396–404.

20. Li, C.C. (2012) "Performance of D-bolts Under Static Loading", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, 183–192.

21. Pat. № 119161, МПК(2006) C04B 7/00 Selfexpanding non-explosive mixture / S.V. Sakhno, O.O. Isayenkov, Ya.O. Lyashok, I.G. Sakhno, (Ukraine). – u201703778; zajavl. 18.04.2017, opubl. 11.09.2017; Bjul. №17. – 4p.:il.

Надійшла до редакції 12.10.2017

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Кіпко О.Е.

Сахно Іван Георгійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри розробки родовищ корисних копалин, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, Україна.

E-mail: ivan.sakhno@donntu.edu.ua.

Сахно Світлана Володимирівна – асистент кафедри геології, розвідки та збагачення корисних копалин, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, Україна.

E-mail: svitlana.sakhno@donntu.edu.ua.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И БЛИЖАЙШИХ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ

Аннотация. Приведен анализ современного состояния анкерного крепления в мире и отмечены основные перспективы его развития с учетом тенденций роста интенсивности напряжений на контуре горных выработок и повышения деформаций. Сформулирована задача исследования – разработка анкерной системы, обеспечивающей высокую несущую способность при значительных деформациях высоконапряженных горных пород. Предложена новая концепция неадгезионного крепления анкеров. Проведены лабораторные тесты, которые позволили установить эффективность предложенных решений и преимуществ перед традиционным химическим закреплением анкерных болтов.

Ключевые слова: анкер, анкерная система, нагрузка, деформации, энерго-абсорбирующие анкеры, саморасширяющаяся смесь.

Сахно Іван Георгієвич – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри розробки мосторождених корисних копалин, Державне вище навчальне закладення «Донецький національний технічний університет», г. Покровськ, Україна, e-mail: ivan.sakhno@donntu.edu.ua.

Сахно Світлана Володимирівна – асистент кафедри геології, розвідки та збагачення корисних копалин, Державне вище навчальне закладення «Донецький національний технічний університет», г. Покровськ, Україна, e-mail: svitlana.sakhno@donntu.edu.ua.

THE NEW CONCEPT OF ROCKBOLTING

Annotation. The analysis of the current state of ROCKBOLTING in the world is given and the main prospects of its development are noted taking into account the tendencies of the stress intensity growth on the contour of mine workings and the increase of deformations. The research problem is formulated - the development of an anchor system that provides a high load-bearing capacity for large deformations of highly stressed rocks. A new concept of non-adhesive fastening of anchors is proposed. Laboratory tests have been carried out which have made it possible to establish the effectiveness of the proposed solutions and the advantages over the traditional chemical anchoring of anchor bolts.

Keywords: anchor, anchoring system, load, deformations, energy-absorbing bolts, self-expanding mixture.

Ivan Sakhno – Dr. Sci. (Tech.), Assist. Professor., Professor Of Department of Mineral Deposits, State Higher Educational Institution «Donetsk National Technical University», Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: ivan.sakhno@donntu.edu.ua

Svetlana Sakhno – Asistant Of Department Of Geology, Exploration And Enrichment Of Minerals, State Higher Educational Institution «Donetsk National Technical University», Pokrovsk, Ukraine

E-mail: svitlana.sakhno@donntu.edu.ua.