Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НЕГРІЙ СЕРГІЙ ГРИГОРОВИЧ

УДК [622.02: 622.26: 622.83: 622’1] (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ В УМОВАХ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД

05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин
18 – виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.
_____ С.Г. Негрій

Науковий консультант – Єфремов Ігор Олексійович, доктор технічних наук, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Покровськ – 2021

АНОТАЦІЯ

Негрій С.Г. Розвиток наукових основ охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» (18 – виробництво та технології). - ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, Покровськ, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова проблема розвитку наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, яка полягає у визначенні закономірностей, характеристик і параметрів охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав, що має важливе наукове, техніко-економічне та соціальне значення.

Виконано аналіз науково-технічних передумов розробки ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок позаду лав, у результаті якого визначено технічні основи щодо їх розробки, які ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом системи «засіб охорони-бічні породи» за рахунок застосування засобів охорони зі спеціальними конструктивними особливостями, які доцільно споруджувати з рядової породи та обмежуючих поверхонь. Визначено перспективні вугленосні райони українського Донбасу, для яких є актуальною розробка та застосування рішень щодо охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

Здійснено шахтні натурні спостереження в умовах підготовчих виробок декількох шахт Донбасу, результати яких склали підґрунтя для теоретичного обґрунтування та експериментального підтвердження

закономірності зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід, від чинників впливу з урахуванням зміщень порід над крайовою частиною пласта, кінцевою ділянкою лави та на ділянці просідання та усадки засобу охорони.

На основі результатів чисельного моделювання методом скінчених елементів дістали подальшого розвитку дослідження щодо закономірностей розподілу напружень над засобами охорони у зоні впливу очисних робіт, які досягають величини, що дорівнює 1,5γH. Доведено, що близько 90 % навантаження від нависаючих порід покрівлі передається на підстилаючі породи підошви незалежно від параметрів охоронних споруд, тому напруження на їх контакті складають (1,0...1,3)γH. Ці навантаження є причиною піддатливості (усадки) та вдавлювання (просідання) засобів, величини яких визначаються за встановленими емпіричними залежностями з урахуванням діючого навантаження на засіб, його ширини, висоти та деформаційних характеристик, а також потужності верхнього шару порід підошви та характеристик його стисненості.

Розроблено методику щодо прогнозування зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід, з урахуванням зміщень порід над крайовою частиною вугільного пласта, кінцевою ділянкою та на ділянці просідання та усадки засобу охорони, які залежать від потужності вугільного пласта, фізико-механічних характеристик пласта та вміщуючих порід, параметрів кріплення кінцевої ділянки очисного вибою, засобу охорони та ширини виробки.

Обґрунтовано технологічні принципи управління станом породного масиву навколо засобів охорони підготовчих виробок. Для цього розглянуто процес деформування породного масиву, у тому числі на межі залишкової міцності, якою оцінюється стійкість порід у зоні зруйнованих порід та навколо засобів охорони, при цьому відносна залишкова міцність порід має логарифмічний кореляційний зв'язок з їх граничною міцністю у зразку, що

уточнений для осадових порід. Встановлено, що просідання засобів охорони відносно поверхні слабких підстилаючих порід є циклічним і відбувається на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід, коли загальні поздовжні деформації підстилаючого шару порід перевищать 12 ‰, а напруження від дії засобу охорони перевищують опір зруйнованих порід стисненню на межі залишкової міцності. Це дозволило обґрунтувати критерій стійкості порід під засобом охорони й умову стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», які є основою для розробки ефективних технологій охорони підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід, що передбачають обмеження піддатливості засобів охорони та збереження стійкості слабких порід підошви або переспрямування напружень від виробки застосуванням засобів охорони зі спеціальними формами.

Для забезпечення стійкості слабких порід підошви обґрунтовано доцільність створення локальних укріплених зон під засобом охорони, ефективність застосування яких визначається з урахуванням: навантаження з боку засобу охорони, його ширини, деформаційних характеристик та геометричних параметрів локальної укріпленої зони та деформаційних характеристик і потужності слабкого шару порід підошви.

Обґрунтовано конструктивні рішення щодо розробки ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок, зокрема, засобів охорони, що ґрунтуються на використанні рядової породи й обмежуючих елементів, і створено теоретичні основи для визначення їх параметрів. Для цього досліджено особливості розподілу напружень в охоронних спорудах з рядової породи та аналітично встановлено залежності вертикальних та горизонтальних напружень в цих спорудах від основних факторів, що впливають (ваги нависаючих порід покрівлі, параметрів споруд з рядової породи, їх кута внутрішнього тертя, бічного опору, а також зовнішнього тертя на контакті споруд та навколишніх порід). З використанням встановлених залежностей та за результатами відпрацювання численних

структурних моделей з рядової породи та обмежуючих поверхонь (перегородок з металевих сіток та мішків з породою) було обґрунтовано параметри стрічкових та окремо розташованих конструкцій з рядової породи та обмежуючих поверхонь, удосконалено технологію охорони виробок породними стійками ущільненням матеріалу в мішках, а також обґрунтовано параметри комбінованих конструкцій з армованих та неармованих породних смуг, які розміщалися між стінок з породних стійок. Використання обмежуючих поверхонь у вищезазначених спорудах дозволяє зменшити ширину споруд, яка буде у діапазоні від $3h$ до $6h$ (де h – початкова висота споруди), та забезпечити піддатливість у діапазоні від 8 до 30 % з урахуванням гранулометричного складу закладного породного матеріалу, розміру чарунок у перегородках, міцності арматури (волокон) на розтягнення та показника пустотності породи у мішках.

Для слабких порід підошви обґрунтовано параметри технологій охорони підготовчих виробок, що передбачають управління напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» створенням з рядової породи та обмежуючих поверхонь окремо розташованих охоронних конструкцій (опор) у формі прямокутних паралелепіпедів або трапецієподібних призм, між якими залишаються компенсаційні порожнини. Встановлено, що при визначеній орієнтації окремо розташованих породних опор з обмежуючими поверхнями з певними параметрами відбувається перерозподіл напружень у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» та спрямування видавлюючих зусиль від виробки, що охороняється, у вироблений простір та компенсаційні порожнини. Доведено, що ефективним і ресурсозберігаючим рішенням є спорудження таких опор з залишенням порожнин, коли опори орієнтовані їх вужчими гранями до виробки, при цьому ширина цих граней дорівнює або більша за висоту опор, ширина порожнин визначається шириною вужчої грані та кутом внутрішнього тертя порід

підошви, а глибина порожнин, що дорівнює довжині опор, перевищує ширину вужчої грані у 2…3 рази.

Розроблено методику вибору технологій охорони підготовчих виробок та визначення їх параметрів, у тому числі в умовах слабких бічних порід, яка ґрунтується на поетапному, консеквентному пошукі існуючих або нових технічних рішень, їх систематизації, інтеграції й узагальненні, а також визначенні витрат на їх реалізацію й отриманні оптимальної технології охорони виробки.

Отримані наукові та практичні результати дисертаційного дослідження дозволили розробити ефективні ресурсозберігаючі технології охорони підготовчих виробок, які захищені патентами, а саме: засоби охорони у вигляді стрічкових та окремо розташованих конструкцій з рядової породи та обмежуючих елементів, у якості яких використовуються сітчасті перегородки та стінки з мішків; відокремлені породні опори у формі прямокутних паралелепіпедів або трапецієподібних призм, між якими залишаються компенсаційні порожнини; створення локальних укріплених зон під засобами охорони в умовах слабких підстилаючих порід. Запропоновано технологічні схеми для даних технологій охорони.

На основі шахтних випробувань, техніко-економічних розрахунків, оцінки умов праці гірників та ступеня деформації виробок визначено область застосування й економічну ефективність розроблених технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, а також констатоване збільшення рівня безпеки гірників при виконанні робіт у виробках та на кінцевих ділянках лав.

Ключові слова: охорона виробки, управління станом, геотехнічна система, слабкі бічні породи, засіб охорони, локальна укріплена зона, рядова порода з обмежуючими поверхнями.

ANNOTATION

Nehrii S. Development of scientific bases of protection of development roadways of coal mines in the conditions of soft adjoining rocks. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis of the scientific degree of the Doctor of the Technical Sciences on specialty 05.15.02 “Underground mining of mineral deposits” (18 - Production and Technology) - State Higher Education Institution "Donetsk National Technical University" Ministry of Education and Science of Ukraine, Pokrovsk, 2021.

In the thesis the actual scientific problem of advancement of scientific bases of protection of development roadways in the conditions of soft adjoining rocks which is to determine the patterns, characteristics and parameters of protection of development roadways of coal mines in the conditions of soft adjoining rocks on the basis of the studied mechanical phenomena in geotechnical system “protection means – adjoining rocks” to substantiate effective resource-saving technology for the protection of roadways behind the faces, has been solved, which has important scientific, technical, economic and social significance.

The analysis of scientific and technical prerequisites for engineering of effective resource-saving technology for the protection of development roadways behind the faces has been done, which identified the technical basis for their development, which are based on the monitoring the stress-strain state of the system “protection means – adjoining rocks” due to the use of protection means with special design features, which should be constructed of ordinary rock and bounding surfaces. The coal-bearing areas of the Ukrainian Donbass have been identified, in the conditions of which the development and application of these solutions are relevant.

Mine field observations have been made in the conditions of development roadways at several mines of Donbass, the results of which have formed the basis for theoretical substantiation and experimental confirmation of regularity of

displacements of roof rocks of development roadways protected behind a face in conditions of soft adjoining rocks from the main influencing factors, taking into account the displacements of rocks above the edge of the seam, the final section of the face and the area of subsidence and shrinkage of protection means.

According to the results of numerical modeling, the study of the patterns of stress distribution over protection means in the influence zone of stoping, that reach a value of 1.5γH, has been further developed. It has been proved that about 90% of the load from the overhanging rocks of the roof is transmitted to the underlying rocks, regardless of the parameters of the protective constructions, and that the voltage at their contact point is (1.0 ... 1.3) γH. These loads are the cause of shrinkage and subsidence of the means, the values of which are determined by the empirical dependences, taking into account the current load, its width, height and deformation characteristics, as well as the thickness of the upper layer of the footwall rocks and its compression characteristics.

The method for predicting the displacement of the roof rocks of development roadways, protected behind a face in the conditions of soft adjoining rocks, taking into account the displacements of rocks over the edge of a seam, the final section and in the area of subsidence and shrinkage of the protection means, which depends on the thickness of a coal seam, physical and mechanical characteristics of the seam and host rocks, the timbering parameters of the final section of the face, the means of protection and the width of the roadway, has been developed.

The technological principles of monitoring the condition of a rock massif around the means of protection built behind a face have been substantiated. For this purpose, the process of deformation of the rock massif has been considered, including at the residual thickness limit, where the rocks are in the zone of destroyed rocks and around the protection means, while the relative residual thickness of rocks has a logarithmic correlation with their ultimate thickness in the sample which is specified for sedimentary rocks. It has been established that the subsidence of protective means relative to the surface of soft underlying rocks is cyclic and occurs

in the area of residual friction of destroyed rocks, when the total longitudinal deformation of the underlying rock layer exceeds 12 ppm, and the stress from the protective means exceeds the resistance of the destroyed rocks to compression at the limit of residual thickness. This allowed to substantiate the criterion of stability of rocks underlying the means of protection, and the condition of stability of the geotechnical system "protection means – adjoining rocks", which are the basis for developing technology of protection of development roadways behind faces in conditions of soft adjoining rocks, including local reinforced areas under the protection means, the effectiveness of which is determined by taking into account the load from protection means, its width, deformation characteristics, geometric parameters of the local reinforced area, deformation characteristics and thickness of the footwall rocks.

Constructive decisions on development of effective resource-saving technology of protection of development workings, in particular, the means of protection based on the use of ordinary rocks and limiting elements, have been substantiated, and the theoretical bases for determining their parameters have been created. For this purpose the peculiarities of stress distribution in protection constructions of ordinary rocks have been investigated, and the dependences of vertical and horizontal stresses in these structures on the main influencing factors, such as: weight of overhanging rocks, parameters of constructions of ordinary rocks, their angle of internal friction, lateral resistance, and external friction at the contact of constructions and surrounding rocks, have been analytically established. Using the established dependencies and based on the results of testing numerous structural models of ordinary rocks and bounding surfaces (metal mesh partitions and bags with rock), the parameters of tape and separately located constructions of ordinary rocks and bounding surfaces, which use metal mesh partitions and/or walls made of bags with rock, have been substantiated; the technology of protection of roadways by making walls of rock by consolidation material in bags, has been improved; the parameters of the combined constructions made of the reinforced and not reinforced

rock strips placed between the walls of rock, have been substantiated. The use of bounding surfaces in the mentioned above constructions allows to reduce the width of the constructions, which is in the range from 3*h* to 6*h* (where *h* is the initial height of the construction), and to provide flexibility in the range from 8% to 30%, taking into account the coarseness of grading of the deposit rock material, the size of the cells in the partitions, rigidity of the reinforcement (fiber) on stretching and porosity of the rock in bags. For the soft footwall rocks, the parameters of the technology of protection of development roadways have been substantiated, which provide for the use of ordinary rock and bounding surfaces in separately located protective constructions (packs) in the form of rectangular parallelepipeds or trapezoidal prisms, between which there are compensatory voids for the rearrangement of stress condition in the geotechnical system "protection means – adjoining rocks" and for directing the extrusive forces from the protected roadway. It has been established that an effective and resource-saving solution is the construction of such packs with the voids, when the packs are oriented by their narrower surface to a face, when the width of these surfaces is equal to or greater than the height of the packs, the width of the voids is determined by the width of the narrower surface and the angle of internal friction of the footwall rocks, whereas the depth of the voids, which is equal to the length of the packs, exceeds the width of the narrower surface by 2…3 times.

The method of selection and determination of rational parameters of technology of protection of development roadways, including in the conditions of soft adjoining rocks, has been evolved.

The obtained results allowed to develop effective resource-saving technology for protection of development roadways, which are protected by patents, namely: means of protection in the form of tape and separately located constructions of ordinary rock and limiting elements, which use mesh partitions and/or walls made of bags; separate packs of special forms, between which there are compensatory voids; creation of local reinforced zones under the protection means in the conditions

of soft underlying rocks. The technological schemes of this protection technology have been offered.

On the basis of mine tests, technical and economic calculations, assessment of roadway conditions of miners and the degree of deformation of roadways, the scope and economic efficiency of developed technology in conditions of soft adjoining rocks have been determined, as well as increased safety of miners being in roadways and in the final sections of faces.

Keywords: protection of roadway, condition monitoring, geotechnical system, soft adjoining rocks, means of protection, local reinforced zone, ordinary rock with bounding surfaces.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Публікації у фахових виданнях:

1. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Хазипов И.В. Лабораторные испытания опорных породных конструкций, сооружаемых с использованием гибких разделительных прокладок. Физико-технические проблемы горного производства. 2007. Вип. 10. С. 106-111.

2. **Негрій С.Г.**, Сахно І.Г., Мокрієнко В.М. Дослідження механізму передачі навантаження на кріплення виробки від фронту руйнування порід. Вісті Донецького гірничого інституту. 2008. №2. С. 13-18.

3. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Александров С.Н., Мокриенко В.Н., Курдюмов Д.Н. Обоснование возможности применения метода конечных элементов при расчете напряженно-деформированного состояния дискретизированных пород. Вісті Донецького гірничого інституту. 2010. № 2. С. 138-143.

4. **Негрей С.Г.** О возможности увеличения несущей способности бутовых полос. Вісті Донецького гірничого інституту. 2011. №1. С. 179-184.

5. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н., Касьяненко А.Л. Новый

подход к методике выбора способов охраны выемочных выработок глубоких шахт. Вісті Донецького гірничого інституту. 2012. №1(30)-2(31). С. 165-172.

6. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А., Курдюмов Д.Н. Поддержание выемочных выработок для обеспечения их эксплуатационного и безаварийного состояния. Вісті Донецького гірничого інституту. 2013. №1(32). С. 218-225.

7. **Негрей С.Г.** Усовершенствование технологии охраны подготовительных выработок породными стойками. Вісті Донецького гірничого інституту. 2014. №1(34)-2(35). С. 181-186.

8. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А., Конопелько Е.И. Установление норм выработки при возведении охранных конструкций на концевых участках лав. Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. 2016. Вип. 2(18). С. 73-81 (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

9. **Негрей С.Г.** О возможности создания устойчивых породных опор для обеспечения эксплуатационного состояния подготовительных выработок. Вісник НТУУ «КПІ» Сер. «Гірництво». 2017. №33. С. 21-30 (https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.33.98824).

10. Негрій Т.О., **Негрій С.Г.**, Ріхерт С.В. Про вплив енергетичних витрат гірників на рівень виробничого травматизму. Вісник Криворізького національного університету. 2017. Вип. 44. С. 78-83 (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

11. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А. Определение параметров породной полосы с ограниченной податливостью. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Вип. 1/2017 (102). С. 50-57 (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

12. **Негрей С.Г.**, Сахно И.Г., Негрей Т.А., Коломиец В.А. Установление зон активных обрушений пород непосредственной кровли на концевых участках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №1(40). С. 5-18.

13. Негрій Т.О., Сахно І.Г., **Негрій С.Г.** Вплив енерговитрат шахтарів на рівень безпеки праці. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних

технологіях». 2017. Вип. 7 (1229). С. 81-90. (https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.07.11) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

14. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О. Умови застосування трапецієподібних охоронних споруд. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №2 (41). С. 7-18. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-2-7-18).

15. **Nehrii S.**, Sakhno S., Sakhno I., Nehrii T. Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings. Mining of Mineral Deposits, 2018. Vol. 12 (2018), Issue 4. P. 115-123. (https://doi.org/10.15407/mining12.04.115). (*Наукометрична база* ***Scopus***, ***WoS***).

16. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О., Волков С.В. Безпека ведення робіт на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №1 (42). С. 31-38. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-1-31-38).

17. Негрій Т.О., **Негрій С.Г.** Прогнозування зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №2 (43). С. 57-68. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-2-57-68).

18. **Негрій С.Г.** Визначення зміщень порід покрівлі в зоні впливу очисних робіт позаду лави. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №1 (44). С. 41-52. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-41-52) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

19. **Негрій С.Г.**, Живогляд С.К., Негрій Т.О. Спостереження за станом виробок при суцільній системі розробки. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №2 (45). С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

20. **Негрій С.Г.**, Єфремов І.О., Негрій Т.О. Визначення навантажень на засоби охорони в зоні впливу очисних вибоїв. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №1 (46). С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

21. **Негрій С.Г.** Дослідження особливостей процесу передачі навантажень в конструкції з рядової породи. Технічна інженерія. 2020. № 2

(86). С. 171-178. (https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-171-178) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

22. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О., Єфремов І.О. Визначення параметрів окремо розташованих породних опор з компенсаційними порожнинами. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №2 (47). С. 58-71. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-58-71) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

Матеріали конференцій:

23. **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н. Об особенностях пучения пород почвы выемочных выработок в условиях m_3 шахты им. В.М. Бажанова. Проблеми гірничої технології: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ: КІІ ДонНТУ, 2008. С. 97-102.

24. Сахно И.Г., **Негрей С.Г.**, Лызенко А.А. Новый подход к анализу напряженно-деформированного состояния разрушенных горных пород. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: материалы междунар. научно-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых. Донецк: ДонНТУ, 2008. Вып.14. С.117-119.

25. Касьян Н.Н., **Негрій С.Г.**, Мокриенко В.Н. Исследование проявлений горного давления в условиях выемочных выработок пласта m_3 шахты «Щегловская-Глубокая». Проблеми гірничої технології: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ: КІІ ДонНТУ, 2010. С. 34-38.

26. **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н. , Курдюмов Д.Н. Выбор метода моделирования проявления горного давления в выработке, охраняемой жесткими опорами. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецк: ДВНЗ ДонНТУ, 2010. Вып.16. С. 93-95.

27. Курдюмов Д.Н., **Негрей С.Г.** Разработка новой ресурсосберегающей технологии охраны горных выработок. Проблемы недропользования: международ. форум-конкурс молодых ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПГУ, 2011. Ч.1. С. 145-147.

28. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Мокриенко В.Н., Климов Д.Н. К

вопросу выбора метода исследования распределений напряжений вокруг подготовительной выработки. Перспективи освоєння підземного простору: матеріали 5-ої міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, асп. і студ. Дніпропетровськ: НГУ, 2011. С. 17-20.

29. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Мокриенко В.Н. Использование визуализации траекторий смещений при изучении деформаций горных пород с применением методики PLAXIS. Materiali VI Krakowskiej konferencij mlodych uchonych. Krakow, 2011. С. 353-357.

30. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Кремень И.В. Лабораторные исследования несущей способности армированных породных опор. Донбас-2020: Наука і техніка – виробництву: матеріали VI-ої наук.-практ. конф. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2012. С. 86-90.

31. **Негрей С.Г.**, Кремень И.В. Повышение несущей способности породных стоек за счет изменения компрессионных показателей сыпучего материала. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецк: ДВНЗ ДонНТУ, 2013. Вып.19. С. 44-47.

32. Тупицын А.В., **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Негрей Т.А. Проблемы поддержания подготовительных выработок в условиях шахты «Комсомолец Донбасса». Проблемы недропользования: междунар. форум-конкурс молод. ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПГУ, 2014. Ч.1. С. 177-179.

33. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А. Обоснование возможности применения жестких охранных сооружений в условиях слабых подстилающих пород. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали III-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Красноармійськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2015. С. 106-115.

34. **Негрей С.Г.**, Петренко А.В. Изучение механизма деформирования обособленных породных опор. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали IV-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2016. С. 86-91.

35. **Негрей С.Г.**, Рихерт С.В. Определение параметров жестких охранных сооружений в условиях слабых вмещающих пород. Перспективы

развития строительных технологий: материалы конф. Дніпропетровськ: НГУ, 2016. С. 96-100.

36. **Негрей С.Г.** Разработка эффективных ресурсозберегающих средств охраны подготовительных выработок. Інноваційний розвиток гірничовидобувної галузі. Тези доп. на Міжнародній наук.-техн. Інтернет-конференції. Кривий Ріг, 2016. С. 114.

37. **Негрей С.Г.** Лабораторные исследования по установлению эффективности жестких охранных сооружений в условиях слабых пород почвы. Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДонНТУ, 2017. С. 40-44.

38. **Nehrii S.**, Nehrii T., Piskurska H. Physical simulation of integrated protective structures. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2018. Vol. 60. 00038 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000038) (*Наукометрична база* ***Scopus***).

39. **Негрій С.Г.**, Киященко Р.С., Мокрий В.Г., Гіжа М.П. Пошук заходів щодо забезпечення стійкості слабких порід при використанні жорстких охоронних споруд. Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДонНТУ, 2018. С. 22-28.

40. **Nehrii, S.**, Nehrii T., Bachurin L., Piskurska H. Problems of mining the prospective coal-bearing areas in Donbas. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2019. Vol. 123. 01011 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301011) (*Наукометрична база* ***Scopus***).

41. **Негрій С.Г.**, Негрій О.С. Проблеми підтримання підготовчих виробок при суцільній системі розробки. Scientific achievements of modern society: the 4th International scientific and practical conference, Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom, 2019. P. 710-715.

42. **Негрій С.** Визначення пріоритетів розробки засобів охорони підготовчих виробок. Українська школа гірничої інженерії: Тези доп. на XIII міжнародній наук.-практичній конференції (Бердянськ, 03-07.09.19р.), Дніпро,

2019. С. 69-70.

43. **Nehrii S.**, Nehrii T., Kultaev S., Zolotarova O. Providing resistance of protection means on the soft adjoining rocks. E3S Web Conf. II International Conference Essays of Mining Science and Practice, 2020. Vol. 168. 00033 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800033) (*Наукометрична база* ***Scopus***).

44. **Негрій С.Г.**, Негрій О.С. Встановлення ефективних конструкцій засобів охорони виробок у складних гірничо-геологічних умовах. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали VIII-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2020. С. 30-36.

Патенти:

45. Пат. вин. № 94327, МПК(2011.01) E21D 11/00 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01). Спосіб охорони гірничих виробок / М.М. Касьян, **С.Г. Негрій**, В.М. Мокрієнко, І.В. Хазіпов (Україна). – a200911242; заявл. 05.11.2009, опубл. 26.04.2011, бюл. № 8. – 3 с.: іл.

46. Пат. к.м. № 54012, МПК(2011.01) E21D 15/00. Спосіб охорони підготовчих виробок / М.М. Касьян, Е.П. Фельдман, І.В. Хазіпов, **С.Г. Негрій**, В.М. Мокрієнко (Україна). – u201004634; заявл. 19.04.2010, опубл. 25.10.2010, бюл. № 20 – 2 с.: іл.

47. Пат. к.м. № 137375, МПК(2019.01) E21D 11/00, E21F 15/00. Спосіб охорони гірничих виробок / **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, В.О. Коломієць, І.В. Іорданов (Україна). –a201700437; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.10.2019, бюл. № 20 – 4 с.: іл.

48. Пат. к.м. № 142589, МПК(2020.01) E21D 11/00, E21F 15/00. Спосіб охорони гірничих виробок/ **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, В.О. Коломієць, І.В. Іорданов (Україна). –a201700436; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.06.2020, бюл. № 12 – 5 с.: іл.

49. Пат. к.м. № 144773, МПК E21D 11/14 (2006.01). Спосіб підвищення стійкості порід підошви під засобом охорони / **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, О.С. Негрій (Україна). –u202002868; заявл. 12.05.2020, опубл. 26.10.2020. бюл.

№20 – 4 с.: іл.

Інші праці:

50. Мокриенко В.Н., **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н. Изучение влияния формы охранного сооружения, возводимого вслед за лавой, на механизм смещений подстилающих его пород. Записки Горного института. 2012. Т.199. С. 176-179.

51. **Негрей С.Г.** Определение параметров комбинированного охранного сооружения из рядовой породы. Вісті Донецького гірничого інституту. 2015. №1(36)-2(37). С. 23-32.

52. **Негрей С.Г.** Исследование напряженно-деформированного состояния бутовых опор. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №1(38). С. 9-16.

53. **Негрей С.Г.** Испытания породных полос с ограниченной податливостью. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №2(39). С. 54-60.

54. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О. Дослідження особливостей поведінки слабких бічних порід навколо засобів охорони. Науковий вісник ДонНТУ. 2019. №1-2. С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/2415-7902-2019-1(2)-2(3)-54-79).

ЗМІСТ

ВСТУП…… 24
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПЕРЕДУМОВ РОЗВИТКУ НАУКОВИХ ОСНОВ ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК В УМОВАХ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ……... 36
1.1 Вивчення питання підтримання підготовчих виробок для забезпечення їх експлуатаційного та безпечного стану…….. 36
1.2 Аналіз існуючих засобів охорони підготовчих виробок…… 44
1.3 Розгляд доцільності використання рядової породи для спорудження засобів охорони……..... 65
1.4 Перспективи розробки технологій охорони виробок в умовах слабких бічних порід……. 68
1.5 Вибір технічних основ для створення ефективних технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід…….. 79
1.6 Аналіз методів досліджень поведінки бічних порід навколо підготовчих виробок……..... 83
1.7 Формулювання мети, задач та методів досліджень……. 86
Висновки до розділу 1……. 88
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФОРМУВАННЯ ТА РУЙНУВАННЯ СЛАБКИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ТА ЗАСОБІВ ОХОРОНИ ……..... 90
2.1 Проведення шахтних експериментів та спостережень за станом підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід…… 90
2.2 Обґрунтування методики розрахунку зміщень порід у підготовчих виробках в зоні впливу очисних робіт……..123
2.3 Визначення зміщень бічних порід навколо засобів охорони……..131
Висновки до розділу 2……164

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИМ СТАНОМ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД НАВКОЛО ЗАСОБІВ ОХОРОНИ …….....167
3.1 Обґрунтування технологічних принципів управління станом породного масиву навколо засобу охорони……167
3.2 Розгляд параметрів локальних укріплених зон для забезпечення стійкості засобів охорони на слабких породах підошви……192
3.3 Встановлення ефективності закладання локальних укріплених зон під засобами охорони……195
3.4 Встановлення параметрів локальних укріплених зон під засобом охорони……209
3.5 Обґрунтування заходів щодо управління напружено-деформованим станом системи «засіб охорони-бічні породи»……213
Висновки до розділу 3……215
РОЗДІЛ 4. АНАЛІТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ З РЯДОВОЇ ПОРОДИ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ……217
4.1 Обґрунтування конструктивних рішень щодо створення ефективних засобів охорони……217
4.2 Дослідження особливостей процесу передачі навантажень в опорах з рядової породи……220
4.3 Обґрунтування параметрів стрічкових породних конструкцій з сітчастими перегородками……232
4.4 Обґрунтування параметрів окремо розташованих породних конструкцій з сітчастими перегородками……245
4.5 Удосконалення технології охорони підготовчих виробок породними стійками……266

4.6 Обґрунтування параметрів комбінованої конструкції з породної смуги та стінок з породних стійок……..280
4.7 Розробка технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких підстилаючих порід, що базуються на переспрямуванні видавлюючих зусиль…….....295
Висновки до розділу 4……324
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК В УМОВАХ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД. ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ……..327
5.1. Розробка методики вибору та визначення раціональних параметрів технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід……327
5.2 Розробка технологічних схем охорони підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід……342
5.3 Результати випробувань та умови використання нових технологій охорони підготовчих виробок……361
5.4 Визначення економічної ефективності розроблених технологій охорони виробок……378
Висновки до розділу 5……381
ВИСНОВКИ……383
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……388
ДОДАТКИ……432
Додаток А. Відомості про умови розробки вугільних пластів на шахтах українського Донбасу……433
Додаток Б. Результати аналізу перспективних районів Донбасу……436
Додаток В. Результати визначення стійкості бічних порід в умовах шахт перспективних районів Донбасу……437
Додаток Г. Дані та результати шахтних натурних спостережень за станом підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід……440

Додаток Д. Методика підготовки вимірювальних станцій в умовах підготовчих виробок «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»……..454
Додаток Е. Протокол технічної наради з визначення варіанту закладення західного польового штреку та розгляду заходів з охорони 8-го західного конвеєрного штреку пл. m_3 ВП «Шахта ім. Є.Т. Абакумова» ДП «Донецька вугільна енергетична компанія»……..460
Додаток Ж. Протокол шахтних експериментів з вивчення закономірностей проявів гірського тиску навколо виробок, закріплених рамно-арковим кріпленням в умовах шахти «Щегловська-Глибока» ПАТ ШУ «Донбас»….468
Додаток З. Протоколи шахтних натурних спостережень за конвергенцією порід і деформуванням кріплення та шахтних експериментів з вивчення закономірностей проявів гірського тиску в конвеєрній виробці 13-ої східної лави пласта c_{11} ДП «Шахта ім. М.С. Сургая»…….. 470
Додаток И. Результати складання планів експериментів для отримання вихідних даних при чисельному моделюванні……..478
Додаток Л. Методика прогнозування зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід…. 497
Додаток М. Загальний вигляд фізичних моделей з еквівалентних матеріалів для визначення параметрів локальних укріплених зон…….499
Додаток Н. Опис етапів алгоритму вибору засобів охорони в умовах слабких бічних порід…….504
Додаток П. Методика вибору технологій охорони підготовчих виробок та визначення їх параметрів ……512
Додаток Р. Документи щодо впровадження нових технологій охорони підготовчих виробок…….514
Додаток С. Результати визначення ступеня деформацій підготовчих виробок при застосуванні різних засобів охорони…….531
Додаток Т. Визначення енерговитрат організмів шахтарів при виконанні операцій зі спорудження засобів охорони……..533

Додаток У. Розрахунок очікуваної економічної ефективності від впровадження способу охорони виробки жорсткими спорудами з компенсаційними порожнинами в умовах шахти «Щегловська-Глибока» ПАТ ШУ «Донбас»……536
Додаток Ф. Розрахунок економічної ефективності від застосування комбінованої охоронної споруди з рядової породи та мішків в умовах конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18} “Шахтоуправління "Південнодонбаське №1”……..540
Додаток Х. Розрахунок економічної ефективності від застосування армованої бутової смуги в умовах конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова ДП «Донецька вугільна енергетична компанія»……549
Додаток Ц. Довідки про використання результатів дисертаційної роботи…. 556
Додаток Ш. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації…….559

ВСТУП

Актуальність теми. Вугілля є головним енергоносієм в Україні, гарантом її економічної й політичної незалежності, оскільки виступає стабільною основою для виробництва теплової та електричної енергії, палива, хімічної продукції, будівельних матеріалів, добрив, виплавки металу тощо. Незважаючи на те, що останнім часом простежується тенденція до зменшення обсягів споживання вугілля та перехід до альтернативних джерел енергії, цей енергоносій не втратить своєї актуальності й має для країни стратегічне значення, оскільки близько 35 % обсягу виробництва електроенергії припадає на теплові електростанції. Частка ядерної генерації у виробітку електроенергії, що становить понад 51 %, робить Україну імпортозалежною через неможливість здійснення в країні замкненого ядерно-паливного циклу. Також треба враховувати, що вугільні підприємства є бюджетоутворюючими для багатьох шахтарських містечок.

Перспективною вугільна галузь може бути тільки за умови зростання обсягів видобування вугілля, що пов'язане з необхідністю ведення гірничих робіт у складних гірничо-геологічних умовах і безперебійною роботою комплексно-механізованих вибоїв. У таких умовах стійка робота лав багато в чому залежить від експлуатаційного та безаварійного стану підготовчих виробок, які зазнають інтенсивні зміщення порід на контурі, коли потрапляють у зони тимчасового опорного тиску перед лавою та позаду неї.

Останнім часом, унаслідок ускладнення гірничо-геологічних умов та зменшення витрат на проведення виробок, частка систем розробки з підтриманням виробок позаду лав поступово збільшується (становить 44 % від загальної кількості діючих лав). Тому вкрай важливою є охорона виробок у зоні тимчасового впливу очисних робіт позаду лави, де, унаслідок виймання пласта та використання недостатньо ефективних засобів охорони, загальні зміщення порід покрівлі й підошви виробок майже в 4 рази перевищують

зміщення, які були в масиві поза зоною впливу лави. Ще гіршою буде ситуація в умовах слабких бічних порід, у яких застосування засобів охорони є специфічним. Зокрема, збільшення жорсткості цих споруд нівелюється їх вдавлюванням (просіданням) у породи підошви, що спричиняє видавлювання останніх у виробку, значне осідання покрівлі та втрату перетину виробки. Збільшення піддатливості (усадки) засобів охорони, навіть за меншої величини вдавлювання, знов призводить до суттєвого осідання покрівлі. Тоді необхідною є взаємодія засобу охорони та слабких бічних порід в єдиній геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи», коли управлінням напружено-деформованим станом (НДС) системи можна забезпечити стійкість виробки позаду лави. Установлення закономірностей управління НДС такої системи дозволить створити основу для вдосконалення існуючих або розробки нових ресурсозберігаючих технологій охорони.

На жаль, для вирішення технічних завдань забезпечення стійкості підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід недостатньо накопичено та викладено як теоретичні, так і узагальнені емпіричні відомості щодо вирішення наукової проблеми, яка полягає у визначенні закономірностей, характеристик і параметрів охорони підготовчих виробок на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи».

Таким чином, охорона підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід є науково-технічною проблемою, яка має важливе наукове, техніко-економічне та соціальне значення.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у відповідності до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року», затвердженої Законом України від 21.04.2011 р. № 3268-VI, пріоритетного тематичного напрямку наукових досліджень «Технології виявлення і оцінки корисних копалин, їх раціонального екологічно безпечного

видобування», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 г. № 942, а також з пріоритетними тематичними напрямками наукових досліджень ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (ДВНЗ ДонНТУ), згідно з наказом МОНМС України від 07.07.2011 р. № 535 «Високоефективне встаткування й ресурсозберігаючі технології в гірничий, геологорозвідувальній і нафтовій галузях промисловості», у рамках держбюджетних тем ДВНЗ ДонНТУ: «Розробка проекту нормативного документу з використання анкерного кріплення для забезпечення стійкості гірничих виробок глибоких шахт» (держ. реєстрація № 0107U012803, 2008 р.); «Розробка і впровадження нетрадиційних ресурсозберігаючих технологій управління напружено-деформованим станом гірського масиву навколо виробок» (держ. реєстрація № 0110U001053, 2010-2011 рр.); «Розвиток теоретичних основ управління геомеханічним станом дискретного породного масиву для забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких шахт», (держ. реєстрація № 0111U002118, 2011-2012 рр.); «Удосконалення способів підвищення стійкості гірничих виробок в умовах глибоких шахт» (держ. реєстрація № 0117U004316, 2015-2017 рр.), «Дослідження кінетики зміщень порід в підготовчих виробках для розробки заходів щодо забезпечення їх експлуатаційного безпечного стану» (держ. реєстрація № 0117U004317, 2017р.). У цих НДР автор брав участь як науковий керівник та співвиконавець.

Ідея роботи полягає у використанні виявлених закономірностей управління напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав.

Мета роботи полягає у розвитку наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій щодо забезпечення стійкості виробок, які ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

Об’єкт дослідження – стійкість підготовчих виробок, що підтримуються позаду лав в умовах слабких бічних порід.

Предмет дослідження – технології охорони гірничих виробок, що ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

Наукові задачі та практичні завдання дослідження:

1. Визначити технічні основи ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

2. Встановити закономірності управління напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» на основі дослідження деформаційних процесів у засобах охорони та навколишніх породах в умовах слабких бічних порід.

3. Виконати геомеханічне обґрунтування способів управління станом порід навколо засобів охорони та розробити заходи щодо забезпечення стійкості цих споруд в умовах слабких бічних порід.

4. Обґрунтувати конструктивні рішення щодо створення ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок і створити теоретичні основи для визначення параметрів даних технологій.

5. Розробити технологічні схеми та визначити умови ефективного застосування розроблених технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

Методи досліджень: аналіз і узагальнення сучасних науково-технічних досягнень в області охорони підготовчих виробок; шахтні інструментальні спостереження; аналітико-експериментальний метод прогнозу зміщень порід покрівлі підготовчої виробки позаду лави; методи механіки гірських порід, ґрунтів та сипкого середовища; фізичні моделювання на натурних й еквівалентних матеріалах; чисельне комп'ютерне моделювання (метод скінченних елементів) із застосуванням методів планування експерименту; статистична обробка результатів експериментів; аналіз та

інтерпретація отриманих результатів; дослідно-промислові випробування розроблених технологій охорони виробок.

Наукові положення, що виносяться на захист та їх новизна:

1. Уперше визначено основні закономірності й параметричні зв'язки для розташування охоронних конструкцій з рядової породи та обмежуючих поверхонь у формі трапецієподібних призм та прямокутних паралелепіпедів з обов'язковою їх орієнтацією вужчою гранню до виробки та залишенням між ними компенсаційних порожнин для перерозподілу напружень у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» і спрямування зусиль витискування у порожнини та вироблений простір для забезпечення експлуатаційного стану виробки. При цьому лінійні розміри таких опор та порожнин визначаються з врахуванням висоти привибійного простору та кута внутрішнього тертя підстилаючих порід.

2. Дістали подальшого розвитку дослідження закономірностей розподілу напружень над засобами охорони в зоні впливу очисних робіт, які досягають величини, що дорівнює 1,5γH, та є результатом формування навантаження на засоби, через які близько 90 % величини цього навантаження передається на підстилаючих породи, у результаті чого спостерігаються усадки та просідання засобів, величини яких визначаються за встановленими багатофакторними залежностями з урахуванням діючого навантаження на засіб, його ширини, висоти та деформаційних характеристик, а також потужності верхнього шару порід підошви та характеристик його стиснення, що дозволяє прогнозувати зміщення порід покрівлі виробки, яка охороняється, на ділянці тимчасового опорного тиску позаду лави, залежно від потужності вугільного пласта, його фізико-механічних характеристик та вміщуючих порід, параметрів кріплення кінцевої ділянки лави, параметрів засобу охорони та ширини виробки.

3. Уточнено наукові дані щодо просідання засобів охорони відносно поверхні слабких підстилаючих порід та встановлено, що цей процес є

циклічним і відбувається на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід, коли загальні поздовжні деформації підстилаючого шару порід досягають 12 ‰, а напруження від дії засобу охорони перевищують опір зруйнованих порід стисненню на межі залишкової міцності, що визначається з урахуванням уточненого логарифмічного кореляційного зв'язку між відносною залишковою міцністю осадових порід і їх граничною міцністю на стискання в зразку. Це дає змогу оцінювати стійкість геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» та приймати рішення щодо створення локальної укріпленої зони під засобом охорони, ефективність застосування якої визначається з урахуванням: навантаження з боку засобу охорони, його ширини, деформаційних характеристик і геометричних параметрів локальної укріпленої зони та деформаційних характеристик і потужності порід підошви.

4. Дістали подальший розвиток дослідження щодо особливостей розподілу напружень у засобах охорони з рядової породи, які є елементом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», та встановлено, що рівновага в цій системі забезпечується використанням обмежуючих поверхонь, у якості яких можуть бути металеві сітчасті перегородки та стінки з мішків, з якими загальна ширина споруд перебуває в діапазоні від $3h$ до $6h$ (де h – початкова висота споруди), піддатливість – від 0,08 h до 0,3 h, а їхні параметри визначаються з урахуванням гранулометричного складу закладного породного матеріалу та розміру чарунок (у перегородках) і міцності арматури (волокон) на розтягнення та пустотності породи (у мішках), що дозволяє забезпечувати стійкість підготовчих виробок позаду лав застосуванням ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони.

Наукове значення роботи полягає у вирішенні наукової проблеми щодо визначення закономірностей, характеристик і параметрів охорони підготовчих виробок на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи», що дозволило розвинути наукові основи охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід та

обґрунтувати параметри ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав.

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

1. Розробці методики прогнозування зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід, з урахуванням зміщень порід над крайовою частиною пласта, кінцевою ділянкою та на ділянці просідання й усадки засобу охорони.

2. Обґрунтуванні критерію стійкості порід під засобом охорони й умови стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

3. Розробці технології забезпечення стійкості засобів охорони на слабких підстилаючих породах підошви створенням під ними локальних укріплених зон.

4. Розробці ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок, які захищені патентами та ґрунтуються на застосуванні стрічкових та окремо розташованих конструкцій з рядової породи та обмежуючих поверхонь, у якості яких використовуються сітчасті перегородки та (або) стінки з мішків.

5. Розробці ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок, які захищені патентами та передбачають створення відокремлених опор зі спеціальними формами, між якими мають залишатися компенсаційні порожнини для перерозподілу напружень у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» та спрямування зусиль витискування від виробки, що охороняється;

6. Розробці методики вибору й визначення раціональних параметрів технологій охорони підготовчих виробок, у тому числі в умовах слабких бічних порід;

7. Розробці технологічних схем охорони підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід.

Реалізація результатів роботи. Результати виконаних досліджень використані при формулюванні рекомендацій щодо забезпечення експлуатаційного й безпечного стану підготовчих виробок та кінцевих ділянок очисних вибоїв, які передбачали впровадження нових технологій охорони в умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (очікуваний економічний ефект від 1077,10 до 6452,09 грн. на 1 п.м виробки (у цінах 2020 року), шахт ім. Є.Т. Абакумова (економічний ефект 6303,33 грн./м (у цінах 2011 р.)) та «Щегловська-Глибока» (економічний ефект 200, 00 грн./м (у цінах 2011 р.)).

Практичні результати роботи використані в навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України при викладанні дисциплін «Сучасні способи ефективного підвищення стійкості гірничих виробок», «Розробка родовищ корисних копалин у складних гірничо-геологічних умовах», «Охорона гірничих виробок».

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: коректністю сформульованих задач; достатнім обсягом натурних спостережень; коректним застосуванням апробованих методів аналізу й обробки експериментальних даних; коректністю постановки й вирішення завдань із застосуванням фундаментальних положень механіки гірських порід, ґрунтів та дискретного середовища; використанням апробованих методів скінчених елементів і статистики; достатнім обсягом лабораторних експериментів; задовільною збіжністю результатів експериментальних і теоретичних досліджень (до 15 %); результатами позитивного використання розроблених технологій та оцінкою їх ефективності.

Особистий внесок здобувача полягає у: формулюванні наукової задачі, мети й основних завдань досліджень, ідеї роботи, її основних положень, висновків і рекомендацій; постановці та проведенні натурних і лабораторних експериментів, обробці й аналізі їх результатів; розробці методики прогнозу зміщень та визначення міцністних та деформаційних характеристик гірських порід; розробці технологій охорони підготовчих виробок та їх упровадженні;

апробації результатів роботи й виконанні НДР. Зміст дисертації викладено автором самостійно.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить: [1] – участь у проведенні лабораторних випробувань породних споруд з металевими сітками, обробка їх результатів; [2] – формулювання мети та висновків роботи, визначення основних чинників впливу в зруйнованому породному масиві, організація, проведення та обробка результатів лабораторних досліджень; [3] – обґрунтування актуальності, формулювання мети та визначення напряму подальших досліджень; [5] – аналіз засобів охорони, співучасть у складанні та описі алгоритму, формулювання висновків; [6] – формулювання мети та висновків, аналіз заходів щодо підтримання виїмкових виробок; [8] – визначення напрямку дослідження, формулювання мети та висновків, організація хронометражних спостережень та визначення норм часу та виробітку; [10, 13] – визначення енерговитрат організмів шахтарів при виконанні окремих операцій зі спорудження засобів охорони для встановлення необхідної кількості виконавців та тривалості компенсаційних перерв; [11] – обґрунтування актуальності, формулювання мети, організація та проведення лабораторних випробувань породних конструкцій, складання та розв’язання рівняння граничної рівноваги з отриманням залежності ширини породної смуги від чинників впливу; [12] – аналіз факторів, які впливають на параметри засобів охорони, обґрунтування гіпотези лінійності опускання порід покрівлі на ділянці зони активних зміщень; [14] – обґрунтування актуальності, формулювання мети та висновків, організація та проведення чисельного та фізичного моделювань для визначення параметрів трапецієподібних породних опор та їх розташування відносно виробки; [15] – співучасть у виконанні шахтних натурних спостережень, обробка та аналіз результатів; [16, 17] – визначення зсувів порід покрівлі на ділянці активних зміщень та обґрунтування заходів щодо їх запобігання, зокрема, обмеженням піддатливості засобів охорони; [19, 41] – організація та проведення шахтних

натурних спостережень, формулювання мети та висновків, отримання та обробка результатів інструментальних вимірювань, впровадження засобу охорони з армуванням бутової смуги металевими сітками; [20] – формулювання мети та висновків, обґрунтування актуальності, побудова та розрахунок чисельної моделі й визначення навантажень на засіб охорони; [22] – аналіз останніх досліджень і публікації, формулювання мети та викладення результатів фізичного та чисельного моделювань, встановлення параметрів породних споруд з компенсаційними порожнинами; [23] – формулювання мети та висновків, складання методики шахтних спостережень, обробка результатів; [24] – отримання вихідних даних для постановки задач та проведення чисельного моделювання; [25] – організація та проведення шахтних натурних спостережень, формулювання мети та висновків, отримання та обробка результатів інструментальних вимірювань; [26, 33, 39, 50] – загальне редагування, визначення ефективності технологій охорони жорсткими спорудами, складання методик моделювання та підбір еквівалентних матеріалів, обробка та опис результатів; [27, 30, 31] – формулювання мети та висновків, постановка задачі та безпосередня участь у випробуваннях породних конструкцій, обробка результатів моделювання; [28, 29, 44] – загальна редакція, визначення методів, формулювання мети та висновків; [32, 34, 35, 38, 43] – загальна редакція, формулювання мети та висновків, проведення моделювань та обробка їх результатів; [40] – обґрунтування актуальності розробки технологій охорони в умовах слабких бічних порід, побудова та розрахунок чисельної моделі, обробка та опис результатів моделювання; [45-46] – встановлення ефективних параметрів охоронних конструкцій для визначення їх відмінних ознак і способів реалізації; [47-49] – формулювання сутності способів та визначення їх відмінних ознак за результатами моделювань та розрахунків; [54] – загальна редакція, обґрунтування актуальності, формулювання мети та висновків, виклад основного матеріалу та обговорення результатів.

Апробація результатів роботи. Наукові та прикладні результати дисертації обговорювалися й одержали схвалення на: Міжнародній конференції «VIII szkoła geomechaniki» (Польща, м. Глівіце-Устронь, 2007 р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Вдосконалення технології будівництва шахт та підземних споруд» (Україна, м. Донецьк, 2007, 2008, 2010-2013 р.); Регіональній науково-практичній конференції «Проблеми гірничої технології» (Україна, м. Красноармійськ, 2008 р., 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології підземного будівництва та видобування корисних копалин» (Україна, м. Алчевськ, 2008 р.); ІІ-ої міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Перспективи освоєння підземного простору» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2008 р., 2011 р., 2016 р.); VI Krakowska konferencja mlodych uczonych (Польща, м. Краків, 2011 р.); VII Krakowska konferencja mlodych uczonych (Польща, м. Краків, 2012 р.); VI-ій науково-практичній конференції «Донбас-2020: Наука і техніка – виробництву» (Україна, м. Донецьк, 2012 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні технології розробки родовищ корисних копалин» (Україна, м. Донецьк, 2013 р.); І та ІІ Міжнародних науково-практичних форумах «Технології і процеси у гірництві та будівництві» (Україна, м. Донецьк, 2013 р., 2014 р.); Міжнародному форумі-конкурсі молодих учених «Проблеми надрокористування» (РФ, м. Санкт-Петербург, 2011, 2012, 2014 р.); Днях науки в ДонНТУ «Наука Донбасу – від теорії до практики» (Україна, м. Красноармійськ, 2015 р.); ІІІ-ІХ Міжнародних науково-практичних конференціях «Технології і процеси у гірництві та будівництві» (Україна, м. Покровськ, 2015-2020 р.); VIII Міжнародному науково-практичному форумі «Донбас 2020: перспективи розвитку очима молодих учених» (Україна, м. Покровськ, 2016 р.); Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (Україна, м. Кривий Ріг, 2016 р.); Міжнародній науково-технічній

конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (Україна, м. Кривий Ріг, 2017 р.), XIII міжнародній науково-практичній конференції «Українська школа гірничої інженерії» (Україна, м. Бердянськ, 2019 р.), IV науково-практична конференція “Scientific achievements of modern society” (Велика Британія, Ліверпуль, 2019 р.), II International Conference Essays of Mining Science and Practice (Україна, Дніпро, 2020 р.).

Публікації. Результати дисертації викладено в 54 наукових працях (11 – одноосібні), 22 з яких опубліковано у спеціалізованих фахових виданнях МОН України, 13 публікацій – у періодичних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, у тому числі 4 – у базах Scopus та WoS, 22 − у збірниках матеріалів конференцій, у тому числі 7 – за кордоном, 1 патент на винахід, 4 патенти на корисну модель.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел (397 позицій) на 44 сторінках, 21 додатка на 135 сторінках; містить 172 рисунки і 5 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 566 сторінок; основний текст – 309 сторінок.

Автор висловлює щиру подяку доктору технічних наук, професору М. М. Касьяну за науково-консультативну допомогу в процесі виконання роботи, доктору технічних наук І. Г. Сахно за допомогу при виконанні інструментальних спостережень і впровадженні результатів досліджень, доктору технічних наук, професору С. В. Подкопаєву за цінні поради, які дозволили завершити дослідження.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПЕРЕДУМОВ РОЗВИТКУ НАУКОВИХ ОСНОВ ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК В УМОВАХ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Вивчення питання підтримання підготовчих виробок для забезпечення їх експлуатаційного та безпечного стану

Вугільна промисловість України впродовж багатьох десятків років залишається однією з ключових галузей економіки, оскільки вугілля є стабільною основою для виробництва електроенергії, палива, продукції хімічної галузі, виплавки металу тощо. Крім того, дана галузь є містоутворюючою для багатьох монофункціональних міст вуглевидобувних басейнів тощо [301]. Незважаючи на те, що останнім часом прослідковується тенденція до зменшення обсягів споживання вугілля та перехід до альтернативних джерел енергії, вугілля не втратить свою актуальність і має для України стратегічне значення, оскільки близько 35,2 % обсягу виробництва електроенергії припадає на теплові електростанції [119]. Найбільшу частку (51,2 %) має ядерна генерація, але вона імпортозалежна внаслідок неможливості здійснення у країні замкненого ядерно-паливного циклу [211]. Тому заміщення теплової енергетики атомною робить нашу країну залежною. Крім того, зупинка видобутку вугілля в Україні матиме складні, майже неподолані на певних територіях наслідки економічного, соціального та екологічного характеру [181]. Але перспективи розвитку вугільна галузь буде мати тільки за умови зростання величини видобутого вугілля та збільшення ефективності вугільної промисловості [323].

Зростання обсягів видобутку вугілля з очисних вибоїв пов'язане з

необхідністю ведення гірничих робіт на великих глибинах у складних гірничо-геологічних умовах і безперебійною роботою комплексно-механізованих вибоїв. В таких умовах стійка робота лав багато в чому залежить від експлуатаційного та безаварійного стану підготовчих виробок.

У 90-ті роки зі збільшенням глибини розробки стійко знижувалась частка стовпової системи розробки (68 % на глибині 600 м та 39% на глибині понад 1000 м), а суцільної зростала з 13 до 37 % [252], при цьому питома вага комбінованої системи залишалася на рівні 19-20%. За останні 20 років ситуація майже не змінилася. Причому для діючих шахт українського Донбасу (додаток А) станом на 2015 р. частка стовпової системи розробки складає 59 %, а суцільної та комбінованих – відповідно, 17 та 42 %. На теперішній час для неокупованої території цей розподіл склав, відповідно, 56, 8 та 36 % (рис. 1.1). Тобто частка систем розробки з підтриманням виробок позаду лави поступово збільшується. Треба відзначити, що перехід на варіанти комбінованої системи розробки обумовлений необхідністю повторного використання виробок для зменшення обсягів проведення виробок. Наприклад, в умовах ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» у період з 2010 по 2017 р. частка виробок з повторним використанням збільшилася з 29 до 77 %, а обсяги проведення виробок зменшилися з 6 до 4,1 м/тис.т [94].

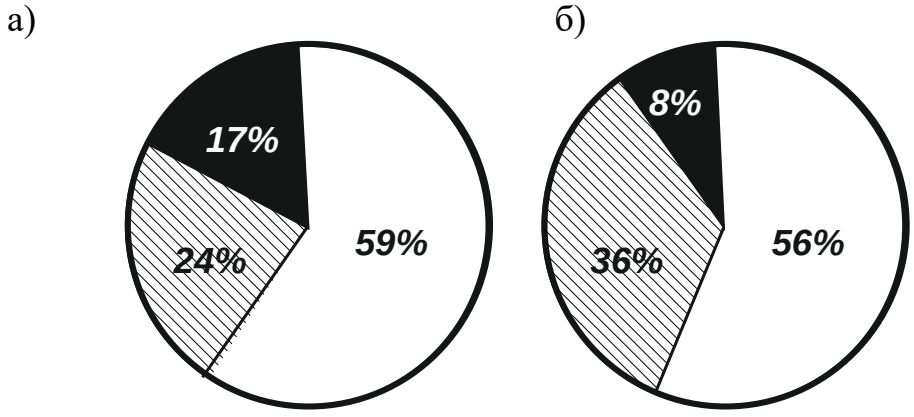


Рисунок 1.1 – Діаграми пайової участі варіантів систем розробки на діючих шахтах українського Донбасу (а) та його неокупованої території (б)
(□- стовпова, ■- суцільна, ▨- комбінована)

Таким чином, з огляду на тенденцію до збільшення частки систем розробки, які передбачають підтримання підготовчих виробок позаду лав, і необхідністю повторного використання проблема підтримання таких виробок має першорядне значення. Це обумовлено тим, що незадовільний стан виробок порушує роботу транспорту, провітрювання виїмкових дільниць, збільшує ймовірність аварій від обвалень на кінцевих ділянках лави й у виробках при здійсненні робочими технологічних операцій.

До теперішнього часу накопичено чималий досвід підтримання підготовчих виробок позаду очисних вибоїв в широкому спектрі гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов.

Саме по собі *підтримання гірничих виробок* – це сукупність способів і засобів кріплення й охорони для забезпечення стійкості гірничих виробок [348]. Тобто заходи забезпечення стійкості виробок позаду лави можна розділити на 2 групи: способи та засоби кріплення (I група); способи та засоби охорони (II група). Також відомо, що *підтримання гірничих виробок* – це сукупність заходів щодо охорони, кріплення та ремонту виробок для забезпечення експлуатаційного стану впродовж терміну служби [213]. Таким чином, до підтримання підготовчих виробок відносяться всі заходи, які здійснюються у виробці та навколо неї для забезпечення експлуатаційного стану впродовж всього терміну служби. З огляду на сучасну концепцію безаварійного та експлуатаційного підтримання виробок [179, 295], застосовувані способи та засоби мають забезпечувати як безпечні умови ведення гірничих робіт, так і бути досить ефективними, простими в реалізації та маловитратними.

До заходів підтримання виробок відноситься вибір: способу охорони виробки; форми та способу проведення; засобів і способів кріплення; засобів зміцнення (знеміцнення) порід, які вміщують виробку; засобів охорони виробки позаду лави та посилення кріплення в процесі її експлуатації, а також заходів щодо ліквідації наслідків деформування контуру виробки тощо.

Варто внести ясність при трактуванні деяких понять. Так, згідно

Стандарту Мінвуглепрому України [348], *охорона виробок* - це технологія проведення і заходи з забезпечення стійкості гірничих виробок, *кріплення* - це комплекс робіт по зведенню гірничотехнічних конструкцій для забезпечення стійкості гірничої виробки й управління гірничим тиском, *спосіб охорони* - оптимальне за фактором гірничого тиску розташування гірничих виробок в шахті щодо очисних робіт, а *засоби охорони* - штучні споруди з боку очисних робіт для зниження зміщень порід.

Таким чином, охорона гірничих виробок є поєднуючим терміном, що включає способи і засоби їх охорони, а також додаткові заходи. Їх застосування передбачає реалізацію сукупності прийомів і способів зміни стану порід навколо виробок з метою забезпечення їх стійкості. Тому технологічні процеси їх реалізації можна називати *технологіями охорони виробок*.

До способів охорони підготовчих виробок відноситься [348] проведення виробок: в масиві вугілля або у порожніх породах; вприсічку до виробленого простору раніше відпрацьованої лави; біля вугільних ціликів; слідом за лавою на межі з масивом вугілля; в суцільному виробленому просторі; в завалених і ущільнених породах; з повторним використанням виробки тощо.

Найбільш перспективним способом охорони в умовах високонавантажених лав є повторне використання виробок від раніше відпрацьованих очисних вибоїв при комбінованих системах розробки [94, 165] та на цю технологію припадає найбільша протяжність виробок в незадовільному стані, оскільки вони підтримуються у найбільш несприятливих умовах [358]. Найменша довжина виробок в незадовільному стані припадає на проведення їх вприсічку до виробленого простору, коли виробки знаходяться в зоні розвантаження масиву та, в меншій мірі, зазнають впливу очисних робіт [358]. Проведення слідом за лавою на межі з масивом або з випередженням очисного вибою, як правило, застосовується для транспортних виробок при суцільних системах розробки та комбінованих на основі суцільних. Проведення виробок у порожніх породах доцільне тільки в

умовах великих глибин і нестійких бічних порід.

Дослідження зі створення стійких форм гірничих виробок інтенсивно проводилися у 60-і роки минулого століття, але до цих пір вони не втратили свою актуальність, оскільки форми поперечного перерізу виробок, які були стійкими у конкретних умовах, перейшли у категорію нестійких зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт, зменшенням міцності бічних порід, збільшення ступенів тріщинуватості та порушеності масиву. Найбільш поширеними формами для підготовчих виробок є: склепінна, трапеціїподібна, прямокутна та підковоподібна. Кільцева й еліптичні не знайшли широкого застосування при підготовці виїмкових дільниць через велику вартість та відносно невеликий термін служби підготовчих виробок. Проте, останнім часом докладаються спроби щодо створення нових стійких форм. Зокрема, варто відзначити асиметричні форми з криволінійними контурами та розташуванням сегменту з найменшим радіусом у напрямку максимальних зсувів порід [280], також форми для овоїдних або підковоподібних кріплень, а також склепінні з прямолінійною частиною у покрівлі для забезпечення кращого контакту між кріпленням та породами, виключення порушення їх суцільності та своєчасного залучення кріплення в активну роботу [201, 202, 342].

Для існуючих форм виробок розроблено велику кількість конструкцій кріплень, але для підготовчих виробок не всі конструкції доцільні до застосування через дорожнечу. Найбільш поширені кріплення - металеві та дерев'яні прямокутної та трапеціїподібної форм, металеві арочні та підковоподібні, а також комбіновані. Вони обов'язково мають бути піддатливими, оскільки зазнають впливу очисних робіт. Вони можуть застосовуватися як самостійно, так і спільно з додатковими підсилюючими елементами: кріпленнями посилення, анкерами, набризкбетоном тощо.

Велика увага у конструкціях кріплень приділяється типу застосовуваних профілів, вузлів піддатливості та міжрамних огорож. Так, до недавнього часу, концепцією забезпечення експлуатаційного стану гірничих виробок було

збільшення несучої здатності кріплень за рахунок збільшення їх металоємності застосуванням «важких» профілів. Але, як показала практика, ця концепція не увінчалася успіхом, оскільки економічний ефект від даних заходів не дозволив покрити витрати на їх реалізацію та й самі заходи не забезпечили безремонтного стану виробок. Було доведено, що збільшення несучої здатності кріплень не може істотно вплинути на геомеханічну ситуацію навколо виробки та необхідно при створенні ресурсозберігаючих технологій кріплення йти шляхом максимального залучення у роботу навколишнього породного масиву. Саме цей підхід ліг в основу розробки технологій, що передбачають застосування анкерних систем [62, 114, 187, 314, 325, 359], способів активного розвантаження масиву навколо виробки [117, 164, 314, 382], фізико-хімічного зміцнення порід навколо виробки [117, 187, 197, 367], застосування кріплень посилення та підсилюючих елементів спільно з основним кріпленням [314, 342, 388] тощо.

Одним із заходів збереження експлуатаційного стану виробок пропонується їх проведення зі збільшеною площею перетину з урахуванням можливих зсувів порід, із застосуванням аркового кріплення підвищеної піддатливості [370].

При всіх цих способах охорони важливим залишається питання правильного вибору засобів охорони виробок позаду лави, оскільки від цього безпосередньо залежить не тільки стійкість виробок, а й забезпечення безпечних умов праці робітників на кінцевих ділянках лави та у виробках.

До традиційних засобів охорони відносяться вугільні цілики та штучні охоронні споруди, до яких відносяться: бутові смуги, костри, бутокостри, кущі, литі смуги, тумби із залізобетонних блоків, органні ряди [106, 203, 308, 314, 348, 350, 358, 372]. Всі ці споруди давно застосовуються в умовах вугільних шахт і досить добре зарекомендували себе у різних умовах. Найбільш ефективними визнані жорсткі охоронні споруди, які перешкоджають опусканню та розшаруванню порід покрівлі [387], а також

сприймають на себе основне навантаження від підробленої покрівлі та сприяють обрізанню порід у виробленому просторі [73]. Але, в силу того, що ускладнилися гірничо-геологічні умови, погіршився фінансовий стан підприємств, змінилися їхні потреби в обсягах видобутку, традиційні засоби охорони в певних умовах можна визнати недостатньо ефективними, з точки зору забезпечення стійкості виробок, трудомісткості робіт або дорожнечі [80].

На допомогу або на заміну існуючим засобам охорони прийшли інноваційні, які в певних умовах були ефективними [285, 293]. До таких можна віднести: цілики трикутної [222] та трапецієподібної [107, 109] форм, породні блоки [234], породні стійки [186, 189], бутові смуги з армуючими елементами [259], дерев'яні стійки СКУ [293], стрічкові смуги з породоцементних напівблоків [293], тумби з дерев'яно-бетонних блоків БДБ [97, 363], газобетоні опори [179] тощо. Велика кількість сучасних технологій охорони ґрунтуються на використанні закономірностей формування вантажонесучих конструкцій у геотехнічній системі «засіб охорони - бічні породи», яка являє собою сукупність засобу охорони та навколишніх порід, що перебувають у тісному взаємозв’язку.

При всьому різноманітті заходів з підтримання підготовчих виробок, на жодному підприємстві не обходиться без комплексу заходів з їх ремонту. Практично повсюдно проводиться перекріплення виробок, підривання порід підошви для забезпечення їх експлуатаційного стану. Всі ці операції не можна назвати ефективними, оскільки будь-яке втручання в малу геотехнічну систему «кріплення – вміщуючий масив» обов'язково веде до порушення сталого рівноважного стану, інтенсифікації зсувів на контурі виробки та необхідності проведення повторного ремонту [166, 167]. Крім того, ці операції досить трудомісткі, оскільки виконуються переважно вручну, місця ж проведення перекріплень травмонебезпечні. Тому в сучасних умовах удосконалюються технології з перекріплення гірничих виробок, в тому числі, які ґрунтуються на використанні вантажонесучої здатності вміщуючих порід.

Варто окремо відзначити, що в умовах систем розробки, які

передбачають підтримання виробок позаду очисного вибою, особливо гостро стоять проблеми забезпечення експлуатаційного та безаварійного стану підготовчих виробок у зоні активних зрушень порід позаду лави. На цьому етапі існування виробок вони вже проведені із заданою формою, закріплені певним типом кріплення та потребують застосування ефективних заходів для зменшення шкідливого впливу на виробку тимчасового опорного тиску, викликаного вийманням вугільного пласта. Це може бути досягнуто розробкою ефективних засобів охорони, які мають бути маловитратними та простими у своїй реалізації.

В результаті аналізу заходів з підтримання підготовчих виробок можна зробити висновок про те, що при всьому їх різноманітті гірнича наука не стоїть на місці та робить спроби щодо створення нових технологій охорони виробок. При цьому значну частку у дослідженнях займають технології, що ґрунтуються на залученні у роботу породного масиву із засобами кріплення, охорони та перекріплення виробок. Дана тенденція досить виправдана в силу того, що складно забезпечити експлуатаційний та безпечний стан виробок індивідуальним застосуванням окремих конструкцій без залучення у роботу навколишнього масиву, а в умовах слабких бічних порід це взагалі неможливо, оскільки такі породи достатньо чуттєво реагують на технологічні процеси при видобуванні вугілля. У таких умовах важливим є інтенсивність і напрямок переміщень засобів охорони та навколишніх порід, зміна їх форми та об’єму, взаємодія їх між собою та окремих елементів і породних часток. Все це вказує на необхідність вивчення механічних явищ у геотехнічній системі «засоби охорони-бічні породи». Тому є актуальним проведення досліджень геомеханічних процесів навколо виробок в умовах слабких бічних порід та розробка заходів щодо збереження виробок в експлуатаційному стані забезпеченням стійкості у вищевказаній системі. Результатом таких наукових пошуків має бути розробка та застосування ефективних ресурсозберігаючих технологій підтримання гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах.

1.2 Аналіз існуючих засобів охорони підготовчих виробок

Як зазначалося раніше, одним з ефективних заходів щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок позаду лави є правильний вибір оптимальних для певних умов засобів охорони, застосування яких було б маловитратним та результативним, з точки зору забезпечення безремонтного стану виробки.

З безлічі існуючих засобів охорони галузевими технологічними схемами та стандартами передбачається тільки невелика їх кількість, внаслідок того, що вони доволі апробовані та показали свою ефективність в різних гірничо-геологічних умовах. Галузевим стандартом України [348] в умовах вугільних шахт рекомендуються «традиційні» засоби охорони, про які згадувалося вище. Їх умови застосування наведені в роботі [372], а також уточняються в роботі [314]. Області застосування цих засобів відрізняються потужністю пласта, що виймається, кутом падіння, категоріями порід покрівлі за стійкістю й обвалюваністю, а також межею міцності порід безпосередньої підошви на одновісний стиск [372]. Але, враховуючи великий обсяг досліджень з вивчення досвіду підтримання підготовчих виробок і розробки нових засобів охорони, можна зробити висновок, що ці засоби недостатньо ефективні.

Найпоширенішими засобами охорони серед діючих очисних вибоїв вугільних шахт України є бутові смуги та костри з деревини (рис. 1.2, додаток А). Це пов’язано з тим, що дані засоби є найбільш дешевими та простими у реалізації. Крім того, вони мають більш широку область застосування у порівнянні з аналогами, в тому числі, в умовах слабких порід підошви вугільних пластів, які характерні для багатьох шахт.

Найбільший діапазон умов застосування відноситься до охорони виробок кострами, а найменший – до тумб із залізобетонних блоків. Але це не означає, що охорона кострами вписується в усі умови та може застосовуватися повсюдно. До того ж фактичні умови застосування конкретного засобу охорони часто відрізняються від умов, рекомендованих галузевими

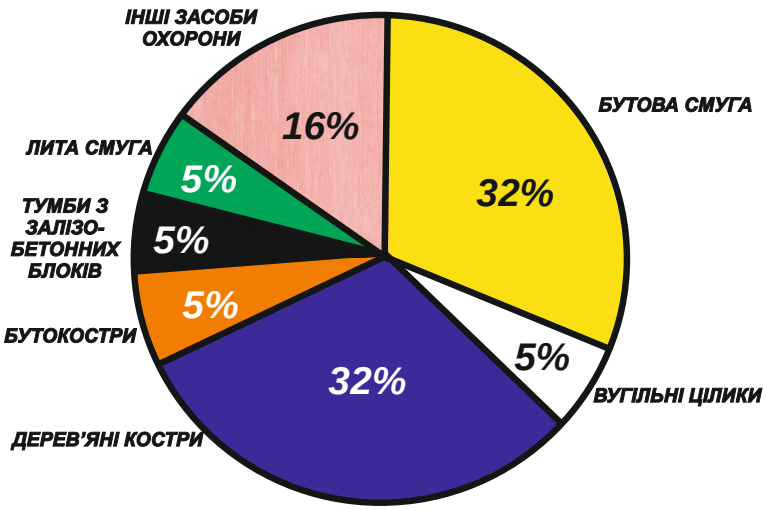


Рисунок 1.2 – Діаграма пайової участі засобів охорони, якими охороняються підготовчі виробки діючих лав

документами. Так, іноді більш жорсткі охоронні споруди на нестійких підошвах дають кращі результати. Наприклад, у роботі [387] показано, що здимання підошви при охороні бутовою смугою було більшим, ніж при охороні бутокострами. Часто бутова смуга застосовується при потужності пласта понад 1,5 м і кутом падіння більш 35˚, але, згідно документу [372] це не рекомендується. Тобто здійснюються спроби розширити області застосування цих засобів охорони, а, якщо це неможливо або економічно недоцільно, технології вдосконалюються або розробляються нові.

Охорона гірничих виробок циліками вугілля залишається однією з найбільш застосовуваних при відпрацюванні вугільних пластів на невеликих глибинах. Як правило, позаду очисного вибою залишаються цілики прямокутної форми, ширина яких визначається у залежності від потужності пласта, глибини робіт, міцності вугілля на одновісний стиск, об'ємної ваги порід покрівлі та ін. [93, 146, 315]. Основними недоліками даної технології є втрати вугілля та зменшення навантаження на очисні вибої. Причому останнє обумовлене необхідністю проведення додаткових нарізних виробок, ускладнення схеми транспортування корисної копалини з лави та технології кріплення кінцевих ділянок. Також цілики під дією гірського тиску можуть

руйнуватися в крайових частинах, що супроводжується зростанням вертикальної конвергенції у виробці, що охороняється, деформаціями кріплень та втратою несучої здатності [120]. Пояснення цьому наведене у роботі [309], у якій вказується, що вугільні цілики є крихкими охоронними спорудами, робота яких не передбачає пластичних деформацій. Тому цілики та породи покрівлі руйнуються, що призводить до посиленої деформації кріплення та зменшення площі поперечного перерізу виробки.

Для поліпшення техніко-економічних показників роботи очисних вибоїв була запропонована охорона виробок технологічними циліками трикутної [222] та трапецієподібної [107, 109] форм в основах (рис. 1.3). Застосування даних циліків дозволило зменшити час на кінцеві операції за рахунок радіального переміщення кінцевих ділянок лавних конвеєрів. Також цілики тимчасово сприяли зниженню інтенсивності зближення бічних порід в самій активній фазі проявів гірського тиску на сполученні підготовчих та очисних виробок [109]. Але на певній відстані від лави такі цілики працюють як концентратори напружень, що сприяють видавлюванню підошви у виробку, вироблений простір і порожнини між циліками, що неминуче супроводжується асиметричним навантаженням на опорні елементи та зміною контурів виробки [109]. З віддаленням від лави трикутні цілики руйнувалися, оскільки мали невеликі розміри та недостатню несучу здатність [222], а при трапецієподібних – відзначався задовільний стан покрівлі, але були інтенсивні зміщення підошви у виробці і, як наслідок, на відстані 16÷20 м від лави здійснювалась підривка на висоту 1,2 м [293]. Основними недоліками застосування цих технологій є: експлуатаційні втрати вугілля та необхідність проведення ремонтних робіт, у тому числі, повторних підривок.

Зі збільшенням глибини розробки й ускладненням гірничо-геологічних умов знайшли широке застосування безціликові технології з охороною штучними спорудами.

Аналогами органного кріплення є: жорсткі охоронні споруди з несучих

а) б)

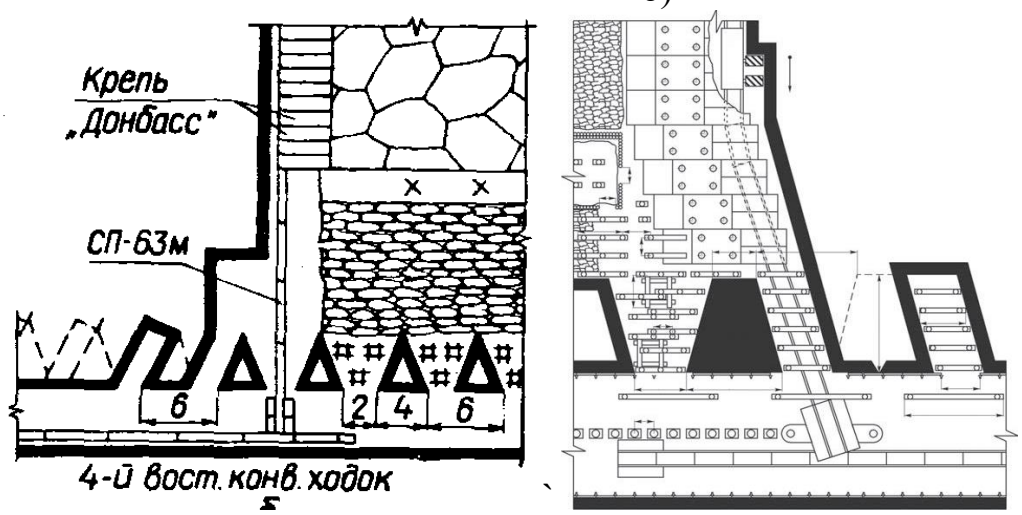


Рисунок 1.3 – Схеми розташування вугільних циліків трикутної (а) та трапецієподібної (б) форм для охорони виїмкових виробок

елементів, які виконані з двох взаємно перпендикулярних металевих листів, з'єднаних розкосами, які утворюють клиновидну вершину з кутом [70, 385]; тумби з клиноподібною вершиною, забезпечені стаканами з речовиною, що розширюється, та клинами [310]. Ці конструкції, як і органне кріплення, відіграють роль обрізного кріплення, що дозволяє зменшити навантаження на кріплення виробки за рахунок зменшення довжини нависаючої консолі. Вони можуть застосовуватися як індивідуально, так і спільно з технологіями зміцнення порід покрівлі із застосуванням способів спрямованого руйнування порід за допомогою вибухових речовин, води та невибухових руйнуючих сумішей [73, 326, 356, 382].

Широке застосування при відпрацюванні вугільних пластів отримали костри з круглого лісу або шпального бруса, а також накатні костри, які можуть застосовуватися практично в будь-яких гірничо-геологічних умовах, притаманних шахтам українського Донбасу. Вони працюють у піддатливому режимі та утримують навантаження до 200 кН. Основними недоліками даних засобів охорони є потреба в лісоматеріалах, дорожнеча, недовговічність, пожежонебезпека, істотна піддатливість, що досягає 30-60% [179, 219], мала

несуча здатність, а їх спорудження вимагає великих витрат ручної праці [322].

В умовах шахт ТОВ «ДТЕК» в якості охоронної споруди при підтриманні виробок позаду лави, найбільш ефективним і технологічним засобом виявився накатний ряд з дерев'яного бруса шириною 1,0 - 1,3 м [265]. Він витримував без руйнування значні навантаження і деформації та добре «обрізав» породи безпосередньої покрівлі.

Результати випробувань дерев'яних конструкцій для охорони виробок наведені в роботах [16, 28, 46, 47], де зазначається, що їх можна споруджувати будь-якої форми з найменшими витратами. Вони забезпечують високий початковий опір нависаючим породам, але їх недоліком є поганий опір позацентровому навантаженню, особливо на слабких породах підошви. Крім того, високі вимоги висуваються до якості деревини та використання у конструкції однакових порід деревини.

Аналогами даних дерев'яних конструкцій є костри із залізобетонних шпал [395], СВП профіля [108], двотаврових або швелерних балок і рейок [99]. При використанні цих матеріалів зменшується піддатливість конструкцій, але збільшується їх вартість та трудомісткість спорудження.

Пневматичні костри застосовуються в умовах крутого та пологого падіння пластів [83, 299]. Їх випробування показали досить прийнятні результати. Пневмокостри дозволяють забезпечити початковий розпір до 400 кН, забезпечують щільний контакт з породами покрівлі та більш рівномірний характер розподілу напружень на контакті з ними. Також процес переміщення пневмокострів може бути механізований. Основним недоліком даного засобу охорони є витрати на придбання пневмокострів і необхідність у підведенні до них високонапірного трубопроводу зі стисненим повітрям. Тому вони не знайшли широкого використання.

Інший засіб охорони підготовчих виробок, що забезпечує найменшу піддатливість, є лита смуга з швидкотверднучих матеріалів [59, 80, 88, 89, 91, 372]. Дана споруда передбачає зведення стрічкової конструкції уздовж

виробки на межі з виробленим простором з цементної, фосфогіпсової, ангідритової [124], цементно-мінеральної [173] та інших сумішей. Це найбільш механізована й ефективна технологія (з точки зору стійкості виробки), але вона і найдорожча [378]. Для здешевлення даної споруди в неї може додаватися рядова порода та стягується анкерами [36]. Зведення литої смуги уповільнює процес деформування порід, сприяє обваленню порід покрівлі на відстані 10-12 м позаду лави, внаслідок чого знижується інтенсивність зсувів приконтурних порід [387]. Але застосування даної технології обмежується слабкими підстилаючими породами, оскільки смуга діє як штамп та видавлює пластичні породи у виробку [88]. Крім того, недоліками застосування литих смуг є [214]: використання додаткового обладнання (бетономішалка та насос), захаращення виїмкового штреку та неможливість створення своєчасного підпору породам покрівлі (технологічний зазор складає не менше 0,15 м). Усе це є причиною того, що даний засіб охорони застосовується в обмеженій кількості діючих лав, яких у загальній кількості не більше 5% (рис. 1.2).

Зменшення піддатливості досягається застосуванням тумб БЗБТ, які викладаються стрічково уздовж виробки в один або два ряди, суцільно або у шаховому порядку, в залежності від глибини робіт і стійкості порід покрівлі [106, 180, 303, 372]. Основний недолік даних тумб - це висока трудомісткість їх викладення, відсутність засобів механізації, крихкість бетонних конструкцій при зосередженому навантаженні, що призводить до більш раннього їх руйнування [314], витратність та обмеженість умов застосування за потужністю пласта (до 1,5 м) та міцністю підстилаючих порід (понад 30 МПа). Збільшити термін експлуатації тумб БЗБТ можна впровадженням технічного рішення з укладання між плитами піддатливих елементів, в якості яких використовують мішки з породою [307]. Але основний недолік при використанні БЗБТ – це висока трудомісткість робіт, оскільки тумби мають масу 73 кг [106].

Для зменшення трудомісткості робіт і вартості конструкцій були

запропоновані тумби з деревинно-стружкової суміші, арболіта або стружково-піщаної суміші [106]. Також запропоновані тумби з дерев'яно-бетонних блоків (БДБ), які, як стверджують автори [96-98], можуть застосовуватися на пластах потужністю до 2,8 м і у виробках як підсилююче кріплення (тумби БКУ) [97]. При цьому, варто зазначити, що обмеження за міцністю порід підошви не знімається, оскільки тумби БДБ і БЗБТ є жорсткими спорудами, які забезпечують піддатливість до 15%, високу несучу здатність, ефективне утримання нависаючих порід покрівлі, але при стійких породах підошви [106].

У роботі [363] наводяться результати випробувань тумб БЗБТ, БДБТ (блоки армовані вертикально розташованими відрізками дерев'яних стійок), БОБТ (блоки з суміші бетону та дерев'яної тирси), БКБТ (блоки з суміші бетону та керамзиту), в основі яких використовувався цемент і фосфогіпс.

Запропоновані тумби з циліндричних дерев'яно-бетонних блоків, які встановлювались одна на одну на всю потужність пласта. Вони були виконані з дерев'яних стійок, які встановлювались у металеву обойму та закріплювались в обоймі твердіючим розчином [300].

Також аналогами тумб БЗБТ можна вважати охоронні смуги з напівблоків [191, 293], тумби з газобетонних блоків БГБТ [179, 350], мішків із цементною сумішшю «ТЕКХАРД» [73, 219, 220], збірні кріплення посилення (СКУ) [293, 312], металеві труби заповнені бетоном [6, 12] тощо. Всі вони відрізняються своєю несучою здатністю, яка обумовлена міцністю застосовуваних матеріалів. Найменш витратними з них можна вважати конструкції з напівблоків, оскільки вони виготовляються з цементно-породної суміші, у якій основним заповнювачем є рядова роздроблена порода. Напівблоки виготовляються на поверхні з використанням породи з відвалу, після чого транспортуються у шахту для подальшого укладання у смугу.

Цікавий досвід застосування бетонних пакетованих смуг з суміші «ТЕКХАРД» в умовах конвеєрного штреку №12 пласта h_7 шахти ім. Ф.Е. Дзержинського ШУ «Ровеньківське», де усадка смуги склала 10 % від

початкової висоти, але відбувалося її вдавлювання у підстилаючі породи на 0,2-0,3 м (рис. 1.4) [73, 219], що складало 18-27 % початкової висоти. Тобто конвергенція порід покрівлі та підошви навколо смуги склала 28-37 %. Це було у 2,0 рази менше ніж при охороні накатними кострами, при яких усадка була 65 %. Але ж застосування пакетованої смуги, яка є спорудою з обмеженою піддатливістю, показало, що навіть в умовах, коли міцність порід підошви складає 50-60 МПа можливі просідання жорстких засобів охорони, які нівелюють їх обмежену піддатливість. У роботах [73, 214, 219-221] добре досліджено міцністні та деформаційні параметри пакетованих смуг, розглянуто поведінку навколишніх порід середньої міцності. Але становить інтерес на скільки дана технологія буде ефективна в умовах слабких бічних порід.

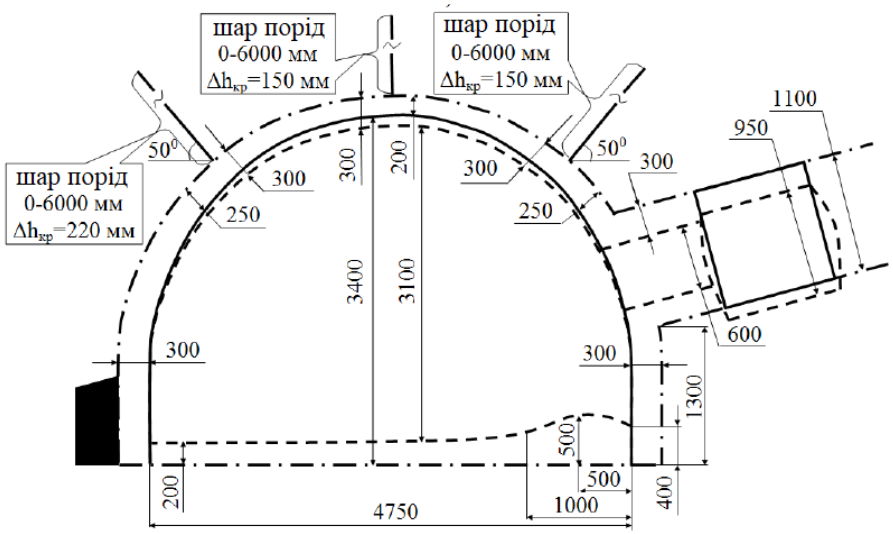


Рисунок 1.4 – Схема зміщень контуру штреку та деформування бічних порід при охороні його бетонною пакетованою смугою [219]

Аналогом пакетованих смуг, але з більшими розмірами пакетів можна вважати опорні колони з бетону поміщеного в гнучку оболонку. Вони споруджувались для утримання порід покрівлі позаду лави в умовах шахти Wangzhuang (Китай) [52] та вздовж виробки в умовах шахт Changcun (Китай) [55] та Pingdingshan № 12 (Китай) [39]. Ці технології потребують спеціального устаткування, яким твердіюча суміш буде транспортуватися в оболонки. Самі колони відносяться до жорстких конструкцій.

На породи підошви щадно діють опори міцністю 5 МПа [179], які виконують функцію обрізного кріплення при нестійких породах покрівлі з міцністю на одновісне стискання до 40 МПа. У таких умовах збільшення міцності опор погіршує стан виробки та не забезпечує її безаварійне підтримання. Тоді ефективним може бути застосування опор з газобетонних блоків, але за умови виключення тривалого затоплення виробки [179]. При більш міцних породах доцільне збільшення жорсткості опор, яка для забезпечення стійкості виробки має перевищувати жорсткість вугільного пласта з протилежного боку виробки [326].

У напрямку застосування породи в якості кріпильного матеріалу цікава технологія, описана в роботі [233, 234], при якій передбачається обвалення порід за секціями кріплення у вигляді армованих породних блоків. Ці блоки попередньо формуються перед очисним вибоєм у шарі безпосередньої покрівлі за допомогою буріння шпурів, зміцнення блоків анкерами або іншими способами на глибину, що дорівнює або більше висоти виробки, заряджання та підривання вибухових речовин для утворення тріщин по площинах розколу [233]. Цей спосіб вимагає виконання додаткових операцій з буріння, зміцнення та підривання порід.

Здебільшого всі вищезгадані засоби охорони вимагають використання спеціальних матеріалів і (або) обмежені міцністю підстилаючих порід. Єдиним засобом, який позбавлений цих недоліків, є бутова смуга. Можливість залишення породи в шахті вплинула на популярність даної технології, частка якої у загальній кількості діючих лав складає 32 % (рис. 1.2). У роботі [144] вказується, що бутові смуги є: дешевшими за інші засоби та мають більшу технологічність з механізацією виробничих процесів при спорудженні; початкові витрати компенсуються економією за рахунок зниження вартості підтримання виробок і зменшенням витрат на утилізацію шахтної породи. Але охорона бутовою смугою має декілька недоліків, які спонукають знаходити нові технічні рішення. Наприклад, при системах розробки, коли виробка була

раніше проведена, для забезпечення необхідної ширини бутової смуги (понад 8 потужностей пласта та не менше 5 м [372]) є потреба у проведенні бутової виробки для додаткового отримання породи. Цей недолік усувається, коли виробка проводиться разом з лавою або транспортуванням породи трубопроводом при пневматичному та гідравлічному закладенні. При немеханізованому закладенні піддатливість бутової полоси досягає 60% [85, 110, 148, 155], а при використанні скреперних закладальних установок і дробильно-закладальних комплексів – вона може бути зменшена до 25 % [178]. Дані установки та комплекси застосовується здебільшого при повному та частковому закладенні виробленого простору, але у невеликих обсягах.

Для зменшення піддатливості бутової смуги запропонована технологія її механізованого ущільнення породи [141]. Використовується порода від проведення виробки, яка при закладенні у смугу ущільнюється щитками, що встановлюються на завальні секції механізованого кріплення. Область застосування даної технології обмежується виробками, що проводяться слідом за лавою, а також великою концентрацією робіт і механізмів на сполученні лави та виробки.

У даний час через високу піддатливість та низьку швидкість спорудження бутової смуги замість неї часто застосовуються інші засоби, про які згадувалося вище, або їх комбінації, а також здійснюються спроби щодо вдосконалення бутової смуги.

Комбінацією костров і бутової смуги є бутокостри, піддатливість яких не перевищує 40-50%. Бутокостри можуть застосовуватися на пластах потужністю до 3,5 м, мають несучу здатність вище, ніж звичайні костри та можуть застосовуватися при важкообвалюваних покрівлях. Цей спосіб характеризується значною витратою лісоматеріалів і високою трудомісткістю робіт [386], тому їх область застосування дещо обмежена.

Комбінацією бутової смуги та костров є технологія, яка застосовувалася на шахті «Карбоніт» ДП «Первомайськвугілля» [393]. Також можна

відзначити конструкції: бутової смуги і тумб БЗБТ, які застосовувалися на шахтах «Прогрес» і «Комсомолець Донбасу» [161]; бутової смуги та стійок СКУ [293]; бутової та литої смуг [285, 387]; накатних кострів з органним кріпленням [75]; дерев'яних кострів і стінок з БЗБТ із заповненням порожнин рядовою породою [217]; тумб БЗБТ всередині дерев'яних кострів [168]; бетонної смуги та кострів на шахті ім. М. Горького [209] й ін.

Для зменшення піддатливості бутової смуги та збільшення її несучої здатності все частіше в її конструкцію вносять інженерні рішення щодо застосування різних обмежуючих поверхонь, в якості яких можуть бути дерев'яні стійки, тканина, гумові або паперові покриття, металеві листи або стрижні й ін.

Запропонований спосіб підвищення несучої здатності бутової смуги створенням попереднього розпору анкерами між стійками, які стягують породу [227]. Огорожі та опорні стійки в конструкції виконані піддатливими у горизонтальному та вертикальному напрямках з можливістю зближення огорож при затягуванні анкерів і переміщення породи у горизонтальному напрямку зі збільшенням щільності та несучої здатності опори, а також у вертикальному напрямку зі збільшенням розпору породи між покрівлею та підошвою [227]. Область застосування даного засобу обмежена потужністю пласта 1,2 м. Він відомий як винахід, в якому не вказано, як і чим буде здійснюватися затягування анкерів між огорожами після заповнення породою зони між ними. Це технічно складно реалізувати. Але даний спосіб буде мати місце як армована бутова смуга при опусканні покрівлі при відході лави. Тоді буде відбуватися ущільнення породного обсягу та збільшиться несуча здатність конструкції. Подібна технологія застосовувалась на шахті Huayuan (Китай), коли смуга шириною понад 2,5 м стягувалась з обох боків анкерами [60].

У патенті [71] запропонована охоронна конструкція у вигляді порожнистої колони із залізобетонних елементів, яка заповнюється породою та накривається накатником. Ця конструкція цілком реальна та може бути

ефективною як жорстка споруда, але вона потребує істотних фінансових і трудових ресурсів.

Жорсткими охоронними спорудами з рядової породи в спеціальній оболонці є опорні тумби [68]. Діаметр тумб приймається не меншим за 0,5 m (m- потужність пласта) при m<1,2 м і не менше 0,6m – при m≥1,2 м, крок установки тумб 1,5÷2 м. Порода надходить зі свердловин, що буряться у покрівлю для примусового обвалення. Даний спосіб має такі ж недоліки, як і жорсткі охоронні споруди. Крім того, він потребує бурових робіт.

Схожим, але більш складним у реалізації є спосіб охорони кострами, всередину яких розміщувалась звичайна порода з свердловин в насипному вигляді та у мішках [81].

Запропоновано спосіб охорони підготовчих виробок накатними кострами з породних стійок, які представляли собою заповнені породою відрізки рукавної тканини довжиною 1,2 м і діаметром 0,2-0,6 м [171, 175]. Несуча здатність таких кострів становила 1100-1200 кН. Даний спосіб пройшов дослідно-промислову перевірку, але не знайшов свого застосування внаслідок великої трудомісткості робіт і складності немеханізованого заповнення породою рукава, який має значні розміри. Породні елементи мали велику масу, яка перевищувала санітарні норми, що ускладнювало процес їх переміщення та не відповідало вимогам щодо забезпечення безпечних умов праці робітників.

Цих недоліків позбавлений спосіб охорони породною стінкою з мішків із породою (рис. 1.5), запропонований співробітниками ДонНТУ, в тому числі автором цієї роботи [186]. Спосіб включає розташування між покрівлею та підошвою паралельно напластуванню опорних елементів з тканинної оболонки, що заповнені дробленою породою. Опорні елементи укладають у вигляді суцільної стінки шарами з перпендикулярним розташуванням відносно шару, укладеного раніше, до повного контакту з покрівлею, який забезпечується заштовхуванням верхнього шару силовою дією. Крім того, при

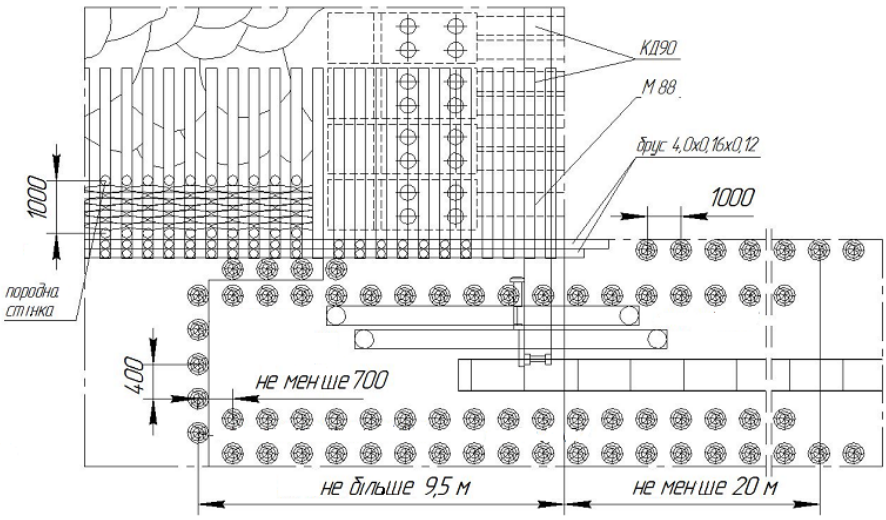


Рисунок 1.5 – Схема охорони виїмкових виробок породною стінкою з опорних елементів за рекомендаціями співробітників ДонНТУ [186, 378]

зведенні суцільної стінки кожний шар укладають у шаховому порядку.

Обґрунтуванню параметрів даного способу було присвячено дисертаційне дослідження Хазіпова І.В. [378], в якому запропоновано стрічкове роміщення породних стінок з мішків з породою. Дане рішення було перевірено в умовах шахт "Жовтневий рудник" та "Добропільська" і показало свою ефективність: була забезпечена піддатливість породної стінки до 17-27 %, а несуча здатність досягла 1800 кН.

Застосування способу дозволило забезпечити ізоляцію підготовчої виробки від виробленого простору, зменшити зміщення у виробках, що охоронялися, а також створити безпечні умови праці. Але при випробуваннях було виявлено ряд недоліків і упущень, а саме: при заповненні мішків породою якість щільності їх заповнення не контролювалася, а замість перпендикулярного розташування мішків один від одного у шарах вони викладалися хаотично. Ці недоліки стали причиною значної піддатливості всієї смуги (до 34 %), що було менше, ніж піддатливість бутової смуги, але практично такою ж, як при охороні дерев'яними кострами. Крім того, його параметри недостатньо обґрунтовані, несучу здатність породної стійки P запропоновано визначати в залежності від її піддатливості Δh (%) за виразом [378]

$$P = -\left(1 + \frac{21,76}{\ln\frac{\Delta h}{19,2}}\right) \cdot 33,3, \text{ кПа}, \qquad (1.1)$$

але при $\Delta h = 19,2\%$ вираз не має рішення, а при $\Delta h > 19,2\%$ – навантаження має негативні значення. Також недоліками можна вважати необхідність у великій кількості мішків з породою, маса яких не має перевищувати санітарних норм (при дослідно-промислових випробуваннях [378] вага мішка з породою складала 40 кг, його довжина була 0,6 м, а діаметр 0,2 м). Для спорудження породної стінки з мішків шириною 1 м на 1 м довжини та на потужність пласта 1,1 м необхідно 50 мішків. Було встановлено, що матеріал оболонки мішків не суттєво впливає на несучу здатність всієї конструкції [378]. Дана технологія дешевша та менш трудомістка ніж охорона тумбами БЗБТ. Вона була застосована у Китаї. Стінки з мішків, які заповнені породою, споруджувалась на межі з виробленим простором з використанням способів управління покрівлею повним обваленням [21, 63] та повною закладкою [27].

Для підвищення жорсткості породної конструкції запропоноване застосування жорстких розділових перегородок між породними шарами, які паралельні основі (рис. 1.6) [104]. Породу розташовували горизонтальними шарами 1, між якими розміщували жорсткі перегородки 2. При зростанні навантаження на бутову смугу з боку покрівлі у центральній частині утворювалось несуче ядро 3, яке приймало основне навантаження. Розмір крайової зони шару 4 дорівнював його висоті, тому при зменшенні останньої ширина крайової частини зменшувалися, а розмір зони ядра зростав [104]. Тому, чим більше шарів було у породній смузі, тим більшим було несуче ядро, жорсткіше конструкція та її несуча здатність. Підтвердженням цьому є результати робіт [102, 103, 169], в яких досліджено механізм навантаження опор, які розділені жорсткими прокладками. Вказується, що при збільшенні відношення ширини породної опори до її висоти збільшується жорсткість.

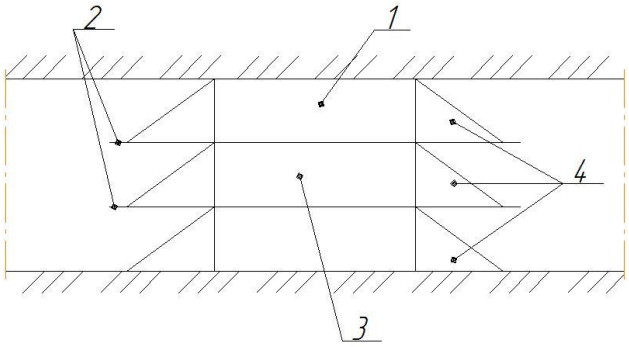


Рисунок 1.6 – Схема породної опори з жорсткими розділовими прокладками між шарами [104] (1– горизонтальні шари, 2– жорсткі перегородки, 3– несуче ядро, 4– крайові зони шарів)

Таким чином, застосування жорстких прокладок дозволяє збільшити несучу здатність опор та зменшити обсяг породи для неї.

Але даний спосіб не позбавлений недоліків. Перегородки між шарами є площинами ковзання для сипкого матеріалу та при недостатньому коефіцієнті тертя породи по перегородці, втрачається стійкість конструкції та її несуча здатність. При укладці жорстких перегородок паралельно горизонтальній площі зменшується ефективність охоронної споруди при похилому заляганні порід внаслідок того, що напрям переважаючих зміщень бічних порід, які орієнтовані приблизно по нормалі до їх напластування, і напрям максимальної протидії охоронної споруди, яка спрямована по нормалі до обмежуючих поверхонь, не супротивні. Дану конструкцію технологічно складно спорудити, оскільки внаслідок захаращеності та стисненості робочого простору буде проблематичним переміщення та укладання металевих листів. Тому даний спосіб має удосконалюватись зі збереженням основної принципової позиції – використання рядової породи з обмежуючими поверхнями.

Серія наукових досліджень [188, 194, 196, 378] присвячена встановленню можливості застосування гнучких розділових прокладок. Розглядалися плоскі та звивисті прокладки з тканини або металевої сітки, які викладалися між породними шарами (рис. 1.7). У цьому випадку збільшення



а б в

Рисунок 1.7 – Загальний вигляд породних опор з розділовими прокладками [194], (а- плоска тканинна, б-плоска з металевої сітки, в- звивиста тканинна)

несучої здатності породної смуги здійснювалось за рахунок збільшення зчеплення між породними частинками, збільшення опору прокладок горизонтальним переміщенням частинок. В результаті лабораторних випробувань найкращий результат показала конструкція з металевою сіткою [194, 378], піддатливість якої склала 12,5 %.

Область застосування даного способу не обмежується потужністю пласта та міцністю оточуючих порід, оскільки конструкція з розділовими прокладками є відносно стійкою та не потребує порівняно великого обсягу породи при великій потужності пласта. Єдиною проблемою є визначення характеристик металевих сіток, при яких процес їх укладання був би технологічним і маловитратним.

Пропозицією ПечорНДІпроекту є використання відпрацьованих автомобільних покришок з метою економії деревини та зниження витрат на зведення охоронних споруд. Пропонований спосіб передбачає укладання старих шин з подальшим заповненням порожнеч шматками породи та вугільно-породним штибом [156]. Використання автомобільних шин з породою пропонується і в корисній моделі співробітниками ДонДТУ [82].

На шахтах Великої Британії охоронні споруди викладалися з паперових мішків з дротяним армуванням, які заповнювалися рядовою породою [216].

Запропонована схожа до цього способу технологія, але у якості

оболонки застосовувалася армована міцна тканина [226]. Спосіб передбачає пневматичну доставку дробленої породи трубопроводом у тумби та застосування спеціальної оболонки, яка легко пропускає повітря. Необхідність в подрібненні закладного матеріалу та додаткових пристроях обмежує застосування даної технології.

Були запатентовані технічні рішення щодо недопущення опускань порід покрівлі відразу ж після спорудження охоронної конструкції позаду лави, які обумовлені ненадійністю контакту конструкції та порід покрівлі, а також відсутністю ефективного початкового розпору конструкції [115, 147, 184, 208, 224, 333, 334]. В іншій групі патентів передбачаються конструкції охоронних споруд зі спеціальними формами, при яких забезпечується збереження цілісності конструкції та стійкості нависаючих і підстилаючих порід [90, 185].

Проведений аналіз засобів охорони підготовчих виробок вказує на те, що існує велика їх кількість для широкого спектру гірничо-геологічних умов. Вони відрізняються не тільки областю застосування, але й своїми геометричними параметрами, матеріалами, з яких споруджуються, а також вартістю та трудомісткістю виконання робіт. Основними характеристиками, за якими оцінюється їх ефективність, є їх несуча здатність і піддатливість. Чим жорсткіше охоронна споруда, тим стійкіше нависаючі породи покрівлі та краще стан виробки, що охороняється. Підтвердженням цьому можуть бути результати досліджень, представлені в роботах [15, 54, 87], де вказується, що при збільшенні жорсткості охоронної споруди зменшуються зміщення у виробці, зменшується ширина зони опорного тиску. Це пов’язане зі зменшенням розшарування порід покрівлі з боку виробленого простору та з боку незайманого масиву поряд з виробкою [73].

Також в роботі [87] встановлено, що на малих глибинах збільшення жорсткості менш ефективне, ніж на великих і способи охорони, які дають позитивний ефект на малих глибинах, можуть виявитися непрацездатними зі збільшенням глибини відпрацювання. Дане становище ускладнюється, коли

бічні породи мають високі пластичні властивості.

При міцних породах покрівлі та підошви, або проведені виробок на невеликих глибинах стискання смуги становить граничне значення конвергенції виробки, що охороняється [15].

При слабких породах підошви та середній міцності виникає ефект вдавлювання охоронної конструкції як жорсткого штампу зі створенням зсуву підошви пласта у бік виробки [78], що доведено результатами шахтних спостережень за вдавлюванням литої смуги [71] та бетонної пакетованої смуги [73]. Але просідання конструкцій, знову-таки, призводить до розшарування порід покрівлі. Таким чином, обмеження піддатливості охоронної споруди дещо нівелюється піддатливістю підошви. Але цього недоліку не позбавлені й піддатливі споруди, в тому числі й бутові смуги. Їх висока піддатливість викликає несиметричне навантаження, під впливом якого кріплення значно деформується та працює поза піддатливого режиму, а виробка в результаті значної вертикальної конвергенції не задовольняє умовам експлуатації [346]. Після вичерпання своєї піддатливості вони також працюють як штамп. Саме при слабких породах, а також на великих глибинах конвергенція спочатку пов’язана зі стисканням бутової смуги, а потім з вдавлюванням її у підошву [15]. В даному випадку відбувається усадка охоронної споруди з подальшим просіданням. Процес деформування порід покрівлі у цьому випадку більш інтенсивний і тривалий. Без дослідження таких механічних явищ, як усадка та просідання засобу охорони, його розширення та видавлювання з-під нього порід підошви неможлива розробка заходів охорони в умовах слабких бічних порід, зокрема заходів, що гуртуються на управлінні напружено-деформованим станом (НДС) порід навколо виробок і охоронних споруд з метою утримання рівноваги в геотехнічній системі «засоби охорони-бічні породи» або спрямувати напруження від виробки, які є умовами щодо забезпечення експлуатаційного стану виробок.

На цей час існує великий обсяг досліджень напружено-деформованого

стану навколишнього масиву та запропоновано велику кількість заходів щодо забезпечення експлуатаційного стану підготовчих виробок, заснованих на управлінні напружено-деформованим станом. Наприклад, до таких можна віднести дослідження з розробки засобів охорони, що передбачають переспрямування видавлюючих зусиль від робочих просторів або забезпечення стійкості навколишнього масиву управлінням НДС у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи».

Відомий спосіб охорони виробок бутовими смугами з попередніми розпором і розвантаженням крайової зони вугільного пласта від напружень за допомогою щілин змінної жорсткості [228, 230].

Запропоновано спосіб охорони з використанням смуг змінної жорсткості для створення склепіння рівноваги [207, 241, 242]. Його сутність полягає в тому, що з обох боків від виробки, яка знаходиться позаду лави між вугільним масивом і виробленим простором, виконується комплекс заходів зі зміцнення засобу охорони та розвантаження вугільного масиву. Це дозволяє створити над виробкою склепіння природної рівноваги.

Експериментально було підтверджено ефективність даної технології в умовах 7-ий лави південної панелі №3 пласта h_8 шахти «Прогрес» за рахунок створення сприятливих геомеханічних умов для ведення гірничих робіт симетричним навантаженням елементів кріплення виробки та виключенням небезпечних зон концентрації напружень на контурі виробки [242]. Для реалізації способу потрібен великий обсяг породи, який переміщується та закладається установкою ЗУ-1М, створюється ін'єкційна смуга нагнітанням по трубопроводу піщано-цементного розчину агрегатом «Моноліт-2», а також буряться свердловини у бік виробки верстатом «Старт». Прив'язка даної технології до систем розробки, при яких виробка проводиться слідом за лавою, а також велика концентрація робіт і механізмів на кінцевій ділянці лави дещо обмежує умови застосування способу.

У роботах [145, 205, 206] також розглядалися конструкції зі змінною

жорсткістю. Загальною їх ознакою було те, що стрічкова смуга мала жорсткий сегмент, що споруджувався з швидкотвердіючої суміші, та сегмент або декілька сегментів меншої жорсткості. Це зменшення забезпечувалось залишенням компенсаційної порожнини між сегментом та покрівлею [205] або заповненням сегменту більш піддатливим матеріалом [206]. У роботі [145] передбачалося спорудження двох смуг вздовж виробки із залишенням між ними порожнини.

Запропоновано компенсаційні системи для охорони гірничих виробок [69, 72], в яких з метою підвищення стійкості виробки готуються компенсаційні порожнини з боків виробки на всю потужність пласта з розміщенням цілків між виробкою та порожнинами. Застосування цих систем передбачає часткове деформування цілків, перенесення максимальних напружень у недоторканий масив за межі порожнин. Відмінність верхньої системи від нижньої буде в тому, що деформація цілків регулюється натягненням анкерів, які встановлюються в цілках на глибину, що перевищує половину їх ширини. Ці системи вимагають проведення додаткових порожнин у вугільному масиві, що випереджають очисний вибій. Це стримує швидкість посування лави.

З метою компенсації видавлюючих зусиль у порожнинах між охоронними конструкціями було розроблено та запатентовано спосіб охорони гірничих виробок, в тому числі автором цієї роботи [182], що включає установку охоронних споруджень вздовж виробок, які мають форму прямокутних паралелепіпедів, в основі яких лежать прямокутники, зі співвідношенням довжини до ширини не менш ніж 2:1, при цьому більша сторона кожного прямокутника перпендикулярна повздовжній осі виробки, а між охоронними спорудами створюють компенсаційні порожнини, ширина яких дорівнює 0,5÷2,0 ширини основи паралелепіпеду, а глибина тотожна довжині основи паралелепіпеду (рис. 1.8).

Область застосування способу поширюється для умов розробки вугільних пластів з породами підошви будь-якої стійкості, у тому числі,

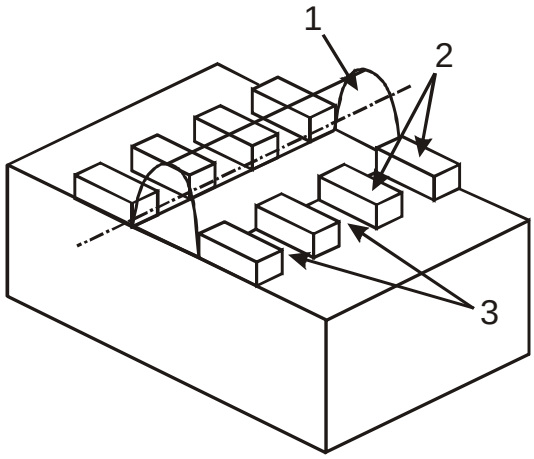


Рисунок 1.8 – Схема розміщення охоронних споруд 2 у формі прямокутних паралелепіпедів перпендикулярно повздовжній осі виробки 1 з залишенням між ними компенсаційних порожнин 3

схильними до здимання. При слабких породах підошви не виключається вдавлювання охоронних споруд, яке провокує здимання порід підошви у компенсаційні порожнини з метою відведення від виробки сил, що видавлюють.

При застосуванні даного способу забезпечується стійкість пластових виробок, розширюється область застосування жорстких охоронних споруд і підвищується ефективність охорони виробок від негативного впливу гірського тиску. Загальна ефективність способу була підтверджена лабораторними дослідженнями та результатами дослідно-промислових випробувань у шахтних умовах, проте стан покрівлі був дещо гіршим, оскільки мало місце більш інтенсивне руйнування споруд і елементів індивідуального кріплення в порожнинах та навпроти них на запасному виході, ніж при стрічковій споруді без порожнин [191].

Таким чином, технології охорони, спрямовані на управління напружено-деформованим станом у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» для забезпечення експлуатаційного стану підготовчих виробок в умовах слабких порід, можна вважати перспективними, але вони потребують удосконалення у напрямку зменшення складності та трудомісткості реалізації, виключення потреби у залученні громіздкого спеціального обладнання з

буріння шпурів, нагнітання зміцнюючих розчинів тощо. Знов таки, важливою умовою розробки засобів охорони є використання ресурсозберігаючих підходів до їх реалізації. Зокрема, є логічним розгляд можливості використання рядової породи у таких спорудах для їх здешевлення та залишення породи у шахті. При цьому основними умовами застосування даних споруд мають бути: використання обмеженого об’єму породи, зменшення інтенсивності протікання механічних явищ у спорудах, можливість створення конструкцій з обмеженими розмірами та формами, а також утворення спеціальних порожнин (за необхідності).

1.3 Розгляд доцільності використання рядової породи для спорудження засобів охорони

Останнім часом все більше приділяється уваги питанню залишення породи у шахтах. Це обумовлене тим, що процес видачі породи на поверхню пов'язаний з додатковими витратами на навантаження, транспортування та складування породи у відвалах. У свою чергу, наявність відвалів на земній поверхні та збільшення їх розмірів призводить до зменшення площі родючих земель, засмічення водойм, збільшення концентрації пилу в повітрі, виділення продуктів горіння при самозапалюванні залишків вугілля та продуктів окислення хімічних речовин, які надходять з породою.

Здебільшого порода надходить з прохідницьких вибої гірничих виробок і місць проведення їх ремонтів. Як правило, добовий обсяг породи з виробок становить до 10-30 % від добового видобутку корисної копалини, від їх ремонту – до 2-5 %, з виборки – до 5-7 %. Дана порода задовільняє вимогам до матеріалів, які можна закладати у підземні порожнини (малообводнені та без сторонніх предметів та домішок).

Існуючі технологічні схеми, що передбачають залишення породи у шахті, відрізняється різноманітністю технічних рішень у залежності від

гірничо-геологічних умов, джерел надходження породи, прийнятої схеми розкриття шахтного поля, глибини ведених робіт, способів підготовки та прийнятих систем розробки, схеми транспорту тощо. Дані технічні рішення реалізуються за трьома напрямками [357]:

1) проведення пластових виробок широким ходом приконтурного простору породою;

2) застосування способу управління покрівлею повним або частковим закладенням виробленого простору породою та спорудження засобів охорони з рядової породи;

3) погашення виробок із закладенням їх породою.

З даних напрямків найбільш розповсюдженими можна вважати спорудження засобів охорони з рядової породи та заповнення порожнини виробки при погашенні, які обмежено, але використовуються на більшості шахт.

Обмеженість залишення породи у виробленому просторі обумовлена відсутністю механізованих очисних комплексів для робіт із закладкою, що серійно випускаються; складністю транспортування породи гірничими виробками, які втратили експлуатаційний перетин; відсутністю або недостатньою потужністю компресорного господарства шахт [362]. Крім того, не завжди обсяги породи, яка виймається, достатні навіть для часткового закладення, а оскільки при викладці бутових смуг використовується порода з прохідницького вибою або місць проведення перекріплень та підривок виробки, яка охороняється. При браку породи додатково проводяться бутові виробки.

Таким чином, на діючих шахтах є проблема залишення обмежених обсягів породи у шахті на локальних ділянках, яких може бути недостатньо для ефективного використання у якості матеріалу для охоронної споруди. Наприклад, на відвали шахти «1/3 Новогродівська» у 2020 році було видано 40,2 тис. т породи, що на добу в середньому складає близько 44 м^3. Цього об’єму буде достатньо для викладення двох бутових смуг шириною близько

12 м. В умовах шахт «Терновська» та «Павлоградська» при виході гірської маси з проведення виробок та ремонтів, відповідно, понад 166 та 340 тис.т/рік [101] теоретично є можливість закладення, відповідно, чотирьох та восьми смуг шириною близько 12 м. Тоді вся порода від проведення та ремонтів виробок в межах шахтного поля має акумулюватися для викладки даних смуг, що не завжди можливо. Тим паче частку цієї породи економічно вигідніше буде розмістити у виробках, що погашаються, або видати на поверхню, не транспортуючи її до місця спорудження смуг.

В умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» у 2020 р. видано на поверхню 38,3 тис. т породи, у тому числі щомісячний обсяг складав від 0,165 до 7,271 тис.т породи. При цьому близько 0,7 тис. т/міс. породи залишалося у шахті для спорудження бутових смуг при проведені підготовчих виробок позаду лав, а частка породи з ремонту даних виробок поступала у загальну конвеєрну лінію. Породи, яка залишалася у шахті було достатньо для закладення двох бутових смуг шириною 6,5 м. За досвідом роботи лав за комбінованими системами розробки, коли виробки проводились заздалегідь, у якості засобів застосовувались накатні костри та транспортувати породу необхідного обсягу до виробленого простору було недоцільно.

Таким чином, можна констатувати, що питання залишення породи у шахті вельми актуальне, але на цей час у більшості підприємств немає фізичної та фінансової можливості акумулювання всієї породи у підземному просторі. Більш реальним є часткове залишення породи з переміщенням її з несуттєво віддалених ділянок проведення та ремонту виробок. Для виробок, що погашаються, обсяг породи обмежується максимальним об’ємом порожнини виробки, а для засобів охорони мають забезпечуватися достатні параметри щодо ефективного виконання функцій охоронної споруди. В останньому випадку є важливою наявність достатнього об’єму породи у безпосередній близькості до місця спорудження засобу. При нестачі породи доцільне застосування додаткових заходів для забезпечення необхідної несучої здатності.

1.4 Перспективи розробки технологій охорони виробок в умовах слабких бічних порід

Для вирішення технологічних питань, у тому числі й питань підтримання виробок, використовувалась класифікація гірничих порід на основі класифікації проф. М.М. Протод'яконова [213], згідно якої породи за міцністю на одновісний стиск $\sigma_{ст}$ поділяються на три групи: слабкі ($\sigma_{ст}$<40 МПа), середньої міцності ($\sigma_{ст}$=40÷60 МПа) та міцні ($\sigma_{ст}$>60 МПа). У науковій праці [213] за результатами досліджень зміщень порід у виробки та тривалого стану породних оголень запропоновано поділ порід за чотирма групами: на слабкі ($\sigma_{ст}$<40 МПа), середньої міцності ($\sigma_{ст}$=40÷70 МПа), міцні ($\sigma_{ст}$=71÷100 МПа) та дуже міцні ($\sigma_{ст}$>100 МПа). Використання останньої класифікації дозволило уніфікувати засоби та способи підтримання виробок.

У даний час відпрацювання вугільних пластів ведеться у складних гірничо-геологічних умовах, викликаних для багатьох шахт збільшенням глибини ведення робіт і слабкими бічними породами. В умовах Донбасу глибини ведення гірничих робіт не перевищують 1200 м, а частки слабких порід ($\sigma_{ст}$<40 МПа) та середньої міцності ($\sigma_{ст}$=40÷70 МПа) знаходяться у діапазонах, відповідно, 26,1÷40,1 та 44,6÷49,5 % [213]. Для міцних порід ($\sigma_{ст}$=71÷100 МПа) вона змінюється від 14,7 до 20,7 %. Найбільша кількість глибоких шахт експлуатується у Донецько-Макіївському, Покровському, Лисичанському, Алмазно-Мар'ївському та Чистяково-Сніжнянському вугленосних районах [164]. При експлуатації шахт в цих районах відзначається погіршення умов ведення гірничих робіт і проблеми, які пов'язані із забезпеченням експлуатаційного та безпечного стану гірничих виробок. Зокрема, за останні 20 років склалася критична ситуація з підтриманням виробок в умовах шахт «Комсомолець Донбасу», ім. О.Ф. Засядька, ім. В.М. Бажанова, «Щегловська Глибока», ім. М.І. Калініна, «Комунарська», ім. Лутугіна, «Капітальна», «Краснолиманська», «Шахтоуправління «Покровське» й ін.

Шахтний фонд більшості вугленосних районів (Донецько-Макіївського, Центрального, Амвросіївського, Чистяково-Сніжнянського, Луганського, Краснодонського, Оріхівського, Боково-Хрустальського, Должанько-Ровенецького) - це старі шахти, які зношені й вимагають реконструкції та відновлення. Основна частина запасів цих районів вилучена. Крім того, деякі з цих районів знаходяться у зоні бойових дій. Це спричинило зупинку деяких з них, затоплення гірничих виробок, втрати запасів. Тому для забезпечення енергетичної безпеки України необхідне збільшення видобутку діючими шахтами та розробка нових родовищ.

Виходячи з щільності запасів вугілля та його марочного складу, перспективними районами є: Петриківський, Новомосковський, Лозовський, Павлоградсько-Петропавлівський, Південно-Донбаський, Лисичанський, Покровський та Північний Донбас (Старобільська площа) (рис. 1.9). З цього переліку перші чотири райони відносяться до Західного Донбасу.

Перспективні райони представлені вугленосними світами C_1^3, C_2^1, C_2^3, C_2^5, C_2^6, C_2^7 і C_3^2, в яких присутні вугілля марок від Б до К (додаток Б) [32]. На більшій площі переважають вугілля з низьким ступенем метаморфізму марок Д і Г (рис. 1.10). Для цих свит характерне залягання пологих вугільних пластів робочою потужністю від 0,6 до 2,5 м (переважне поширення мають пласти потужністю менше 1,3 м) [223].

Для порід, що вміщають вугільні пласти з низьким ступенем метаморфізму, характерна низька міцність на стиск [223], менша щільність у порівнянні з високометаморфізованими, а також висока пористість пісковиків і пластичні властивості глинистих порід. Наприклад, для глинистих порід, що відносяться до зони метаморфізму вугілля марки Д характерні пластичні аргіліти, які розмокають у воді, для марки Г - доволі пластичні аргіліти [223]. Для таких марок вугілля переважаючими породами є глинисті та піщанисті сланці з міцністю бічних порід на одновісний стиск до 37 МПа [213].

Все це є свідченням того, що відпрацювання пластів в перспективних



Рисунок 1.9 – Вугленосні райони Донецького басейну на території України (1- Петриківський, 2- Новомосковський, 3- Лозовський, 4- Павлоградсько-Петропавлівський, 5- Південно-Донбаський, 6- Покровський, 7- Донецько-Макіївський, 8- Амвросіївський, 9- Чістяково- Сніжнянський, 10- Центральний, 11- Північно-Західна околиця Донбасу, 12- Північний Донбас, 13- Лисичанський, 14- Алмазно-Мар'ївський, 15- Селезнівський, 16- Луганський, 17- Краснодонський, 18- Оріхівський, 19- Боково-Хрустальський, 20- Должансько-Ровенецький)

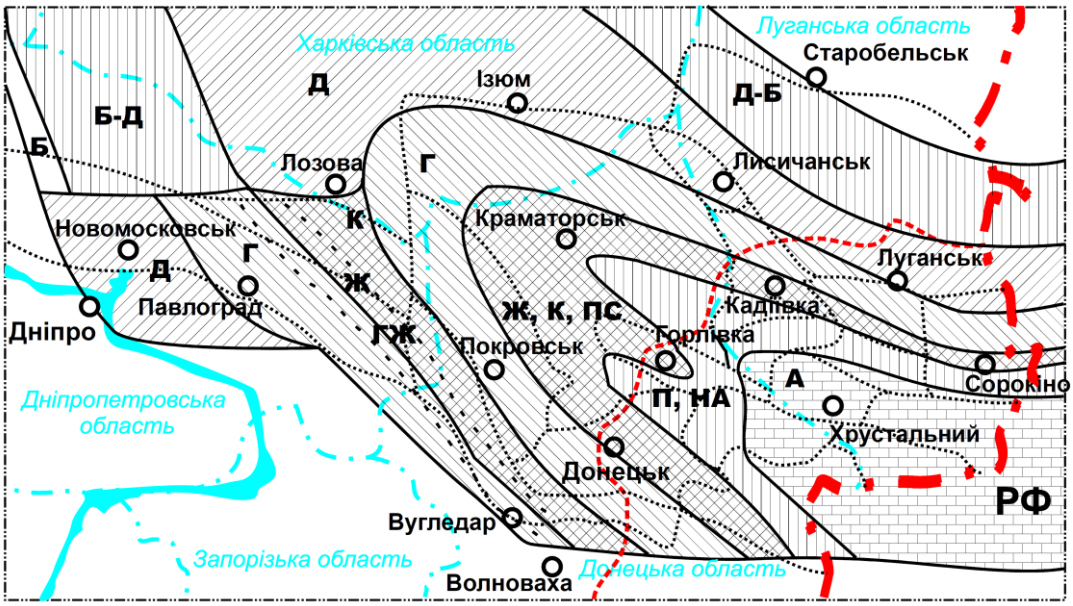


Рисунок 1.10 – Картограма поширення вугілля за марками в межах Донецького вугільного басейну (▬- межі вугленосних районів, - - - межа тимчасово окупованої території, Б...А - марки вугілля (Б- буре, Д- довгополуменеве, Г- газове, ГЖ- газове жирне, Ж- жирне, К- коксівне, ПС- піснувато-спікливе, П- пісне, НА- напівантрацит, А- антрацит), ▪▪▪▪▪ - межі зон поділу басейну за марками)

районах Донбасу буде супроводжуватися проведенням і підтриманням виробок у слабких бічних породах. Але наявність слабких порід ще не свідчить про можливий незадовільний стан виробок, оскільки їх стійкість залежить не тільки від міцності, але і від глибини ведення робіт й інших чинників та може визначатися за критеріями стійкості порід, що були запропоновані у роботах [116, 162, 163, 213, 345, 361, 368, 369 та 390]. Ці критерії характеризують стійкість виробок поза зоною впливу очисних робіт і буде правомірним застосовувати їх для виробок, що проводяться. Для ділянок підготовчих виробок, що знаходяться в зоні впливу очисних робіт, оцінка стійкості має здійснюватися з урахуванням відповідної геомеханічної ситуації [280].

Критерієм, який враховує найбільш повний перелік чинників, що впливають на стійкість породного оголення в гірничій виробці, є умова, запропонована у роботі [361], яка має вигляд

$$\frac{\gamma H}{R_c} \cdot \frac{k_3 k_2}{\eta \xi} < 1, \qquad (1.2)$$

де k_3 – коефіцієнт зміни напружень в результаті впливу інших виробок; k_2 – коефіцієнт концентрації напружень в результаті проведення даної виробки; η – коефіцієнт структурного ослаблення порід; ξ – коефіцієнт тривалої міцності.

З виразу (1.2) стан оголень порід у виробці може оцінюватися, як стійкий, якщо $k_{cm.}<1$, в іншому випадку, коли цей показник буде 1÷1,5; 1,51÷3 або більше 3 оголення необхідно відносити, відповідно, до середньостійких, нестійких або дуже нестійких [361]. У даному випадку категорія стійкості оголень визначає комплекс заходів щодо забезпечення стійкості виробки на даному етапі її експлуатації.

На стійкість оголень на ділянках підготовчих виробок, що примикають до лави, будуть впливати фактори, які враховані умовою (1.2), спільно з силами, що виникають від ведення очисних робіт, які можуть бути враховані коефіцієнтом концентрації напружень k_m. Фізично стан оголення в порівнянні

з одиночною виробкою до підходу лави погіршується тільки впливом тимчасового опорного тиску лави. Стійкість цих оголень позначимо показником $k_{ст.}$. Тоді з виразу (1.2)

$$k_{ст.} = \frac{k_m \gamma H}{\sigma_c} \cdot \frac{k_3 k_2}{\eta \xi}. \qquad (1.3)$$

Для умов Донбасу, відповідно до виразу (1.3), стан оголень порід виробок поблизу очисних вибоїв в більшості випадків буде оцінюватися, як вельми нестійкий. Це вимагає застосування комплексу заходів щодо забезпечення стійкості виробки на ділянках впливу очисних робіт і сталого опорного тиску позаду лави, де виробка зазнає підвищені напруження.

У класичному уявленні про зони опорного тиску уздовж виробок, що примикають до лави, найбільш відповідальними є ділянки, які відносяться до зон впливу очисних робіт попереду лави та позаду неї [280, 387]. У цих зонах спостерігаються інтенсивні зміщення порід у виробку. Причому попереду лави зміщення у 1,3÷2,5 рази перевищують зміщення, які були у масиві поза зоною її впливу, а позаду лави – майже у 4,0 рази [213].

При різних системах розробки підготовчі виробки можуть підтримуватися в різних зонах [280]. У першій зоні (поза зоною впливу очисних робіт і виробленого простору) виробка підтримується в масиві та розглядається як одиночна, в другій (зона впливу очисних робіт попереду лави) - виробка піддається суттєвій деформації від дії лави, в третій (зона впливу очисних робіт позаду лави при первинному використанні виробки) - опорний тиск досягає свого максимуму з подальшим загасанням і стабілізацією в четвертій зоні (в зоні усталеного опорного тиску позаду лави).

Додаткові заходи щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок регламентуються нормативними документами [200, 349] та представлені у вигляді типових технологічних схем для кріплення цих ділянок. Але в даних документах чітко не регламентуються охоронні конструкції, які були б кращі

в тих чи інших умовах, а також не описуються їх параметри.

Вищезазначені критерії, як правило, застосовуються для оцінки стійкості оголень порід покрівлі виробки. Але критерій Ю.З. Заславського [162, 163] рекомендується також для оцінки здимання порід підошви виробки, оскільки основними факторами, що визначають стійкість підошви виробки, є вага вищерозміщеної товщі γH , межа міцності на стиск R_c і ширина виробки. У роботі [162] вказується, що для капітальних виробок шириною 3-5 м здимання починає проявлятися при значеннях $\gamma H / R_c > 0{,}4 \div 0{,}25$.

Для порід підошви також застосовується критерій H_p / R_c [372], який враховує співвідношення глибини розташування виробки H_p і міцності порід R_c, за яким визначається схильність порід до здимання. При значенні цього критерію ≥ 20, 25 і 15 рекомендуються заходи боротьби зі здиманням для виробок, відповідно, які погашаються услід за лавою, які пройдені вприсічку та повторно використовуються.

Цей критерій набув подальшого розвитку в роботі [363], в якій $H_p / R_c = 15$ є критичним значенням, що визначає можливість застосування жорстких охоронних споруд. Тоді зона застосування таких споруд буде визначатися з графіка (рис. 1.11) [268, 273].

Шашенко О.М. і Солодянкін О.В. в якості критерію здимання запропонували критичні зміщення порід підошви [390], а Бєлаєнко Ф.О. і Глушко В.Т. [95] для визначення переходу порід у категорію таких, що здимаються, в якості критерію запропонували глибину робіт, яка визначається виразом

$$H = 1{,}13 \frac{\sigma_s}{\xi \gamma}, \text{ м}, \qquad (1.4)$$

де σ_s– межа пластичності породи; ξ– коефіцієнт бічного розпору; γ– середньозважена об'ємна вага порід, які залягають вище.

Як бачимо, стійкість підошви виробки залежить не тільки від фізико-

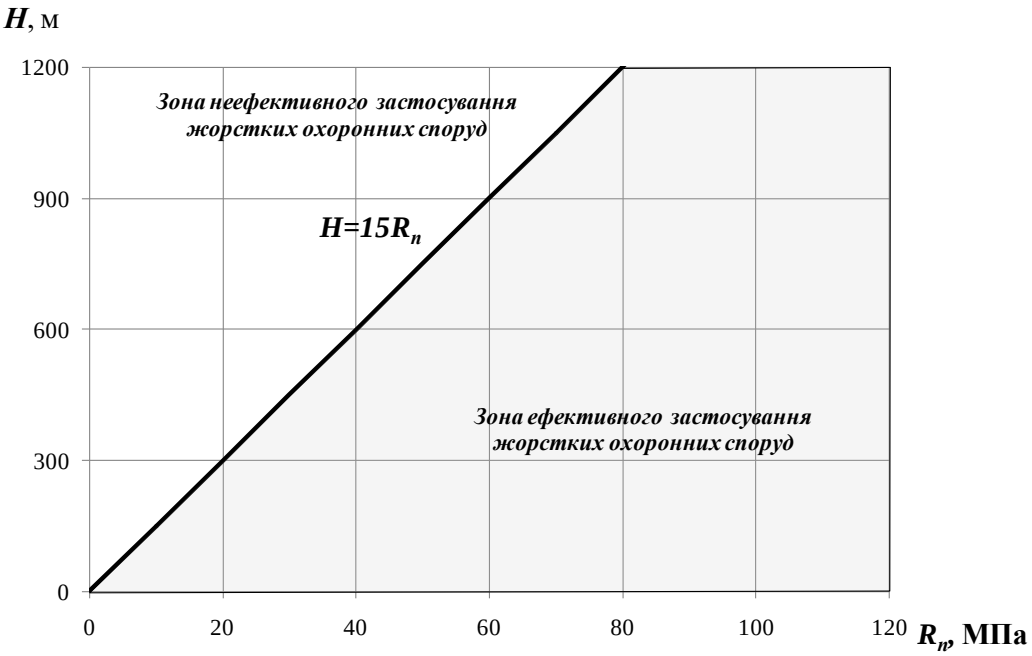


Рисунок 1.11 – Графік з визначення області застосування жорстких охоронних споруд [268]

механічних властивостей і складу порід, що її вміщують, а і від величини й умов навантаження, яке до неї прикладається, тому з критеріїв щодо визначення стійкості одиночних гірничих виробок більш універсальним є критерій $\gamma H/R_c$, який рекомендований для умов Донецького вугільного басейну [163]. Хоча цей критерій здебільшого розглядався для капітальних виробок, які не зазнавали впливу очисних робіт, в умовах впливу лави стійкість цього оголення буде ще гіршою.

За значенням критерію $\gamma H/R_c$ можна дати характеристику породам, що вміщують гірничі виробки, на прикладі діючих шахт перспективних районів Донбасу (додаток В). Глибини розробки цих шахт змінюються від 225 до 1090 м [126, 127, 308, 374, 375, 387], а міцності вміщуючих порід для марок вугілля, що видобуваються, змінюються від 5 до 216 МПа [223, 308, 374, 375, 387]. Поділимо породи покрівлі на чотири категорії, згідно з [390], де розглядається показник θ, але за значенням критерію $\gamma H/R_c$, який дорівнює θ^{-1}: стійкі (<0,2), середньостійкі (0,2÷0,33), нестійкі (0,33÷0,5) та дуже нестійкі (>0,5). Для порід підошви приймемо дві категорії: не схильні та схильні до здимання

(відповідно, ≤0,25 та >0,25).

За значеннями критерію (додаток В), бічні породи змінюються від дуже нестійких до стійких, але для більшості шахт вони відносяться до груп від дуже нестійких до середньостійких (для порід покрівлі), а породи підошви – у більшості випадків схильні до здимання. Підтвердженням цьому можуть бути результати досліджень стійкості підземних виробок вугільних шахт, що входять до складу ПАТ «Павлоградвугілля» [339], згідно яких 77% від всіх ремонтів у підготовчих виробках приходиться на роботи з підривки порід підошви, роботи ж з перекріплення у загальному обсязі не перевищують 4 %. В умовах ДХК «Добропіллявугілля» [215] від 69 до 84% довжини виробок, що ремонтувалися, приходилося на підривку, в умовах шахти «1/3 Новогродівська» [232] – у загальних зміщеннях порід покрівлі та підошви підготовчих виробок частка зміщень підошви складала 65 %, а в умовах ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» [344] – до 70% від вертикальних зміщень припадає на видавлювання підошви. Здебільшого ці результати пояснюються розташуванням виробок у слабких бічних породах або глибиною ведення робіт понад 600 м та недостатньою ефективністю заходів забезпечення експлуатаційного стану виробок.

В умовах слабких бічних порід, на прикладі Західного Донбасу, характерними проявами гірського тиску є видавлювання слабких порід у боках та підошві виїмкових виробок, яке назване «ефектом штампу» [100]. Треба відзначити, що видавлювання має місце навіть у міцних порід при незакріпленій підошві. Все це є результатом значного здимання порід підошви та опускань порід покрівлі, які зменшують проектну висоту виробок до 50 % та призводять до порушення технологічного циклу [374]. Тобто існуючими технологіями охорони підготовчих виробок не було забезпечено стійкість у геотехнічній системі «засоби кріплення (охорони)-бічні породи».

Для таких умов активно ведеться пошук ефективних заходів забезпечення експлуатаційного та безпечного стану підготовчих виробок.

Зокрема, для запобігання проколюванню порід підошви стояками рамних кріплень застосовуються опорні плити під ними [78, 379]. Пропонується зміцнення порід підошви виробки анкерами або піщано-цементним розчином [155], застосування анкерного стяжного кріплення [374], рамно-анкерних кріплень зі зміцненням порід покрівлі та боків виробки. При цьому розглядаються як незамкнуті [74, 78, 210, 236, 337, 346, 379, 380], так і замкнуті рамні кріплення зі зворотнім склепінням та кільцеві [155]. Для перерозподілу напружень та розвантаження приконтурних порід навколо виробки, зменшення бічного навантаження на стійки рам та інтенсивності здимання підошви пропоноване спорудження охоронних конструкцій зі змінною жорсткістю або литої смуги з розвантажувальною порожниною [155].

В умовах шахт ПАТ «Павлоградвугілля» підготовчі виробки, які повторно використовуються, деформуються у декілька етапів [375]. Поза зоною впливу очисних робіт і виробленого простору (перша зона) навколо виробки розвиваються деформації повзучості та руйнування в межах зон непружних деформацій, розміри яких досягають 10 м. У зоні впливу очисних робіт попереду лави (друга зона) збільшуються напруження та розміри зони непружних деформацій у масиві порід, спостерігається розшарування порід і збільшення навантаження на кріплення. У зоні впливу очисних робіт позаду лави (третя лава) спостерігається максимальна швидкість деформацій порід покрівлі та підошви. У зоні усталеного опорного тиску позаду лави (четверта зона) – тиск порід стабілізується, але деформації не припиняються. Заходи забезпечення стійкості таких виробок диференційовані до кожної з цих зон. Зокрема, у першій зоні достатньо використання основного кріплення виробки, особливо з геометричною формою поперечного перетину, яка близька до шатрової, у другій – це кріплення посилюють ремонтинами та проміжними рамами, у третій – виробки охороняються штучними спорудами (за схемами: масив-костри, масив-костри-бутова смуга, масив-костри-органне кріплення), а в четвертій зоні виробки непридатні до подальшої експлуатації, тому ремонтуються.

Також в умовах пласта $c_7^н$ шахти «Благодатна» досліджувалась поведінка нестійких порід над бутовою смугою, яка споруджувалась позаду лави комплексом «Титан-1» [375]. Ширина смуги у середньому складала 24 м, а піддатливість – 20 %. За результатами спостережень встановлено, що нестійка покрівля над смугою плавно прогиналася без розривів суцільності, виробки були в експлуатаційному стані на відстань до 250 м позаду лави, а для повторного їх використання достатньо було здійснити перекріплення або підривку підошви на глибину 0,3-0,5 м.

Дані заходи в певних умовах ефективні. Здебільшого вони розраховані на зміцнення або розвантаження порід покрівлі та боків виробки. При застосуванні традиційних засобів охорони експлуатація виробок у зоні усталеного опорного тиску позаду лави без проведення ремонтних робіт неможлива, причому при значній ширині засобу зменшуються зміщення нестійких порід покрівлі до величини, що не перевищує піддатливість кріплення виробки, але не виключається видавлювання порід підошви. Таким чином, залишається недостатньо вивченим питання передачі навантажень на підстилаючі породи через засоби охорони, поведінка навколишніх порід у залежності від параметрів засобів охорони, зокрема, від усадки та просідання цих споруд, що визначають величину конвергенції порід покрівлі та підошви, яка має мінімально відрізнятися від конвергенції з протилежного боку виробки, що охороняється. Саме останнє є основною задачею різних засобів охорони [396]. Обмеження піддатливості та використання жорстких охоронних споруд дозволяє вирішити цю задачу. Але ці заходи дещо обмежені у застосуванні в умовах слабких порід підошви.

Якщо оцінити можливість використання в таких умовах жорстких охоронних споруд, то доцільно скористатись рисунком 1.11. Тоді при співставленні умов розробки з зонами застосування цих споруд можна зробити висновок про те, що більша частка умов припадає саме на зону неефективного застосування конструкцій (рис. 1.12). Найбільш актуальним це питання є для

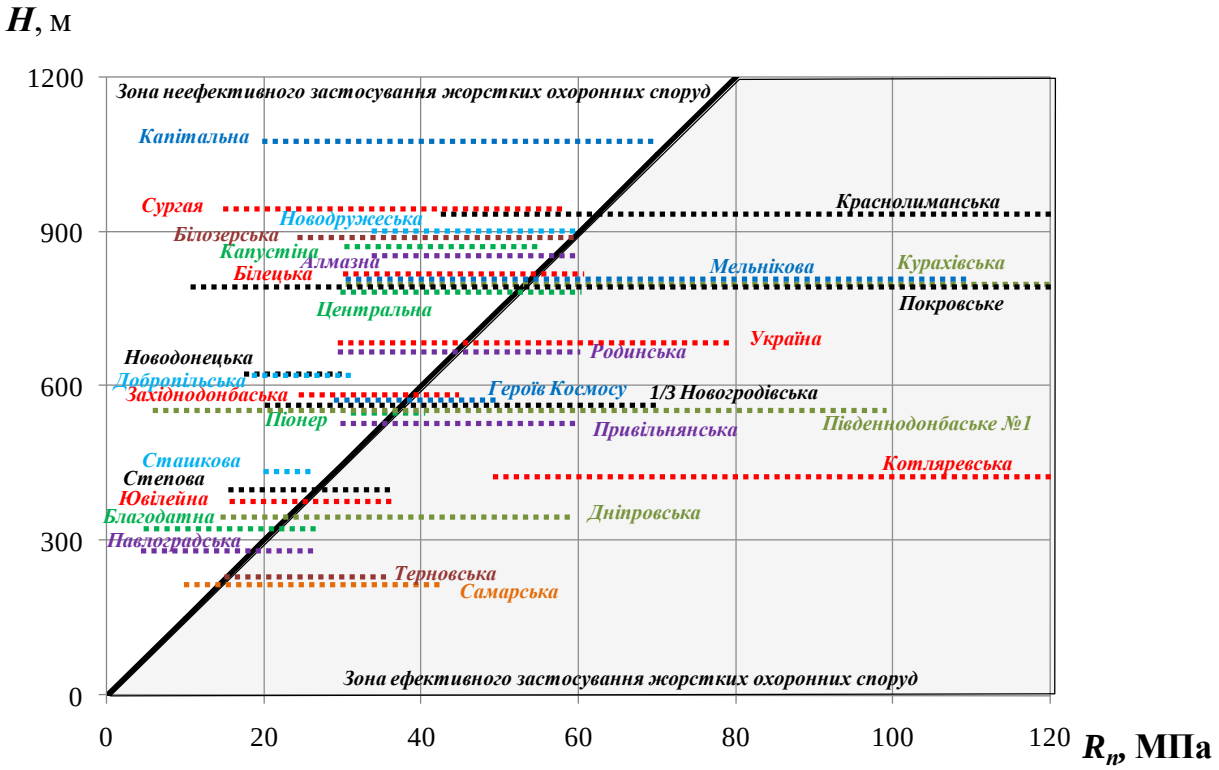


Рисунок 1.12 – Графік з встановлення доцільності застосування охоронних споруд з обмеженою піддатливістю (жорстких) в умовах шахт перспективних районів Донбасу

ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», шахт «Капітальна», ім. М.С. Сургая, та шахт, які входять до складу ТОВ «ДТЕК «Добропіллявугілля» та ДП «Лисичанськвугілля». Обмеженість застосування таких споруд для багатьох шахт Лозовського та Павлоградсько-Петропавлівського районів особливо актуальною буде на глибинах розробки понад 500 м.

Дані підприємства відносяться до перспективних районів Донбасу. Для шахтних полів цих підприємств є характерним, що породи безпосередньої покрівлі та підошви, як правило, представлені аргілітами, алевролітами, глинистими та піщанистими сланцями, міцність яких на одновісний стиск змінюється від 10 до 37 МПа (іноді до 60 МПа) [213, 374]. Тому за типові для таких районів можна вважати умови Західного та Південного Донбасу, які характеризуються заляганням слабких бічних порід, надмірною обводненістю та тектонічною порушеністю родовища. У таких умовах велику частку діючих

лав складають системи розробки з повторним використанням виробок [94, 340, 346], причому використання існуючих засобів охорони не завжди дозволяє забезпечити експлуатаційний та безпечний стан підготовчих виробок. Тому є актуальним удосконалення існуючих та розробка нових технологій охорони, що ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом у геотехнічній системі «засіб охорони-слабкі бічні породи», зокрема, обмеження піддатливості засобів зі збереженням стійкості слабких порід підошви або переспрямування напружень від виробки застосуванням засобів зі спеціальними формами.

1.5 Вибір технічних основ для створення ефективних технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід

У даний час в Україні діють кілька нормативних документів [131, 135, 341, 348], які регламентують вибір способів і засобів охорони гірничих виробок, проте не існує загального алгоритму вибору способів та засобів охорони виробок, який дозволив би дати оптимальний набір рішень щодо забезпечення експлуатаційного стану гірничої виробки в конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах [193, 250]. Вибір способів і засобів необхідно проводити поетапно для конкретних умов з урахуванням фінансових і технічних можливостей підприємства.

На початковому етапі аналізуються гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови підтримання виробок, після чого вибирається місце їх розташування відносно пласта та меж виробленого простору (з польовим розташуванням виробки, проведенням їх в зонах знижених напружень або проведенням по пласту) і виконується техніко-економічне обґрунтування.

Після вибору оптимального варіанту розташування виробки проводиться контроль її експлуатаційного стану та робиться висновок про ефективність прийнятого рішення та перехід до наступного етапу проектування - вибору способу охорони [193] (проведення виробки зі спеціальною формою, її надробка

або підробка, розвантаження або зміцнення вміщуючих порід, управління опором кріплення та напрямком її піддатливості, проведення завищеним перетином, підривка слабких бічних порід і застосування засобів охорони на межі з виробленим простором). На цьому етапі розглядаються традиційні способи охорони та всі можливі варіанти їх реалізації, після чого виконується їх техніко-економічне порівняння та вибирається найбільш економічно та технологічно доцільна технологія. Якщо такого рішення не знайдено, рекомендується перехід до удосконалення існуючої технології охорони або розробки нової. Не виключенням є і засоби охорони виробок.

Поширеність застосування того чи іншого засобу охорони визначається не тільки областю застосування, але й властивими йому перевагами та недоліками. Деякі засоби охорони характеризуються малою несучою здатністю та не приносять очікуваного результату щодо забезпечення експлуатаційного стану виробки, інші дозволяють забезпечити достатній опір нависаючим породам, але вартісні або трудомісткі в реалізації. Систематизація переваг і недоліків засобів охорони визначає пріоритети в удосконаленні або розробці нових ефективних ресурсозберігаючих технологій. Для такої систематизації бажаний перебір всіх існуючих засобів. Оскільки основними їх недоліками є значні фінансові або трудові витрати на реалізацію, обмеженість області застосування та неможливість забезпечення необхідного опору нависаючим породам, які проявляються в тій чи іншій мірі, для встановлення основних напрямків розробки технологій та визначення їх сутності достатньо розглянути лише традиційні засоби охорони. Тоді загальна структурно-логічна схема щодо розробки нових технологій охорони виробки представлена на рисунку 1.13 [278].

Згідно представленої схеми, основні недоліки засобів охорони визначають пріоритети в розробці технології, а саме: велика вартість засобу охорони та використання невідновлюваних матеріалів обумовлює здешевлення технології за рахунок використання недорогих матеріалів; висока трудомісткість робіт спонукає до збільшення рівня механізації робіт і

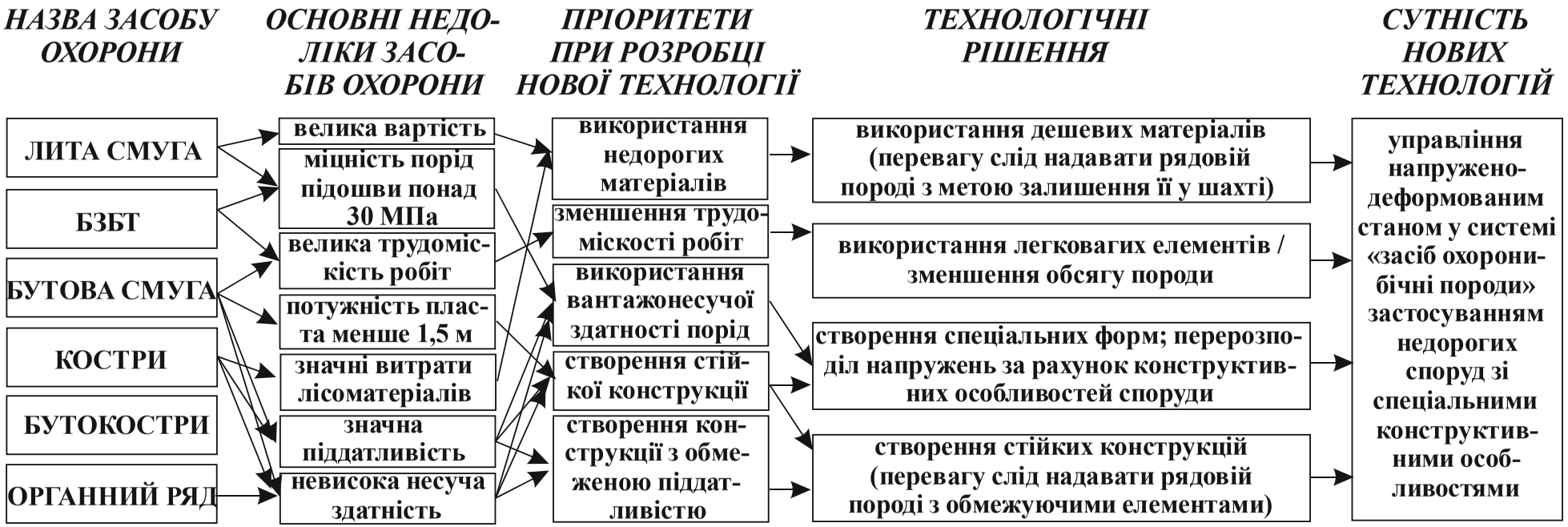


Рисунок 1.13 – Структурно-логічна схема щодо виключення недоліків засобів охорони з метою розробки нових технологій охорони виробок

зменшення обсягу ручної праці при реалізації технології; обмеженість у застосуванні на слабких бічних породах вимагає залучення в роботу самих порід з утворенням загальних породонесучих конструкцій (це дозволить підвищити несучу здатність засобу охорони); підвищити несучу здатність охоронної конструкції можна за рахунок спорудження стійких конструкцій з обмеженою піддатливістю; спорудження стійких конструкцій є обов'язковим при відпрацюванні пластів потужністю більше 1,5 м.

Встановлені пріоритети дозволяють визначити технічні рішення, за допомогою яких можна забезпечити виключення вищенаведених недоліків. З огляду на те, що найбільш дешевим матеріалом є рядова порода, яку видобувають в безпосередній близькості до місця спорудження охоронної конструкції, то перевагу варто віддавати саме цьому матеріалу. З причини того, що порода не є легковагим матеріалом, для зменшення трудовитрат доцільне зменшення обсягу використовуваної породи за умови забезпечення необхідної несучої здатності, яка може бути забезпечена за рахунок застосування у конструкціях з рядової породи й обмежуючих поверхонь [276]. У свою чергу, обмеження піддатливості призводить до того, що охоронна конструкція вдавлюється у підстилаючі породи як штамп, які супроводжується видавлюванням останніх у робочий простір. Дане явище неприпустиме при слабких породах підошви, інтенсивність видавлювання яких досягає значних величин і не дає можливості безремонтно підтримувати виробку. Технічним рішенням у цьому випадку є створення охоронних конструкцій зі спеціальними конструктивними особливостями (зміна форми, застосування підсилюючих елементів тощо) [285], що дозволить забезпечити рівновагу в геотехнічній системі «засіб охорони-слабкі бічні породи» або перерозподілом напружень у даній системі спрямувати діючі сили від виробки.

Окреслені рішення дозволяють сформулювати сутність нових ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок позаду очисного вибою, яка полягає в управлінні напружено-деформованим

станом у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» застосуванням маловитратних засобів охорони зі спеціальними конструктивними особливостями. Ці засоби можуть бути з різними конструкціями, мати різну ефективність, але основна мета їх розробки та застосування - створення експлуатаційного та безпечного стану виробок. Для наукового обґрунтування даних технологій важливим є проведення досліджень щодо виявлення особливостей поведінки бічних порід навколо виробок та засобів охорони.

1.6 Аналіз методів досліджень поведінки бічних порід навколо підготовчих виробок

Інтегральним показником ступеня прояву гірського тиску в гірничих виробках є величина зміщень їх контуру [187]. За значенням очікуваних зміщень порід на контурі виробок вибирається спосіб проведення виробки, тип її кріплення, визначаються необхідні параметри виробки та способи її охорони. За величиною фактичних зсувів визначаються додаткові заходи щодо забезпечення стійкості виробки, обсяги ремонтних робіт, а також приймаються рішення щодо подальшого підтримання виробок у конкретних гірничо-геологічних умовах.

Основними факторами, що визначають зміщення порід на контурі виробок, є [15]: напруження, що діють навколо виробки та виникають в результаті ведення гірничих робіт; потужність вугільного пласта; міцності бічних порід, їх обводненість; геологічні особливості навколо виробок; спосіб проведення, параметри кріплення виробки; взаємне розташування очисних вибоїв і піддатливість застосовуваної охоронної споруди.

Причинами деформацій порід і кріплень виробок, підтримуваних позаду очисного вибою, є зависання й обвалення порід за межами привибійного простору. Характер цих деформацій в значній мірі залежить від типу охоронної споруди. Як вказується в роботі [387], жорстка охоронна споруда перешкоджає

опусканню та розшаруванню порід покрівлі, а піддатлива - призводить до великих прогинів і опускань породних шарів значної потужності, їх руйнування й обвалення. Разом з тим, наявність жорстких засобів охорони призводить до сильного здимання порід підошви, а піддатливих – уповільнює цей процес. Крім того, при ударних навантаженнях від обвалень стійкість бічних порід забезпечується використанням піддатливих споруд [235].

Особливістю розрахунку кріплень виробок, підтримуваних позаду лави, є врахування осідань порід покрівлі над засобом охорони [15, 110]. Це обумовлене тим, що зміщення порід на контурі таких виробок в більшій мірі залежать від зсувів порід покрівлі над охоронною спорудою. Тому одним із завдань щодо забезпечення стійкості виробки є зменшення зсувів над засобом охорони.

Встановити взаємозв’язок зміщень порід на контурі виробки зі зміщеннями навколо охоронної споруди доволі складно, оскільки на це впливає безліч факторів, які характеризують фізико-механічні властивості бічних порід, параметри засобів кріплення виробки та кінцевої ділянки лави, параметри засобу охорони тощо.

Щоб оцінити ефективність різних технічних рішень у конкретних гірничо-геологічних умовах і отримати вихідні дані для подальших досліджень найбільш показовими і незаперечними є результати шахтних інструментальних спостережень. Але їх не завжди можна виконати. Зокрема, досить складно в одній і тій же виробці провести випробування декількох засобів охорони, а ще складніше в цих умовах варіювати параметрами конструкцій з паралельним виміром зсувів по контурним і глибинним реперам. Складністю є не тільки технічна реалізація таких досліджень, а й можливість забезпечення тотожності умов випробувань. Це обумовлено тим, що по довжині однієї й тієї ж виробки потужності шарів порід покрівлі та підошви непостійні, на окремих ділянках – можуть бути зони впливу тектонічних порушень або зони підвищеного зволоження порід, крім того, вздовж різних ділянок – може змінюватися величина присічки бічних порід і швидкість

посування очисного вибою, що також позначається на стані виробки.

Для встановлення особливостей деформування та руйнування порід навколо підготовчої виробки при застосуванні засобів охорони з різними параметрами доцільне використання методів моделювання на фізичних моделях [77, 138, 253, 327]. При цьому дещо ідеалізуються умови, в яких підтримується виробка, та встановлюється якісна картина впливу того чи іншого параметра або їх комбінації на стійкість виробки, що охороняється. Крім того, з деякими припущеннями при відпрацюванні моделей отримуються кількісні залежності, які переносяться в натуру. Допоміжними методами для перевірки й уточнення результатів фізичного моделювання є аналітичні методи.

Для фізичного моделювання частіше використовуються натуральні або еквівалентні матеріали, які замінюють реальні шари порід та конструкції у відповідності з критеріями подібності [247, 248, 366]. Вибір методу моделювання з використанням еквівалентних матеріалів обумовлений його поширеністю в гірничій науці та показністю отриманих результатів [17, 24, 268].

Аналітичні методи (методи математичної статистики [295, 316, 321], теорії планування експерименту [325] та чисельні методи [62, 102, 326] дозволяють отримати формалізовані схеми фізичних об'єктів, визначити достатність і достовірність вихідної інформації для отримання залежностей між досліджуваними величинами та надійності зв’язків між ними.

Застосування чисельних методів в механіці гірських порід має ряд переваг у порівнянні з іншими методами: універсальність, врахування великої кількості факторів, що впливають, низька трудомісткість отримання результатів у відносно стислий проміжок часу, відсутня потреба в матеріалах і спеціальному обладнанні і т.д. [26].

Серед чисельних методів для дослідження геомеханічних процесів в умовах поземної розробки вугільних родовищ велику популярність отримав метод скінченних елементів (МСЕ) [376]. Це спричинило появу програмних комплексів, заснованих на цьому методі, за допомогою яких можна оперативно

вирішувати геомеханічні завдання з широким масивом параметрів. Найбільш широку популярність отримали такі пакети, як: ANSYS, Solid Works, PLAXIS, FLAC3D і PHASE-2. Ці програмні комплекси дають майже однакові результати, але відрізняються ступенем складності побудови геометрії моделі, використанням при постановці задач різних моделей поведінки матеріалу.

Результати досліджень, які були проведені, показали, що для вирішення задач про розподіл напружень навколо гірничих виробок у пружній та пластичній постановках, можуть бути використані пакети, відповідно, ANSYS [183, 265, 326, 328, 329] та PLAXIS [20, 265, 266, 271], а для моделювання процесу видавлювання порід, які підстилають охоронну споруду, можуть бути використані Solid Works [192] та PLAXIS [263, 271, 273]. Останній вигідно відрізняється від своїх аналогів простим призначеним для користувача інтерфейсом, високою точністю розрахунків, а також, врахуванням нелінійності дискретного середовища, яким є породний масив навколо виробки та охоронної споруди.

Взагалі пакет PLAXIS [38] призначений для комплексних розрахунків напружено-деформованого стану ґрунтів та стійкості різних геотехнічних об’єктів. Та останнім часом його використовують для моделювання геомеханічних процесів навколо підземних гірничих виробок [18, 20, 26, 33].

1.7 Формулювання мети, задач та методів досліджень

До теперішнього часу численні спроби розробки ефективних ресурсозберігаючих засобів охорони підготовчих виробок позаду очисних вибоїв в умовах слабких бічних порід не принесли бажаних результатів. Вивчення досвіду розробки та випробувань різних засобів охорони дозволяє зробити висновок про те, що основною причиною обмеженості їх застосування є широкий діапазон гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільних пластів і високі витрати на їх реалізацію. Але існує достатня наукова база для

створення ефективних недорогих технологій і обґрунтування їх раціональних параметрів.

Разом з тим, в результаті аналізу науково-технічних передумов розвитку наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, отримана основна загальна концепція, яка передбачає управління напружено-деформованим станом у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» застосуванням маловитратних засобів охорони зі спеціальними конструктивними особливостями, зокрема, споруд з рядової породи та обмежуючих елементів.

У зв'язку з вищевикладеним, мета дисертаційної роботи полягає у розвитку наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій щодо забезпечення стійкості виробок, які ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

Наукові задачі та практичні завдання дослідження:

1. Визначити технічні основи ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід;

2. Встановити закономірності управління напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» на основі дослідження деформаційних процесів у засобах охорони та навколишніх породах в умовах слабких бічних порід;

3. Виконати геомеханічне обґрунтування способів управління станом порід навколо засобів охорони та розробити заходи щодо забезпечення стійкості цих споруд в умовах слабких бічних порід;

4. Обґрунтувати конструктивні рішення щодо створення ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок, зокрема, засобів охорони, що ґрунтуються на використанні рядової породи й

обмежуючих елементів, і створити теоретичні основи для визначення їх параметрів;

5. Розробити технологічні схеми та визначити умови ефективного застосування розроблених технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

Методологічну основу вирішення наведених вище наукових задач складає комплексне використання таких методів досліджень, як: аналіз і узагальнення сучасних науково-технічних досягнень в області охорони підготовчих виробок; шахтні інструментальні спостереження; аналітико-експериментальний метод прогнозу зміщень порід покрівлі підготовчої виробки позаду лави; методи механіки гірських порід, ґрунтів та сипкого середовища; фізичні моделювання на натурних й еквівалентних матеріалах; чисельне комп'ютерне моделювання (метод скінченних елементів) із застосуванням методів планування експерименту; статистична обробка результатів експериментів; аналіз та інтерпретація отриманих результатів; дослідно-промислові випробування розроблених технологій охорони виробок.

Висновки до розділу 1

1. При різноманітті способів та засобів охорони виробок у даний час здійснюються спроби щодо створення нових технологій, які ґрунтуються на залученні у спільну роботу породного масиву із засобами кріплення та охорони гірничих виробок, як єдиної геотехнічної системи.

2. Для забезпечення енергетичної безпеки України необхідне збільшення видобутку вугілля в перспективних районах Донбасу: Петриківському, Новомосковському, Лозівському, Павлоградсько-Петропавлівському, Південно-Донбаському, Покровському, Північному Донбасі та Лисичанському. Розробка запасів в цих районах буде

супроводжуватися ускладненням гірничо-геологічних умов і підтриманням виробок в слабких бічних породах.

3. Аналіз науково-технічних передумов розробки ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід вказує на необхідність розвитку наукових основ технологій, застосування яких дозволить підвищити техніко-економічну ефективність та безпеку підтримання підготовчих виробок позаду очисних вибоїв.

4. Для розробки технологій охорони підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід необхідним є врахування механічних явищ в охоронних спорудах та навколишніх породах, до яких відноситься усадка та просідання засобу охорони, його розширення та видавлювання з-під нього порід підошви.

5. Інтегральним показником щодо оцінювання експлуатаційного та безпечного стану підготовчих виробок, що підтримуються позаду лав, є величина зміщень порід на їх контурі, яка залежить від факторів, основними з яких є параметри засобів кріплення та охорони виробок, а також характеристики бічних порід.

6. До типових умов перспективних районів відносяться умови Західного та Південного Донбасу, коли в умовах слабких бічних порід, тектонічної порушеності родовища та надмірної обводненості використовуються системи розробки, що передбачають охорону виробок позаду лави.

7. У гірничо-геологічних умовах, що ускладнюються, актуальною є розробка та застосування ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони підготовчих виробок. Для зменшення витрат і забезпечення експлуатаційного та безпечного стану виробок доцільне управління напружено-деформованим станом у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» застосуванням маловитратних засобів охорони зі спеціальними конструктивними особливостями, зокрема, споруд з рядової породи та обмежуючих елементів.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФОРМУВАННЯ ТА РУЙНУВАННЯ СЛАБКИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ТА ЗАСОБІВ ОХОРОНИ

2.1 Проведення шахтних експериментів та спостережень за станом підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід

У розділі 1 було обґрунтовано необхідність дослідження процесів деформування та руйнування слабких гірських порід навколо підготовчих виробок, що підтримуються позаду очисних вибоїв. Це дозволить розробити ефективні технології охорони виробок для зменшення витрат на їх підтримання та забезпечити експлуатаційний і безпечний стан для повторного використання. Для цього проведено шахтні натурні спостереження у підготовчих виробках, які підтримувались позаду лав та в яких мали місце значні деформації породного контуру та втрата експлуатаційного перетину. До таких було віднесено підготовчі виробки ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», шахт «Щегловська-Глибока», імені Є.Т. Абакумова, М.С. Сургая та В.М. Бажанова.

В умовах ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» існує проблема забезпечення експлуатаційного стану гірничих виробок. Основну частину виробничих витрат складають витрати, які пов’язані з проведенням та охороною виробок. Існуючі способи та засоби забезпечення стійкості не дозволяють активно управляти напружено-деформованим станом системи «гірнича виробка-кріплення-охоронна споруда-вміщуючий масив» (додаток Г). Тому в умовах підготовчих виробок ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» було прийняте рішення щодо проведення інструментальних спостережень за проявами гірського тиску на характерних ділянках підготовчих виробок, що примикали до очисного вибою, які при русі

лави по черзі підтримувались поза зоною впливу вибою, у зоні опорного тиску, в створі з лавою та після проходу очисного вибою. Як об'єкт досліджень прийняті підготовчі виробки, що примикали до 11-ої західної лави пласта c_{18} (конвеєрні хідники 11-ої та 12-ої західних лав) (рис. Г.1, додаток Г) [31] та для яких було актуальним забезпечення експлуатаційного стану для повторного використання за необхідності мінімізації витрат на проведення та підтримання дільничних виробок при відпрацюванні пласта c_{18}.

Для відпрацювання 11-ої західної лави прийнята комбінована система розробки (суцільна зі стовповою) з прямоточним низхідним провітрюванням (схема провітрювання 1-М) (рис. Г.2, додаток Г). Очисний вибій був обладнаний механізованим комплексом 1МКД-90. Фактична швидкість посування лави становила в середньому 20-25 м/міс. Конвеєрний хідник 12-ої західної лави був вентиляційною виробкою 11 західної лави і використовувався повторно після відпрацювання 12-ої західної лави.

В межах виїмкової дільниці 11-ої західної лави вугільний пласт був простої та складної двохпачкової будови. Середня потужність пласта, що виймалася, складала 1,05 м. Залягання пласта полого-хвилясте, кут падіння 6-8°. Вугілля сухе з міцністю на одновісний стиск 15÷17 МПа, опірність вугілля різанню до 3,5-3,7 кН/см, об'ємна вага – 1,25 т/м^3. Марка вугілля ДГ, коксівне.

У безпосередній покрівлі пласта залягав в основному алевроліт сірий, слабо слюдистий з горизонтальною шаруватістю та тріщинуватий. Частота та простягання тріщин збігалися з тріщинуватістю пласта. За літологічними властивостями цей шар відносився до категорії $Б_3$. Його потужність складала 2,5 – 5,0 м, коефіцієнт міцності – 3 (за шкалою проф. М.М. Протод'яконова).

Основна покрівля - пісковик сірий, кварцовий тонкозернистий. За літологічними властивостями відноситься до категорії $А_2$. З середини виїмкового поля пісковик основної покрівлі виклинювався та заміщувався алевролітом.

У безпосередній підошві пласта на локальних ділянках залягав пісковик темно-сірий, у верхній частині – «кучерявчик» потужністю 0,7 м та міцністю 30-

40 МПа. На більшій частині ділянки пісковик був заміщений шаром алевроліту (міцністю 11 МПа) або аргіліту (міцність 8 МПа), в якому верхня частина має потужність до 0,35 м - «помилкова підошва», яка здатна розмокати. Шар схильний до здимання. У зоні розщеплення підошва пласта пухка, слабо зцементована, зволожена. Може приймати властивості $П_2$-$П_1$.

Конвеєрний хідник 12-ої західної лави проводився по пласту комбайновим способом з верхньою та нижньою підривками бічних порід. Підтримувався весь час відпрацювання 12-ої західної лави. Позаду цієї лави на межі з виробленим простором споруджувалася охоронна смуга з мішків (рис. 2.1), заповнених бетонною сумішшю TEKHARD. З протилежного боку виробки знаходився масив вугілля. Після початку відпрацювання 11-ої лави ця виробка погашалась слідом за очисним вибоєм.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд пакетованої охоронної смуги з сумішшю TEKHARD, яка споруджувалась позаду 12-ої західної лави

Конвеєрний хідник 11-ої західної лави проводився слідом за очисним вибоєм. Відбійка породи здійснювалась відбійними молотками. Для охорони цієї виробки на початковому етапі застосовувалась пакетована смуга з сумішшю TEKHARD і бутова смуга з рядової породи від проведення виробки, але у зв'язку з фінансовими труднощами пакетована смуга була замінена переважно на накатні костри зі шпального бруса (рис. 2.2), а на окремих ділянках – на накатні костри з круглого лісу.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд охоронної конструкції з накатних кострів і бутової смуги позаду очисного вибою для охорони конвеєрного хідника 11-ої західної лави

Виробки кріпилися рамами арочного кріплення КМП-А3 перетином у світлі 11,2 м^2. Крок установки рам становив 1,25 рам/м, місцями 2 рами/м.

У зоні впливу очисних робіт в підготовчих виробках застосовувалося кріплення посилення з дерев'яних стійок, що встановлювалися по центру виробок під верхняки основного кріплення. У вентиляційній виробці вони встановлювалися на ділянці протяжністю 30 м перед лавою, а в конвеєрній – по всій довжині виробки під кожну раму.

Незважаючи на те, що вентиляційна виробка погашалася слідом за лавою, позаду кінцевої ділянки викладалися дерев'яні костри для забезпечення безпеки ведення робіт на цій ділянці та сполученні, яке примикало. На обох

кінцевих ділянках лави передбачалися ніші, вугілля з яких виймалося відбійними молотками. Кріплення кінцевих ділянок лав здійснювалося індивідуальним кріпленням із застосуванням гідравлічних і дерев'яних стійок, що встановлювались під дерев'яний брус і відрізки спецпрофілю. Додатково на межі між виробленим простором і охоронними конструкціями пробивався ряд органного кріплення.

Спостереження за станом підготовчих виробок здійснювалися по всій їх довжині відповідно до методики, яка наведена у додатку Д. Особливу увагу було приділено ділянкам виробок, що знаходилися у зоні впливу очисних робіт позаду та перед лавою. Ці ділянки були довжиною близько 80 м, обладнані контурними вимірними станціями, згідно з вимогами ВНДМІ [246].

Облаштування замірних станцій тривало 10 діб. До вимірів з кроком 10 м було підготовлено 12 станцій у конвеєрній виробці та 8 – у вентиляційній.

Спостереження за зсувами порід навколо виробок на контурних станціях були розпочаті 07.03.17 р. та завершені 18.04.17 р. За цей час було виконано 971 вимірів. При цьому посування лави склало 30 м.

Вимірювання по контурним станціям проводилися за допомогою рулетки (точність вимірювання рулетки ±0,5 мм). Частота замірів була прийнята 2 рази на тиждень, що рекомендується «Методикою ...» [246] при перебуванні виробок в зоні впливу очисних робіт.

На кожній замірній станції фіксувалися вертикальні та горизонтальні розміри виробки (додаток Д) з заповненням журналу спостережень, а також періодично виконувались ескізи та фотофіксація поперечних перетинів, елементів кріплень та оголень порід у місцях найбільш характерних деформацій виробок.

На початку інструментальних спостережень у конвеєрному ході нику 11-ої західної лави від його гирла у напрямку до лави було прокладено нівелірний хід з побудовою профілю виробки. У конвеєрному ході нику 12 західної лави прокладка нівелірного ходу була ускладнена через замалу висоту

виробки та захаращеність (наявність кріплень посилення та трубопроводу ізольованого відведення метану). Проте, спостереження за динамікою зміни висоти цієї виробки виконувалися на підставі вимірів на контурних станціях та експрес-методом, який ґрунтується на вимірах висоти виробки по всій довжині ділянки, що досліджувалась (додаток Д).

Оскільки кінетика зсувів оточуючих порід не обмежувалась контуром виробки, а зона впливу поширювалась вглиб масиву, додатково проводилися спостереження за станом оголень порід покрівлі в виробках та на кінцевих ділянках лав.

Проведені інструментальні дослідження у конвеєрному хіднику 12-ої західної лави показали, що у виробках, які підтримуються перед лавою, період інтенсивних зрушень корелює з часом потрапляння виробки у зону опорного тиску. Це збігається з відомими уявленнями про деформаційні процеси у виробках, які підтримуються у зоні впливу очисних робіт.

Для умов конвеєрного хідника 12-ої західної лави загальну характеристику деформацій виробки можна відстежити, аналізуючи профіль її висоти (рис. 2.3). Інтенсифікація конвергенції спостерігалася на ділянці 80-60 м перед вибоєм та становила понад 1,0 м. Обробка результатів вимірювань зсувів контуру виробки на станціях дозволила отримати графіки зсувів порід покрівлі та підошви від відстані до лави (рис. 2.4), з яких випливає, що частка зсувів покрівлі у загальній конвергенції становить до 76% на ділянці до лави 65÷6 м.

Зміна контуру конвеєрного хідника 12-ої західної лави пласта c_{18} та деформування елементів кріплень мала явно виражену динаміку зсувів при всебічному гірському тиску (рис. Г.3, додаток Г). У меншій мірі це відноситься до зсувів з боку виробленого простору раніше відпрацьованої лави. З цього боку лише у деяких місцях зустрічалися деформації ніжок кріплення й їх випирання у порожнину виробки, які обумовлені, в більшій мірі, неякісною установкою рам кріплення слідом за пересуванням приводу лавного конвеєра. Мала місце втрата стійкості рам кріплень внаслідок відсутності міжрамних стяжок і замкових

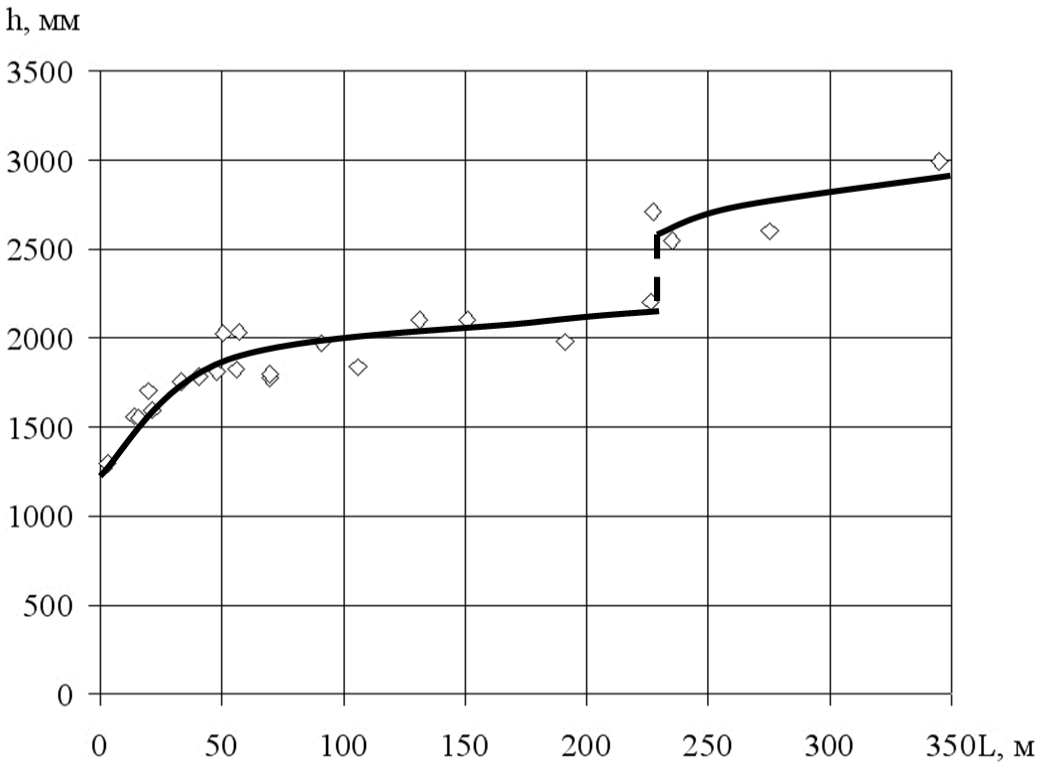


Рисунок 2.3 – Графік залежності зміни висоти конвеєрного хідника 12-ої західної лави пл. c_{18} від відстані до очисного вибою

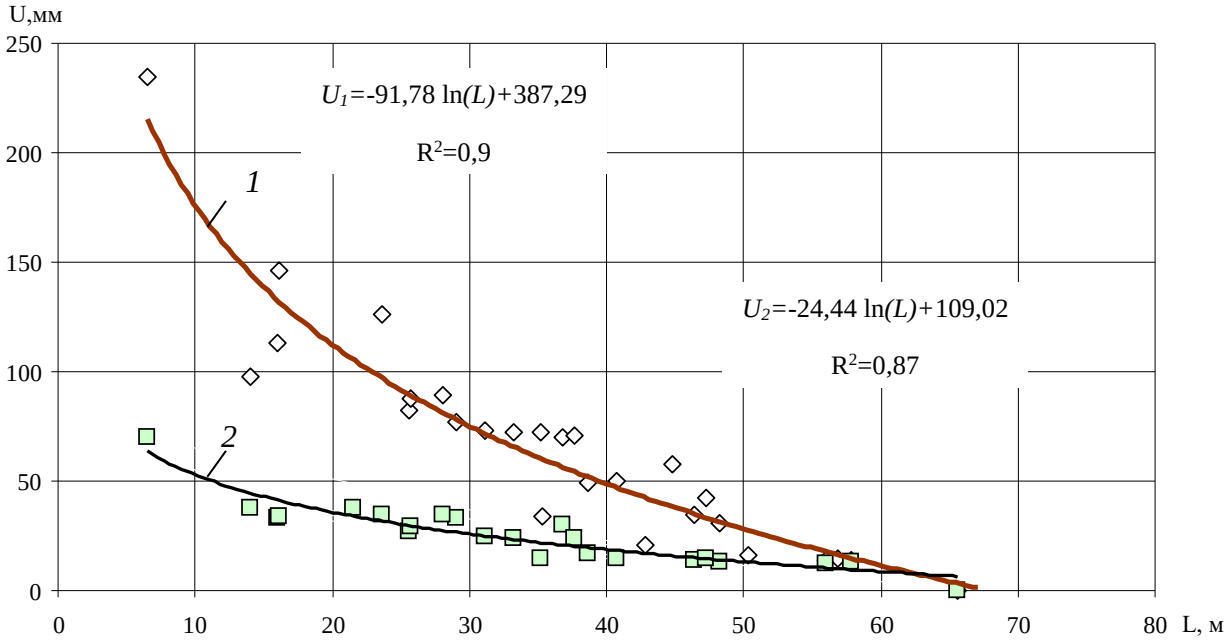


Рисунок 2.4 – Графіки зміни зсувів порід покрівлі (1) та підошви (2) конвеєрного хідника 12-ої західної лави в залежності від відстані до 11-ої західної лави

з'єднань. З правого боку виробки (з боку вугільного масиву) відзначалося явне видавлювання стояки кріплення з боку масиву, обумовлене роздавлюванням і переміщенням порід у порожнину виробки внаслідок розвитку зони зруйнованих порід і їх розширення, а також дії опорного тиску, що виникав праворуч від виробки. З боку покрівлі відзначалися просідання та деформації верхняків аркового кріплення внаслідок зсувів порід покрівлі, з відхиленням вектору зсувів від вертикальної осі виробки у ліву сторону на 7-8°.

В цілому через нерівномірність зсувів порід на контурі виробки її рами істотно деформувалися, причому основними вузлами, де відзначалися ці процеси, були замкові з'єднання, як справа, так і зліва. Мав місце розрив скоб і планок, сповзання замків вздовж ніжок кріплення, а також розкриття з'єднань і вичерпання піддатливості. Здимання підошви відносно до вертикальної осі виробки було асиметричним з переважаючим видавлюванням порід з боку масиву та кутом нахилу площини підошви до горизонтальної площини близько 8°. Також мало місце проколювання підошви дерев'яними стійками посилення, встановленими під верхняки. У місцях інтенсивного здимання було відзначене занурення (просідання) пакетованої охоронної споруди у підстилаючі породи на величину до 18% від висоти конструкції (рис. 2.5).

За результатами визначення зсувів порід на контурі конвеєрного хідника 11-ої західної лави (рис. 2.6) було встановлено, що у цілому його стан був задовільний і явних відхилень перетину від проектних параметрів не відзначалося. При порівнянні стану виробки у місцях, де застосовувалися різні засоби охорони, істотних відмінностей виявлено не було. Виконувати ескізи у цій виробці не мало сенсу, оскільки були відсутні характерні ділянки деформацій кріплення й інтенсивних зсувів контуру. Зона впливу опорного тиску позаду лави поширювалась на 40 м (рис. 2.7, 2.8). На цій ділянці відзначалися інтенсивні зміщення порід покрівлі та підошви, які на відстані понад 40 м мали загасаючий характер.

Параметри охоронних конструкцій, що споруджувались на межі з



Рисунок 2.5 – Фотографії дільниць виробки, де є факти просідання засобу охорони та проколювання стояками кріплення порід підошви

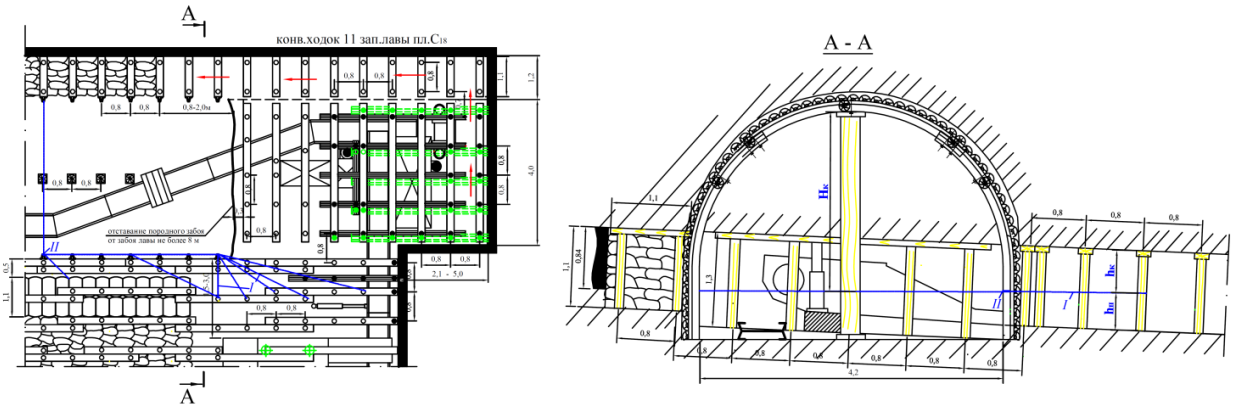


Рисунок 2.6 – Схема визначення зсувів порід покрівлі $h_к$ та підошви $h_п$ на кінцевій ділянці лави та покрівлі виробки $H_к$ відносно горизонтальних ліній *I*, що проектувалися від марки *II* на ніжці рами аркового кріплення

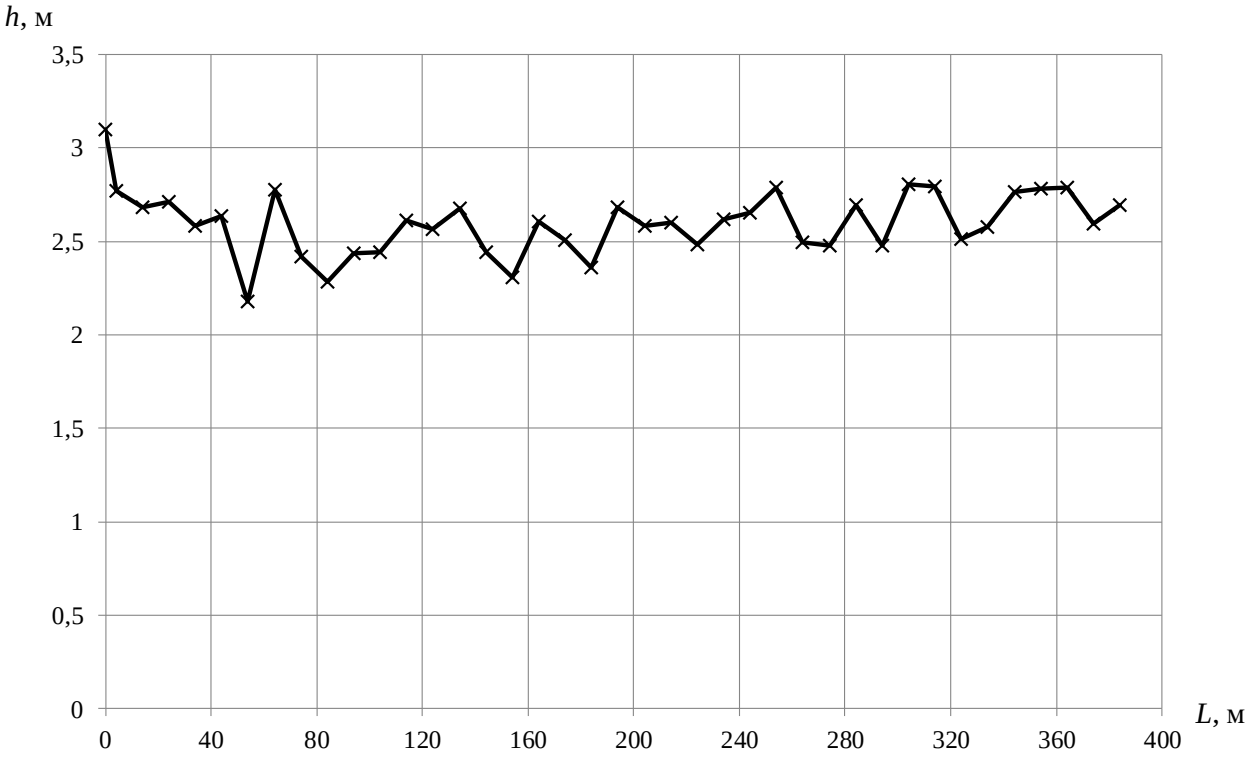


Рисунок 2.7 – Крива зміни висоти конвеєрного хідника 11-ої західної лави пл. $с_{18}$ від відстані до лави

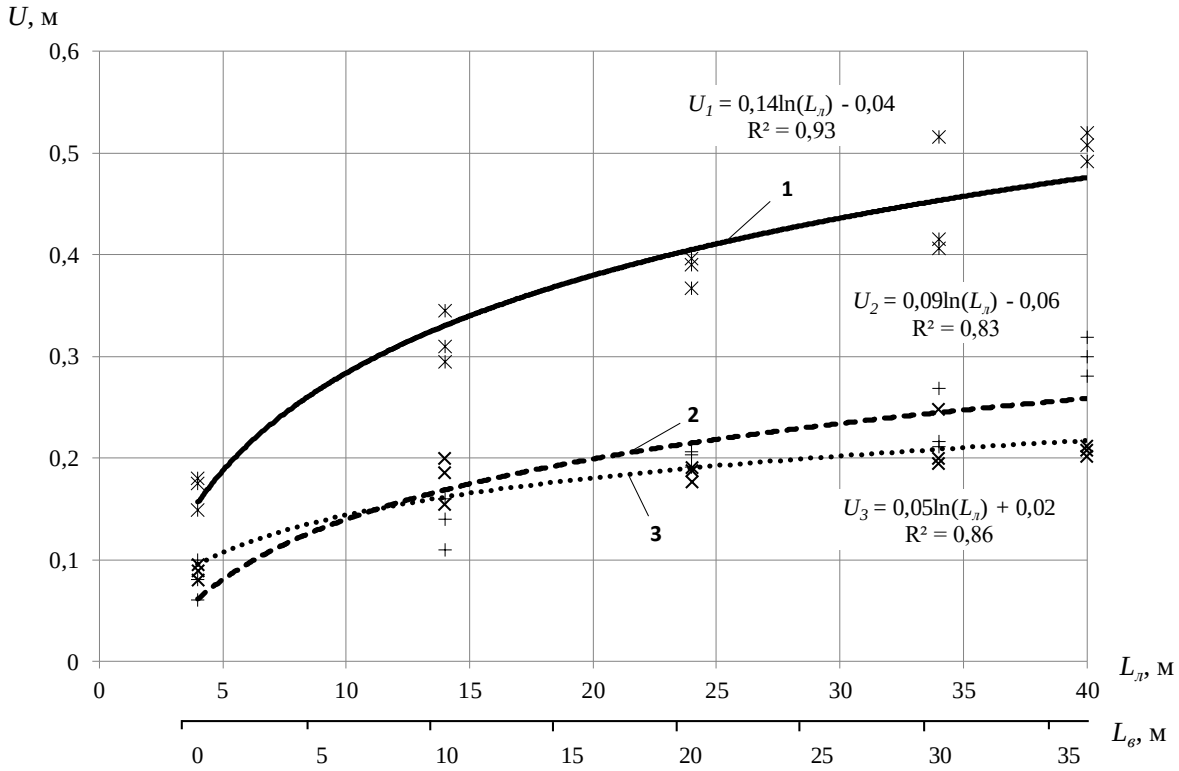


Рисунок 2.8 – Графіки залежностей вертикальної конвергенції порід покрівлі та підошви конвеєрного хідника 11-ої західної лави пл. c_{18} U_1 (1), зсувів його покрівлі U_2 (2) та підошви U_3 (3) від відстаней до очисного $L_л$ та підготовчого $L_в$ вибоїв

виробленим простором вздовж конвеєрного хідника 11-ої західної лави, відповідали паспорту кріплення й управління покрівлею. Якість спорудження бутової смуги була задовільна. Єдиний недолік прийнятого засобу охорони – завелика піддатливість, яка згодом впливала на втрату поперечного перетину виробки та неможливість її повторного використання без проведення перекріплень та підривок. Осідання порід покрівлі на кінцевій ділянці лави по останній стійці привибійного простору склали 21%, а повна усадка охоронної конструкції з просіданням у підстилаючі породи мала місце на відстані 7,5 м від вибою її спорудження, тобто близько 15 м від кромки пласта. Повна усадка склала 41 % від потужності пласта або 23% від початкової висоти засобу охорони, в тому числі, усадка накатних кострів зі шпального бруса склала 14% (0,147 м), а просідання – 9% (0,095 м).

Зіставленням вимірів зсувів порід підошви у виробці та осідань порід покрівлі вздовж охоронної споруди можна зробити висновок про те, що інтенсифікація видавлювання порід підошви починається з моменту вичерпання піддатливості засобу охорони та його роботою як штампа (просіданням). Наслідком цього є видавлювання підстилаючих порід у порожнину виробки, що охороняється.

Істотна піддатливість охоронної конструкції негативно позначалася на стані не тільки підошви виробки, але й на рівні безпеки ведення гірничих робіт на кінцевій ділянці лави, оскільки від величини осідання та рухливості порід покрівлі на цій ділянці залежали параметри можливої зони їх обвалення в межах цієї ділянки. Виміри висоти привибійного простору по ширині кінцевої ділянки та на ділянці усадки охоронної споруди дозволили побудувати графік зміни його висоти від відстані до вибою лави та встановити залежність конвергенції покрівлі та підошви пласта від відстані до кромки пласта (рис. 2.9).

Порівняння спостережень в обох виробках, що примикали до 11-ої західної лави, показало, що, незважаючи на схожі гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови, їх фактичний стан істотно відрізнявся. Це обумовлено, перш за все, різними термінами служби та різними умовами підтримання. Оскільки 12-а західна лава відпрацьовувалася у зворотному напрямку, її конвеєрний хідник підтримувався на всю довжину впродовж часу його проведення та відпрацювання 12-ої і 11-ої західних лав. Тобто підтримувався по черзі у всіх зонах опорного тиску [280] впродовж 35 міс. При цьому конвеєрний хідник 11 західної лави підтримувався тільки позаду однієї лави у зонах III (зона впливу очисних робіт позаду лави при первинному використанні виробки) та IV (зона усталеного опорного тиску позаду лави). Крім того, термін служби цього хідника становив лише 8 міс.

За результатами спостережень можна припустити, що основні зміщення у конвеєрному хіднику 12-ої західної лави відбулися після проходу першої лави, про що свідчать «проколювання» ніжок кріплення з боку виробленого

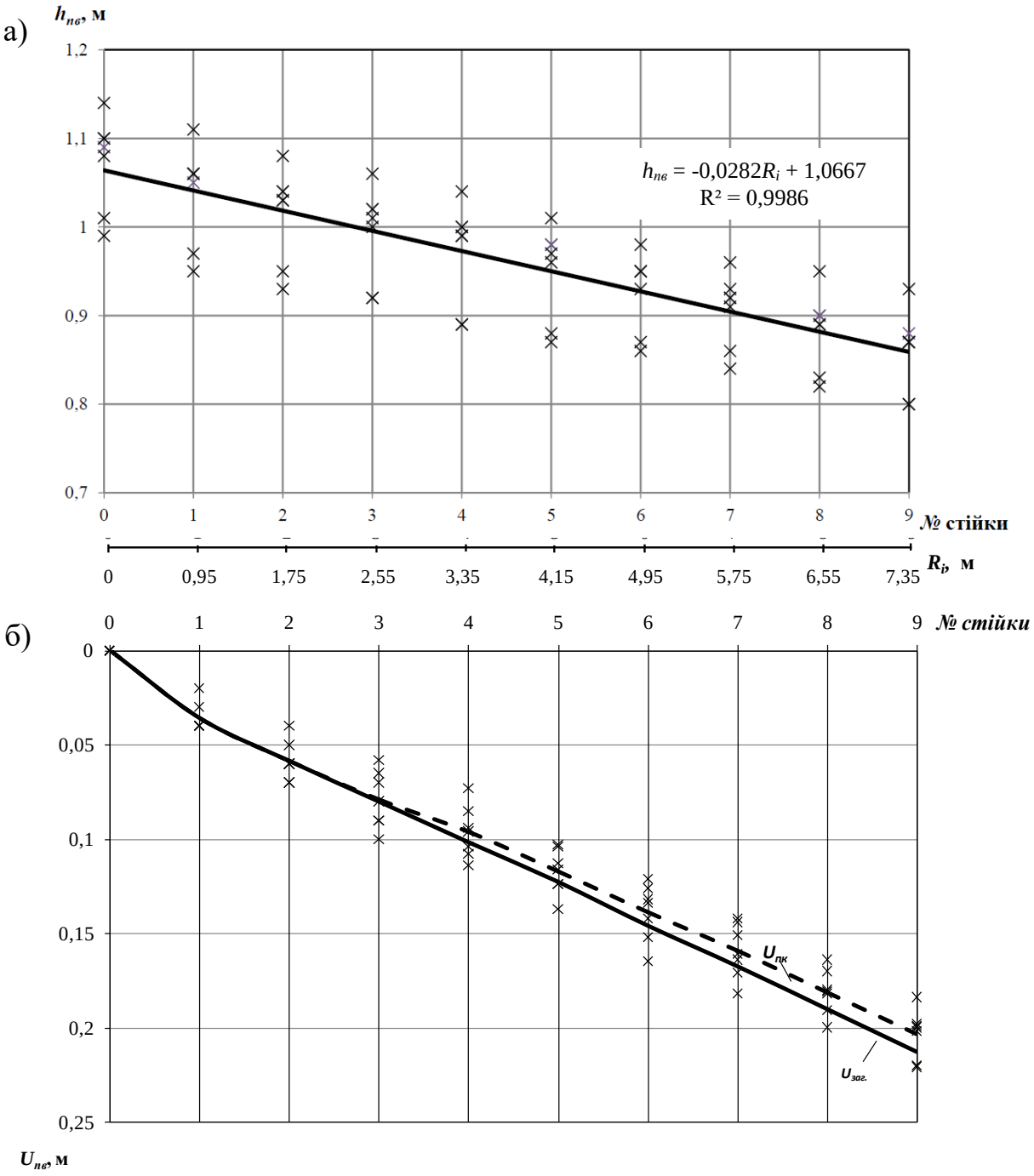


Рисунок 2.9 – Графіки зміни висоти привибійного простору кінцевої ділянки 11-ої західної лави пл. c_{18} $h_{пв}$ (а), конвергенції порід покрівлі та підошви пласта $U_{заг.}$ та зсувів покрівлі $U_{пк}$ (б) по ширині привибійного простору від відстані до кромки пласта R_i по стійкам індивідуального кріплення

простору та величина занурення охоронних конструкцій у підстилаючі породи (рис. 2.5). Не менш важливим був вплив вологості порід на стійкість виробки. З огляду на те, що породи підошви були представлені на більшій частині ділянки алевролітом, який був схильний до здимання та здатний до розмокання, він приймав властивості, що відносяться до категорії $П_1$. Отже застосування жорстких охоронних споруд у таких умовах було неефективним. Тому пакетовані смуги, які є засобами з обмеженою піддатливістю вдавлювались на 18% від своєї висоти. Інша картина спостерігалася при охороні накатними кострами зі шпального бруса, у яких площа опори на підстилаючі породи була більшою. Для них зміщення покрівлі досягали 32%, а величина просідання у підошву – 9%. На дільницях, де споруджувались накатні костри з круглого лісу, мало місце осідання порід покрівлі на 36 %, а просідання майже не було. Тобто загальні зміщення покрівлі для накатних кострів з різними дерев'яними елементами були майже однакові. Таким чином, зменшення піддатливості засобу охорони в даних умовах було знівельоване його вдавлюванням у породи підошви.

Відсутність просідання конструкцій з круглого лісу відносно підошви пояснюється його більшим зминанням поперек волокон, ніж двохкантних брусів. Дані відмінності були відзначені в місцях з'єднання різних кострів (рис. 2.10). Зминання круглого лісу склало 36 % від початкового діаметра, а брусів – 23 % від початкової висоти. Просідання менш піддатливої конструкції склало 0,095 м (9 % від початкової висоти конструкції).

Схожа ситуація спостерігалася при підтриманні підготовчих виробок по пласту m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова (додаток Г). Зокрема, у виробках 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова, яка відпрацьовувалась за суцільною системою розробки (рис. Г.4, додаток Г).

У безпосередній покрівлі пласта m_3 залягав нестійкий аргіліт межею міцності на одновісний стиск 13-40 МПа, потужністю 7,0-10,0 м. У даному шарі була яскраво виражена шаруватість та тріщинуватість. Відстань між

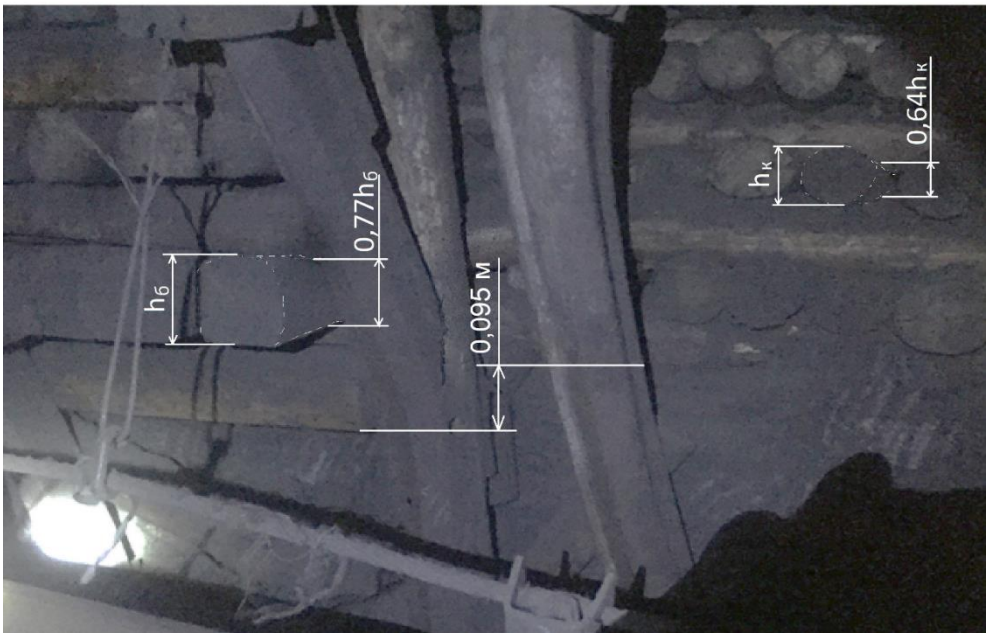


Рисунок 2.10 – Фотографія з місця сполучення кострів з різними жорсткостями (накатних кострів зі шпального бруса та круглого лісу), які мають різну величину просідання ($h_б$, $h_к$ –початкові, відповідно, висота бруса та діаметр стійки)

тріщинами у нижньому шарі становила 0,1-0,6 м.

Основна покрівля представлена обводненим пісковиком міцністю на одновісний стиск 55 МПа та потужністю 4,5-6,6 м. Внаслідок істотного обводнення пісковика та порушеності безпосередньої покрівлі у конвеєрному штреці лави відзначався інтенсивний капіж води з покрівлі.

У безпосередній підошві пласта знаходився алевроліт потужністю 1,2-1,6 м та міцністю – 30 МПа. Цей шар був схильний до здимання внаслідок обводнення та залягання нижче нього шару тріщинуватого вапняку $М_3$, міцність якого була 110 МПа, а потужність – 0,10-0,25 м.

Штреки проводилися буропідривним способом та були закріплені піддатливим металевим овоїдним кріпленням КМП-А3Р2 з перетином у світлі 14,1 м^2, піддатливістю 0,7 м. Вентиляційний штрек проводився слідом за лавою вприсічку до виробленого простору раніше відпрацьованої лави з залишенням

цілика шириною 6,5 м. Порода від проведення закладалася у бутову смугу вручну. Конвеєрний штрек спочатку також проводився слідом за лавою, але через незадовільний стан кінцевої ділянки лави та неможливість забезпечення безпечних умов праці було прийняте рішення про проведення з випередженням очисного вибою д 5,0 м (рис. Г.5, додаток Г). Порода від проведення завантажувалася вручну на проміжний скребковий конвеєр. У якості засобу охорони були прийняті чуракова стінка з бутовою смугою шириною до 7 м. Порода для бутової смуги витягувалась з виробленого простору вручну. Місцями замість чуракової стінки споруджувались стійки СКУ.

З відставанням від лави, яке дорівнювало 4,0 м, під кожну раму кріплення по центру виробки встановлювались відрізки спецпрофілю та дерев'яні ремонтини на дерев'яний лежень. Крім того, під верхняк аркового кріплення зі зміщенням у бік лави на металевих гаках підвішувались поздовжні металеві балки.

З початку відпрацювання лави стан вентиляційної виробки можна було охарактеризувати як задовільний, а конвеєрного – як незадовільний.

У конвеєрному штреці відзначалися інтенсивні зміщення порід контуру та виникала необхідність у проведені підривок порід підошви на висоту від 0,4 до 2,1 м з подальшим перекріпленням.

Для встановлення причин незадовільного стану конвеєрного штреку в умовах відпрацювання 8 західної лави пл. m_3 були проведені візуальні та інструментальні спостереження за його станом в рамках заявки керівництва шахти ім. Є.Т. Абакумова ДП «Донецька вугільна енергетична компанія» №1594 від 01.11.2010 р. [286, 283]. Виконувались виміри зсувів порід покрівлі та підошви навколо конвеєрного штреку та охоронних споруд поряд з ним для подальшої розробки рекомендацій щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок в конкретних умовах (додаток Е).

Обстеження фактичного стану конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова та результати шахтних інструментальних

спостережень на вимірювальних станціях, які були проведені у період з 01.09.2009 по 24.11.2010 р., дозволили виявити особливості механізму деформування бічних порід на контурі виробки.

Аналіз геологічної будови шахтного поля пласта m_3 на ділянці виїмкового поля 8 західної лави показав, що даний очисний вибій працював у особливо складних гірничо-геологічних умовах. Несприятлива ситуація формувалася в основному через залягання вугільного пласта у слабких бічних породах, які були дуже обводнені. Породи навколо конвеєрного штреку були представлені дискретним середовищем, що підтверджувалось результатами візуальних спостережень у місцях проведення підривок підошви та вивалів порід покрівлі у виробці (рис. 2.11). Крім того, в окремих місцях по довжині виробки був рясний капіж води з покрівлі. У цих місцях був найгірший стан виробки, причому поперечний переріз був значно менше, ніж необхідний за умови розміщення транспортного устаткування (рис. 2.12, 2.13). У безпосередній близькості до очисного вибою висота виробки була істотно більшою, за висоту на ділянці, що була більш віддалена від лави. Вже на відстані 15-20 м позаду лави висота виробки становила не більше 2,5 м, а ремонтини, що встановлювались по центру виробки, були занурені у підошву на глибину до 1,0 м (рис. 2.14).

При пересуванні приводу лавного скребкового конвеєра стояки аркового кріплення з боку очисного вибою вилучалися перед конвеєром та знов встановлювались позаду нього. Оскільки кріплення сполучення було відсутнім, то вже у створі з лавою мали місце просідання рам кріплення та значна втрата її висоти. Тому вже у зоні тимчасового опорного тиску позаду лави переважна більшість комплектів кріплення не працювала у піддатливому режимі. Розрізнені рами кріплення через неякісну їх установку, розклинювання та забутовку, внаслідок перекосу та втрати піддатливості були жорсткими конструкціями, які приймали точкові концентровані навантаження. Це призводило до вигинання профілю кріплення у порожнину виробки, розривів замкових з'єднань та незворотних деформацій і руйнування кріплень (рис. 2.15).

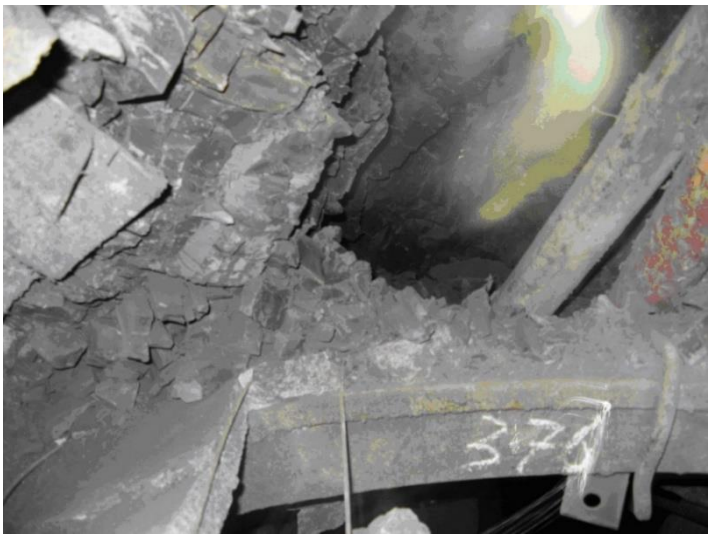


Рисунок 2.11- Загальний вигляд купола вивалу над верхняками кріплення виробки



Рисунок 2.12– Загальний вигляд кріплення виробки в місцях капіжу води з покрівлі



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд виробки на обводненій ділянці



Рисунок 2.14 – Загальний вигляд виробки у безпосередній близькості до очисного вибою



Рисунок 2.15 – Загальний вигляд ділянок деформування елементів кріплень виробки

Вздовж брівки лави, на відстані 5,6 м позаду неї, споруджувалась чуракова стінка шириною 1,3 м, а на відстані 3,2 м – бутова смуга шириною 4,0 м. На окремих ділянках замість чуракової стінки встановлювались два ряди стійок СКУ. Поряд з чураковою стінкою або стійками СКУ споруджувалась бутова смуга. З боку виробленого простору обрізне кріпленням не встановлювалось. Згідно з паспортом кріплення ширина бутової смуги мала становити 7 м з установкою ряду органного кріплення на межі з виробленим простором. Але внаслідок інтенсивного обвалення порід безпосередньої покрівлі, відразу ж за секціями механізованих кріплень зі зворотною консоллю (рис. 2.16), не було можливості встановлювати органний ряд та закладати бутову смугу на всю її проектну ширину.



Рисунок 2.16 – Загальний вигляд обвалення порід покрівлі позаду секцій кріплення зі зворотною консоллю

У деяких місцях було відзначене неякісне кріплення кінцевої ділянки індивідуальними стійками під дерев'яний брус, яке супроводжувалось розломами елементів кріплення та втратою несучої здатності конструкцій.

Бутова смуга внаслідок недостатньої ширини та відсутності органного кріплення суттєво просідала (рис. 2.17 а, б) та розповзалася через недостатню несучу здатність. Згодом, після ущільнення бутової смуги, сили, що виникали від ваги завислих порід, видавлювали підстилаючі породи у порожнину виробки.

За результатами інструментальних замірів було встановлено, що усадка бутової смуги на відстані 9,5 м позаду лави становила в середньому 0,63 м, що відповідало 63% від потужності пласта (рис. 2.17 б). Причиною цьому була недостатня ширина смуги, яка через дію навантаження з боку покрівлі допускала значні поперечні деформації. Розповзання бутової смуги призводило до втрати стійкості та руйнування стійок індивідуального дерев'яного кріплення на межі бутової смуги та чуракової стінки (стійок СКУ) (рис. 2.17 в). Стійки СКУ, які є охоронними конструкціями з обмеженою піддатливість до 15% не виконували своїх функцій. Вони розташовувалися між виробкою та бутового смугою і вичерпали свою піддатливість на момент, коли піддатливість бутової смуги прийняла максимальне значення (рис. 2.17 б). При цьому кут повороту шарів покрівлі склав 5-7°, що узгоджується з результатами досліджень, показаних в роботі [231].

Недостатній опір охоронної споруди породам покрівлі, які інтенсивно деформувалися, призвів до суттєвого розвитку зони зруйнованих порід навколо конвеєрного штреку та зависання великого обсягу порід над спорудою. Таким чином, при прийнятих засобах охорони на контурі виробки відзначалися істотні незгасаючі зміщення порід.

Додатково проводились інструментальні спостереження за зсувами порід контуру 8-го західного конвеєрного штреку на спеціально обладнаних замірних станціях. Заміри здійснювались впродовж 40 діб (з 14.10.10 р. по 24.11.10 р). на ділянці виробки довжиною 96 м [ПК9 + 8,8м - ПК13 + 18м], де

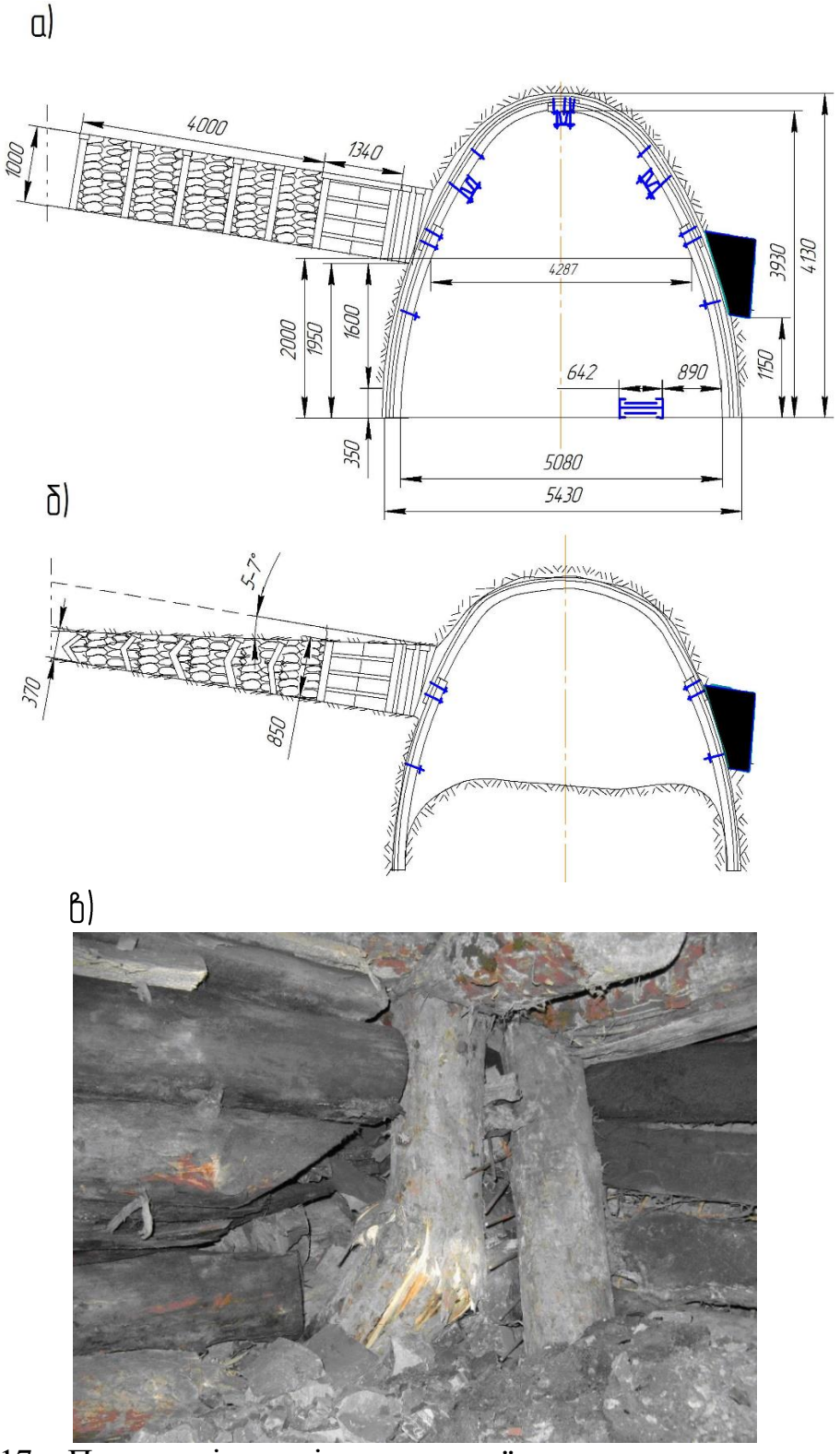


Рисунок 2.17 – Поперечні перерізи охоронної споруди та конвеєрного штреку 8-ої західної лави пл. m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова (а та б-відповідно, на відстані 5,6 м (місце викладки бутової смуги) та 9,5 м від лави; в- загальний вигляд деформування елементів дерев'яного кріплення внаслідок розповзання бутової смуги)

було підготовлено 7 станцій. За цей час очисний вибій посунувся на 37 м.

На кожній станції проводилось вимірювання поточної висоти виробки за допомогою рулетки ВНДМІ «Азимут» (точність вимірювання рулетки ±0,5мм). В результаті інструментальних спостережень були отримані значення конвергенції порід покрівлі та підошви виробки *U* в залежності від відстані до лави *L* (рис. 2.18) і часу підтримання виробки *T*. Ці результати добре корелюються з результатами отриманими іншими авторами, що досліджували цей процес, що свідчить про те, що в ході шахтних спостережень не були допущені принципові помилки.

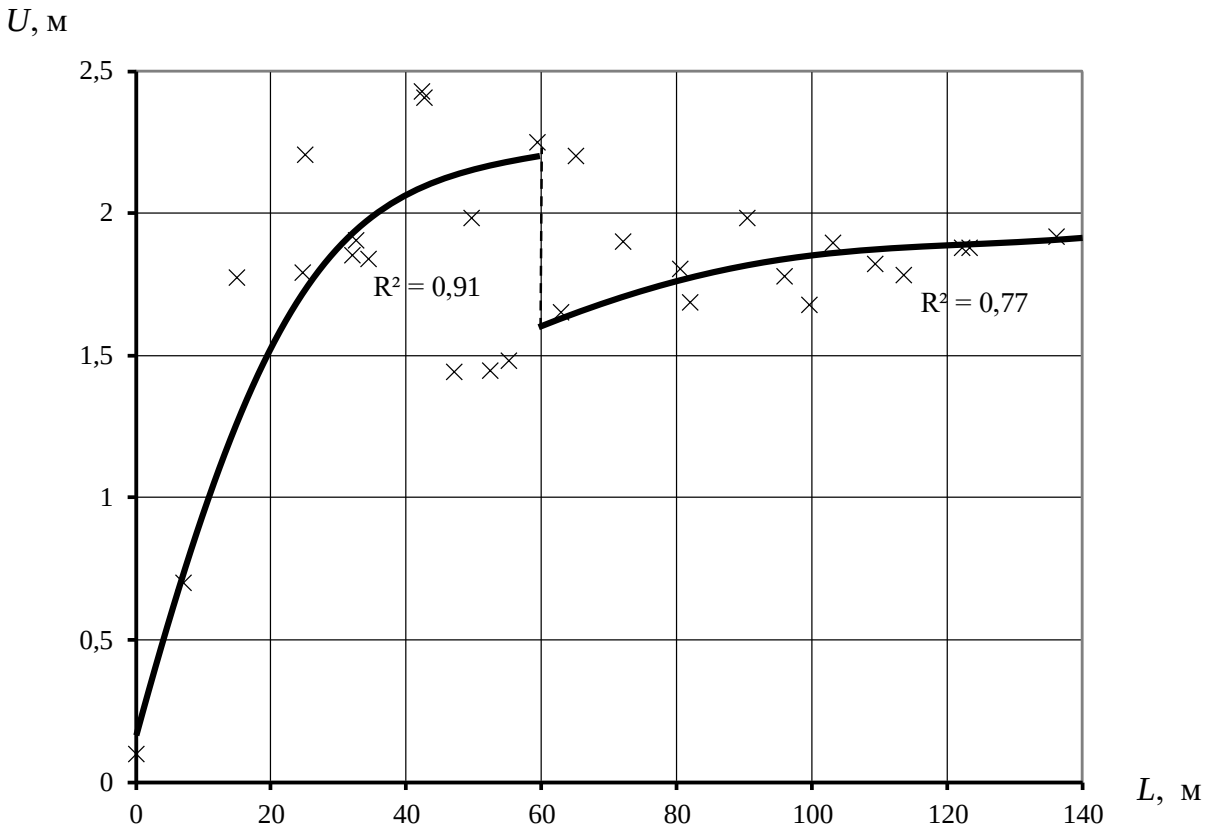


Рисунок 2.18 – Графік залежності конвергенції порід покрівлі та підошви *U* в залежності від відстані до лави *L*

Отримана залежність дозволила визначити зону впливу очисних робіт на стан виробки та визначити характер зсувів її контуру. Основна частка зсувів у виробці спостерігалася на ділянці від 0 до 40 м позаду лави. На цій ділянці реалізувалося близько 80 % всіх зсувів. Надалі спостерігалася їх стабілізація.

На відстані 60 м за лавою проводилася підривка порід підошви на величину до 0,5 м, яка згодом викликала інтенсифікацію зміщень порід контуру виробки, після чого характер зсувів мав такий самий вигляд, як і до проведення ремонтних робіт. Як підсумок, кінцеві зміщення порід покрівлі та підошви на відстані 120 м позаду лави досягли 1,9 м. Частка зсувів порід підошви становила у середньому 65%, тому величина опускання покрівлі становила у середньому 0,8 м, а підняття підошви - 1,1 м. Істотні зміщення порід і деформації кріплень виробки згодом привели до необхідності повного перекріплення виробки з випуском порід покрівлі й установкою рам кріплення на видавлені породи підошви.

Аналогічні гірничо-геологічні умови були при відпрацюванні 3-ої східної лави пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока» ПАТ «Шахтоуправління «Донбас» (рис. Г.6, Г.7 додаток Г) [195] та 13-ої східної лави пласта c_{11} шахти ім. М.С. Сургая, які також відпрацьовувалася за суцільною системою розробки (рис. Г.8, Г.9, додаток Г) одинарними лавами із застосуванням механізованих комплексів 3МКД-90.

В умовах 3-ої східної лави пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока» конвеєрний штрек проводиться за лавою в режимі струсного підривання з підривкою порід покрівлі та підошви пласта. Кріпився металоарковим кріпленням АП-5/18,3 з СВП-33 і підставками довжиною 1,4 м, а також залізобетонною затяжкою у покрівлі та металевою сіткою – з боків. Крок установки рам кріплення складав 4×0,5м+1×0,8м. Площа поперечного перерізу штреку в світлі становила $S_{св.}$=20,9 м^2, в проходці $S_{пр}$=28,6 м^2.

Потужність пласта змінювалась від 1,46 до 1,56 м, кут падіння – від 8 до 17°, міцність вугілля на одноосьовий стиск – 15 МПа. Над пластом нависала помилкова покрівля, представлена глинистим сланцем з порушеною текстурою й перешарованими прожилками вугілля потужністю від 0,1 до 0,5 м.

Безпосередня покрівля була представлена глинистим сланцем потужністю від 3,5 до 4,0 м. За стійкістю породи відносилися до категорії $Б_3$,

в зонах опорного тиску - $Б_2$. Основна покрівля представлена у верхній частині шару глинистим сланцем, далі – піщаним сланцем і пісковиком загальною потужністю від 26,0 м до 42,0 м. Глинистий сланець з міцністю на одновісний стиск 40 МПа переходив у дрібнозернистий пісковик потужністю 3,7 м і міцністю на одновісний стиск від 75 до 95 МПа. Породи основної покрівлі за обвалюваністю відносилися до категорії $А_2$.

Безпосередня підошва була представлена піщаним сланцем потужністю 0,80 м з міцністю на одновісний стиск від 20 до 30 МПа. Основна підошва - піщаний сланець з міцністю на одновісний стиск від 61 до 75 МПа відносилася до категорії $П_3$.

Охорона конвеєрного штреку здійснювалася з боку лави шляхом викладення «жорсткої» смуги шириною 2,0 м з напівблоків (рис 2.19) розміром 0,4×0,1×0,2 м кожен. Напівблоки укладалися на глині відразу за посуванням лави на всю потужність пласта за схемою, яка аналогічна кладці стін цеглою (рис. 2.19). Для кріплення кінцевої ділянки лави та косовичника застосовувалися дерев'яні стійки під брус. Ряд нижніх рамок використовувався для зведення органного кріплення: 5-6 дерев'яних стійок на 1 п.м, що відокремлювало косовичник від виробленого простору. Відставання смуги з напівблоків від секцій механізованого кріплення становило 1,25 м. Весь простір між смугою та стояками аркового кріплення виробки забучувався вручну породою від проведення виробки (рис 2.20).

Додатково по всій довжині конвеєрного штреку пласта m_3 застосовувалося підсилююче кріплення з двох опорних балок з СВП-27 довжиною 4-5 м, які підвішувались до кожного верхняку по обидва боки від осі виробки.

Спостереження за проявами гірського тиску в даній виробці здійснювались впродовж 2 міс. по п’яти контурним замірним станціям на контрольній ділянці протяжністю 50 м. Визначалися зміщення порід на контурі штреку за результатами Інструментальні спостереження виконувались



Рисунок 2.19 – Загальний вигляд смуги з напівблоків

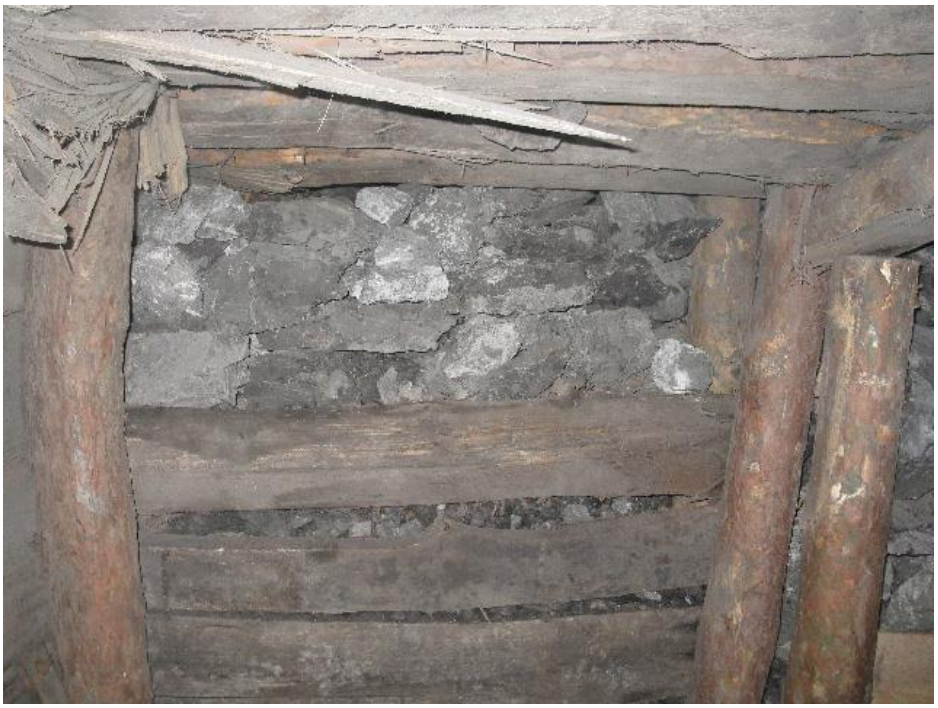


Рисунок 2.20 – Загальний вигляд простору, що забучувався між охоронною спорудою та рамами кріплення

у зоні впливу очисних робіт (0-100 м від лави), згідно з вимогами ВНДМІ [246] з періодичністю 1 замір у дві-три доби. На початку досліджень виконувалася прокладка нівелірного ходу від устя виробки. Результати інструментальних спостережень і нівелювання дозволили отримати графіки зсувів порід покрівлі та підошви конвеєрного штреку 3-ої східної лави пласта m_3 в залежності від відстані до очисного вибою (рис. 2.21) [195].

Встановлено, що зміщення порід покрівлі в штреці починають розвиватися відразу ж від підготовчого вибою, а підняття підошви відзначається на відстані 10 м від нього. У зоні впливу лави позаду неї виробка істотно зменшувалася у поперечному перерізі та вже на відстані 50-70 м її перетин у світлу досягав мінімально допустимого значення, що вимагало проведення підривок порід підошви на величину 0,7 м. Але цей захід не дозволив повністю виключити зміщення порід підошви. Також мали місце зсуви порід покрівлі, які на відстані 100-150 м досягали величини 0,52 м. Внаслідок цього фіксувалися проковзування верхняків кріплень у замкових з'єднаннях і здійснювалося

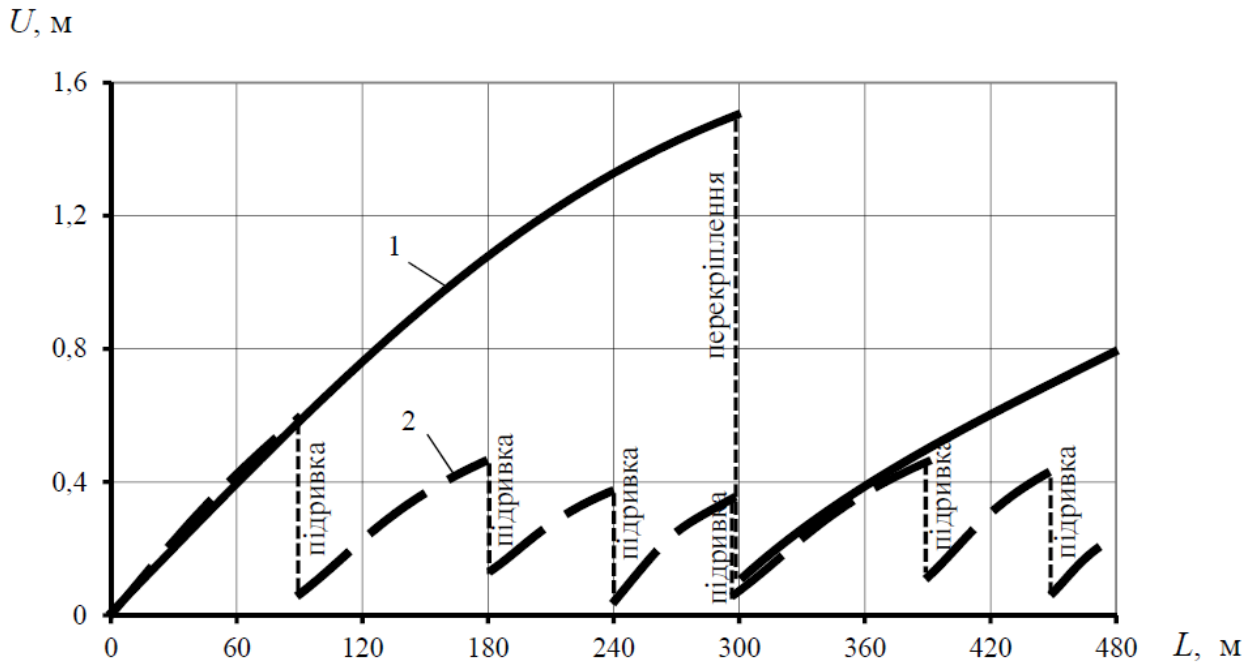


Рисунок 2.21 – Графіки залежності зміщень порід покрівлі (1) та підошви (2) 3-го східного конвеєрного штреку пласта m_3 *U* від відстані до лави *L*

перекріплення виробки на відстані 300 м позаду лави.

Загальна конвергенція у виробці, коли вона перебувала на відстані від лави 0-40 м, досягла 0,55 м, в тому числі зміщення покрівлі склали в середньому 0,26 м, підошви - 0,29 м. Взагалі зміщення порід на контурі виробки спостерігалися весь термін її підтримання, причому 60-65 % від загальної конвергенції припадало на породи покрівлі та досягли величини 2,5-2,8 м.

Спільно зі спостереженнями за станом виробки виконувалися виміри висоти привибійного простору на кінцевій ділянці лави та у косовичнику, а також фіксувалася величина вдавлювання охоронної конструкції у підстилаючі породи з боку косовичника впродовж часу його підтримання. За результатами інструментальних і візуальних спостережень було встановлено, що породи покрівлі рівномірно зміщуються з відходом очисного вибою. При цьому відзначалося деяке занурення дерев'яних стійок індивідуального кріплення кінцевої ділянки у підстилаючі породи. До моменту спорудження засобу охорони за рахунок опускання покрівлі втрачалося близько 15,1 %

початкової висоти привибійного простору. Таким чином, фактично смуги з породних напівблоків споруджувалися висотою в середньому 1,2 м. Охоронна конструкція практично відразу (через 6 год.) включалася у роботу після деякої усадки й ущільнення. Через 7 діб з моменту спорудження смуги опускання покрівлі досягло 9,2 % (0,11 м) від її початкової висоти, в тому числі заглиблення у підстилаючі породи було 4 % (0,05 м). Можна вважати, що дана конструкція мала обмежену податливість та могла бути ефективною при виключенні її вдавлювання у породи підошви, яке мало місце при відході лави. Тому було прийнято рішення про необхідність удосконалення засобу охорони (додаток Ж), при якому дія ваги порід покрівлі через цю конструкцію на породи підошви була мінімізована або переспрямована від виробки.

В умовах пласта c_{11} шахти ім. М.С. Сургая підготовчі виробки, що проводилися та підтримувалися позаду лав, знаходилися у незадовільному стані, в тому числі внаслідок здимання порід підошви. Причиною втрати їх перетину є істотна усадка охоронних конструкцій, що споруджуються на межі з виробленим простором, і, як наслідок, зміщення покрівлі у виробці, які перевищують піддатливість її основного кріплення.

Дані висновки були зроблені за результатами НДР, яка була виконана в умовах конвеєрного штреку 13-ої східної лави пласта c_{11}, який був обраний, як об'єкт дослідження для порівняння з умовами підтримання конвеєрного хідника 12-ої східної лави пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» у схожих гірничо-геологічних умовах. Принциповою відмінністю в умовах була глибина ведення робіт, міцність порід підошви пласта та потужність пласта. У лаві застосовувалась суцільна система розробки. Конвеєрна виробка проводилася позаду лави й охоронялася накатними кострами.

Міцності порід безпосередніх покрівлі та підошви становили в середньому, відповідно, 25 та 30 МПа. Добова швидкість посування лави складала 1,26 м/добу. Протоколи проведення шахтних натурних спостережень й експериментів з вивчення закономірностей проявів гірського тиску в

конвеєрній виробці 13 східної лави пл. c_{11} наведені в додатку З.

Обробка результатів інструментальних і візуальних спостережень у даній виробці дозволила встановити ряд особливостей деформування порід на її контурі, зокрема: інтенсифікація конвергенції спостерігалася на ділянці 80-60 м перед очисним вибоєм; вертикальна конвергенція складала більше 1,0 м, зміщення порід підошви від загальних вертикальних зсувів порід покрівлі та підошви становили від 36 до 45 %; зона впливу опорного тиску позаду лави поширювалась на 50 м від неї, де відзначалися інтенсивні зміщення порід контуру виробки, а на відстані понад 50 м відбувалася їх стабілізація та загасання; осідання порід покрівлі на кінцевій ділянці лави по останній стійці привибійного простору становило 19 %, а повна усадка охоронної конструкції по довжині виробки – 38 %; на окремих ділянках по довжині виробки відзначалася втрата стійкості накатних кострів і розламування дерев'яних стійок індивідуального кріплення внаслідок вдавлювання охоронних конструкцій у підстилаючі породи; здимання підошви відносно вертикальної осі виробки було асиметричним з переважаючим видавлюванням порід з боку масиву. На підставі отриманих результатів були розроблені рекомендації щодо підвищення стійкості конвеєрної виробки, зокрема, застосування охоронних конструкцій з обмеженою піддатливістю, область застосування яких поширювалася б на слабкі породи підошви.

У всіх виробках, які розглядалися вище, для їх охорони застосовувалися дерев'яні костри, смуги із напівблоків, стійки СКУ разом з бутового смугою. Було відзначено, що ці конструкції рано чи пізно починають вдавлюватися у породи підошви. Дані деформації можна було б пояснити невисокою міцністю порід підошви, яка не перевищувала 30 МПа. Але, як показують результати інструментальних спостережень в умовах 4-ої західної лави похилового поля пласта m_3 горизонту 1012 м шахти ім. В.М. Бажанова [267], міцність порід не є визначальним фактором.

Лава відпрацьовувалася за комбінованою системою розробки (суцільна

зі стовповою) з проведенням слідом за лавою конвеєрного та вентиляційного штреків з повторним використанням конвеєрної виробки від раніше відпрацьованої лави як повітряподавальної (рис. Г.10, додаток Г).

Вугільний пласт був складної двохпачкової будови, загальною потужністю 1,6-1,7 м та міцністю вугілля на одновісний стиск 10 МПа. Кут падіння пласта 6°. У безпосередній покрівлі пласта залягав шар малостійкого глинистого сланцю (категорія $Б_3$) міцністю 30-50 МПа та потужністю 12,0-16,8 м. Основна покрівля була представлена середньообвалюваними ($А_2$) шарами сланців піщаних, глинистих, вапняків, пісковиків і вугільних прошарків. Загальна потужність цієї товщі була 42,5-69,1 м. Безпосередня підошва пласта – сланець піщаний ($П_3$), потужністю від 0,75 до 3,6 м, міцністю на одновісний стиск 40-60 МПа.

Підготовчі виробки охоронялися бутовими смугами. Поряд з конвеєрним штреком застосовувалася одностороння бутова смуга шириною 20 м, а поряд з вентиляційним – двостороння шириною 18 м і 4 м. Перетини виробок в проходці становили 16,5 м^2 (11,2 м^2 в світлі після осідання). Застосовувалося металеве аркове кріплення КМП-А3-13,8 з кроком установки 0,8 м.

В результаті візуальних спостережень у вентиляційному та конвеєрному штреках було відзначено однаковий характер зсувів порід їх контурів. При вимірі висоти виробки було встановлено, що на однаковій відстані від лави (15 м) у конвеєрному штреці втрати висоти виробки склали 1,2 м, у вентиляційному – 1,1 м.

У конвеєрному штреці була підготовлена замірна ділянка довжиною 50 м з 5-ма контурними вимірними станціями з марками на рамах кріплень (рис. Г.11, додаток Г). За результатами вимірів визначалася величина конвергенції порід покрівлі та підошви виробки, зміщення порід покрівлі, підошви та її боків, а також були отримані залежності зміщень порід покрівлі та підошви від відстані до очисного вибою (рис. 2.22). Інтенсивні зміщення порід підошви спостерігалися на деякій відстані від лави (8-17 м), а зміщення

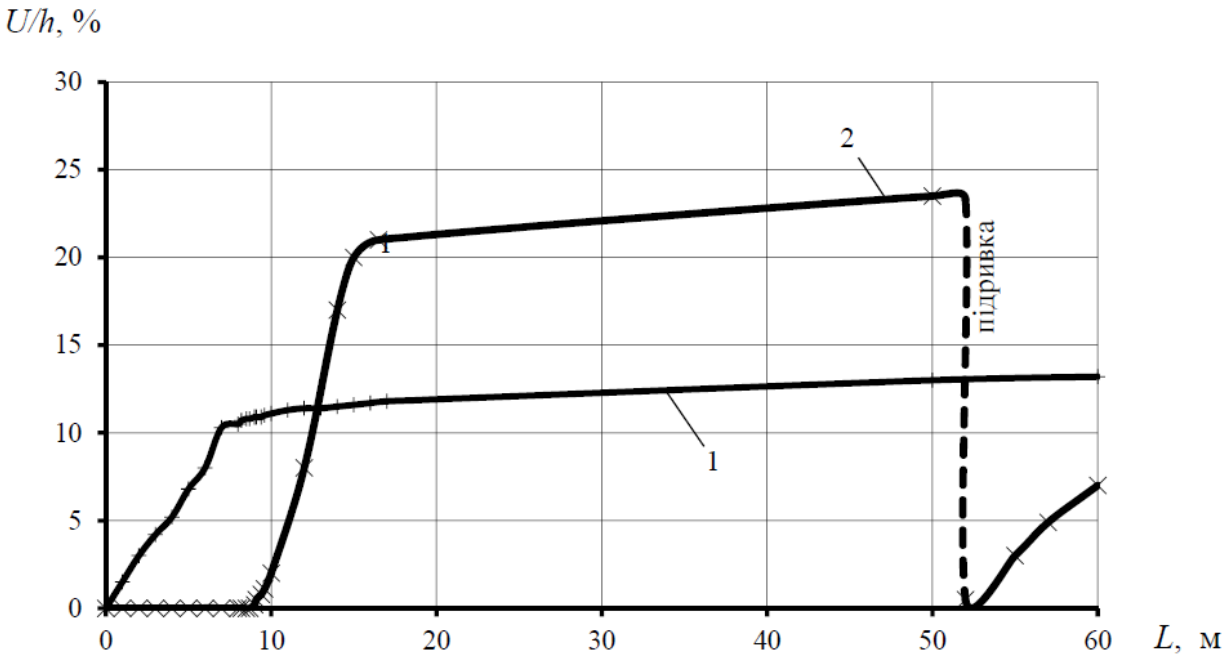


Рисунок 2.22– Графіки відносних зміщень порід покрівлі (1) та підошви (2) виробки *U/h* (*U*– зміщення порід, *h*– висота виробки) в залежності від відстані до лави *L*

порід покрівлі мали місце практично відразу після проведення виробки. Величина конвергенції порід покрівлі та підошви виробки склала 34 % від висоти виробки на відстані 20 м від лави та 37 % – на відстані 60 м, в тому числі величина здимання підошви склала 22 та 24 %, відповідно. Основна частка зміщень припадала на ділянку 8-20 м позаду лави для підошви та 0-11 м – для покрівлі, тобто основні зміщення відбувалися у зоні тимчасового впливу очисних робіт. Надалі ці зміщення мали загасаючий характер.

Відсутність зсувів порід підошви на ділянці 0-8 м пояснювалося усадкою бутової смуги та демпфуванням діючих навантажень. На цій ділянці мало місце ущільнення породних частинок, після чого на відстані понад 8 м навантаження передавалося через охоронну споруду на підстилаючі породи, які згодом переміщалися у вироблений простір та виробку.

Породи підошви по ширині виробки видавлювались нерівномірно. На початковому етапі на відстані 10 м позаду лави були відзначені зміщення з боку виробленого простору, а у подальшому спостерігалося зростання зсувів

з переміщенням порід до центру виробки, а потім – до ніжок кріплень з боку масиву. Кінцева величина зсувів склала 1,31 м.

У вентиляційному штреці, який охоронявся двосторонньою бутовою смугою, характер видавлювання порід був аналогічним з конвеєрною виробкою, причому зміщення порід підошви також починали свій рух від бутової смуги з боку лави у протилежний бік, але від виробленого простору раніше відпрацьованої лави. Це дозволило підтвердити припущення про те, що причиною здимання порід підошви є видавлювання порід з-під бутової смуги, яка працювала як штамп.

Результати проведених шахтних натурних спостережень в умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», шахт «Щегловська-Глибока», імені Є.Т. Абакумова, М.С. Сургая та В.М. Бажанова показали, що при відпрацюванні вугільних пластів системами розробки, які передбачають підтримання виробок позаду лав, гостро стоїть проблема забезпечення їх стійкості у зоні впливу очисних вибоїв позаду них, особливо в умовах слабких бічних порід. Незважаючи на відмінності в гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах механізми розвитку деформацій навколо розглянутих виробок були однотипні, а саме: зміщення покрівлі по ширині привибійного простору в напрямку від лави збільшувалися за лінійним законом (рис. 2.9); зміщення порід покрівлі та підошви виробки залежать від стійкості засобів охорони та бічних порід; при слабких породах підошви охоронні споруди вдавлюються в них, що є причиною інтенсифікації зміщень порід покрівлі над спорудами та виробками, що вказує на існування зв'язку між ними; охоронні споруди зазнають позацентрове навантаження від ваги нависаючих порід покрівлі, причому піддатливі конструкції істотно зменшуються по висоті з максимальною усадкою з боку виробленого простору, а засоби охорони асиметрично вдавлювалися у породи підошви по ширині після вичерпання своєї піддатливості з максимальною величиною з боку виробленого простору та мінімальною – з боку виробки; збільшення жорсткості засобів

охорони в умовах слабких порід підошви нівелюється вдавлюванням конструкцій у ці породи; при недостатній ширині бутових смуг спостерігаються їх значні поперечні деформації та розповзання, наслідком чого є незгасаючі деформації у примикаючих виробках.

2.2 Обґрунтування методики розрахунку зміщень порід у підготовчих виробках в зоні впливу очисних робіт

Зміщення порід на контурі виробки, як вказувалося раніше, залежать від гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів, але жоден з факторів не буде мати великого значення, якщо напруження на контурі виробки будуть замалими, щоб вплинути на руйнування масиву. Але підвищених напружень не можна уникнути, особливо у зонах ведення очисних робіт, впливу охоронних ціликів, тектонічних порушень тощо. Тому на ділянках можливих інтенсивних деформацій на контурі виробки з втратою перетину необхідне застосування заходів, при яких буде забезпечено експлуатаційний та безпечний стан виробок, зокрема, на ділянці тимчасового опорного тиску позаду лави, на якій напружений стан порід на контурі виробки є результатом перерозподілу геостатичного тиску при вийманні вугілля в лаві та утворення позаду неї породних оголень. На цій ділянці ключовим моментом є застосування ефективного засобу охорони, оскільки його піддатливість є однією з причин значних зсувів порід покрівлі та підошви у виробці, що охороняється. Про це свідчать результати досліджень, викладені в роботі [15], де вказується, що на осідання охоронної смуги припадає близько половини зсувів виробки. Не менш важливим є забезпечення стійкості порід підошви під засобом охорони, при порушенні якої будь-який засіб може бути неефективним, що призведе до інтенсивних зсувів порід покрівлі. Тобто для охорони виробки має забезпечуватись стійкість всієї геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», а не її окремих елементів.

Зміщення порід покрівлі, які фіксуються над охоронними спорудами позаду лави, в більшій мірі, залежать від фізико-механічних характеристик бічних порід і параметрів кріплення кінцевих ділянок лав. Вони починають розвиватися на кромці пласта або на деякій відстані від неї вглиб масиву [17, 40, 62, 106, 200, 274, 295]. У результаті руйнування вугілля в крайовій частині пласта відбувається первинне опускання порід покрівлі по кромці до величини $U_{пл.}$ (м) та вторинне опускання, яке відзначається по ширині привибійної зони $U_{пв}$ (м) та позаду неї U_o (м) до тих пір, поки не будуть вичерпані піддатливість охоронної споруди та просідання підстилаючих порід (рис. 2.23). Тоді сумарні зміщення порід покрівлі U (м) на ділянці від точки, в якій вугілля знаходиться в стані граничної рівноваги, до місця, де відбудеться стабілізація зсувів, будуть визначатися виразом

$$U = U_{пл.} + U_{пв} + U_o . \tag{2.1}$$

Сумарні зміщення U обумовлені плавним прогином шарів безпосередньої та основної покрівель. За рахунок цього в крайовій частині пласта виникають підвищенні напруження, що призводить до розвитку зони зруйнованого вугілля та зминання його на певну глибину. Прогин шарів спостерігається по ширині привибійного простору та над засобом охорони.

Профільна крива безпосередньої покрівлі від точки, в якій вугілля знаходиться в стані граничної рівноваги, до місця, де відбудеться стабілізація зсувів, є опукло-увігнутою лінією або дугою кола великого радіусу [149]. Відхилення від прямої несуттєві, тому їх приймають за пряму лінію. Тоді, у відповідності з формулою В.Т. Давідянца [142], вираз (2.1) може бути записано, як

$$U = m\alpha\left(x + R_{пк} + R_o\right), \tag{2.2}$$

де m – потужність пласта, м; x – глибина зони зруйнованого вугілля над крайовою

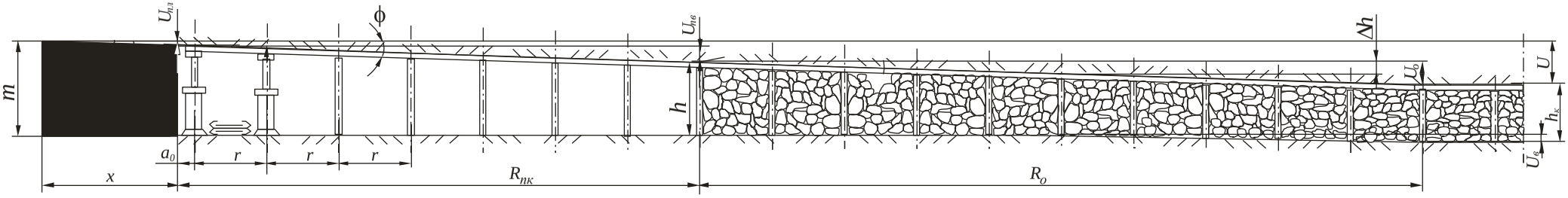


Рисунок 2.23 – Розрахункова схема щодо визначення зміщень порід покрівлі на кінцевій ділянці лави та позаду неї: m– потужність пласта, м; a_0 – відстань від вугільного вибою до першого ряду стійок кріплення, м; r– відстань між рамками кріплення, м; x – глибина зони зруйнованого вугілля над крайовою частиною, м; $R_{пк}$– ширина привибійного простору, м; R_o– глибина ділянки, на якій спостерігаються усадка й просідання засобу охорони, м; h– початкова висота засобу охорони, м; $h_к$– кінцева висота засобу охорони після його усадки та просідання, м; $U_{пл.}$– зміщення порід покрівлі на кромці пласта, м; $U_{пв}$– максимальні зміщення порід покрівлі у привибійному просторі, м; Δh– величина усадки засобу охорони, м; $U_в$– величина просідання засобу охорони, м; U_o– загальні зміщення покрівлі за рахунок усадки та просідання засобу охорони, м; U– сумарні зміщення порід покрівлі на ділянці від точки, в якій вугілля знаходиться в стані граничної рівноваги, до місця, де відбудеться стабілізація зсувів, м; ϕ – кут осідання привибійного кріплення, град.

частиною, м; $R_{пк}$– ширина привибійного простору, м; R_o– глибина ділянки, на якій спостерігаються усадка й просідання засобу охорони, м; α– розмірний коефіцієнт зближення бічних порід (приймається відповідно до категорії порід основної покрівлі за обвалюваністю за класифікацією ДонВУГІ [200]: при A_1– α=0,04; A_2– α=0,025; A_3 и A_4– α=0,0015; A'_4 – α=0,05), м$^{-1}$.

Глибина зони зруйнованого вугілля x в виразі може бути визначена за формулою [200]

$$x = \frac{m}{2\lambda tg\rho_в} \ln\left[\frac{\left(q_0 - 2C_в\sqrt{\lambda}\right)tg\rho_в}{C_в\left(2\sqrt{\lambda}tg\rho_в + 1\right)} + 1\right], \qquad (2.3)$$

де γ – об'ємна вага порід покрівлі, що нависають, кН/м^3; H – глибина розробки, м; $\rho_в$ – кут внутрішнього тертя вугілля, град. ($tg\rho_в$ в залежності від ступеня метаморфізму вугілля наведено в таблиці Б.2 [200]); λ– коефіцієнт бічного розпору, од. (табл. Б.2 [200]); $C_в$ – зчеплення вугілля, кПа (табл. Б.2 [200]); q_0– величина опорного тиску, кПа, яка визначається виразом

$$q_0 = \gamma H\left(1 + 2{,}22\frac{l}{H} + 1{,}4\frac{l^2}{H^2}\right), \qquad (2.4)$$

де l– довжина консолі, що зависла над виробленим простором, м

$$l = f_{ср}\sqrt{H}\,, \qquad (2.5)$$

де $f_{ср}$ – показник питомої міцності порід, м$^{1/2}$ (залежить від межі міцності порід на розтяг, їх об'ємної ваги та ступеня метаморфізму вугілля (табл. Б.2 [200]).

Після перетворень вираз (2.3) буде мати вигляд

$$x = \frac{m}{2\lambda tg\rho_в} \ln\left[\frac{\frac{\gamma tg\rho_в}{C_в}\left(H + 2{,}22\,f_{ср}\sqrt{H} + 1{,}4\,f_{ср}^2\right) + 1}{2\sqrt{\lambda}tg\rho_в + 1}\right]. \qquad (2.6)$$

Ширина підтримуваного привибійного простору по задній стійці

кріплення визначається з виразу [200]

$$R_{пк} = a_0 + nr\,, \tag{2.7}$$

де a_0 – відстань від вугільного вибою до першого ряду стійок кріплення, м; n– кількість проходів в кріпленні; r– відстань між рамками кріплення, м.

Глибина R_o залежить від відносної сумарної усадки та просідання засобу охорони та може бути визначена виразом

$$R_o = \frac{U_o}{h}\alpha^{-1}, \tag{2.8}$$

де U_o– зміщення порід покрівлі над засобом охорони внаслідок його усадки та просідання, м; h– початкова висота засобу охорони, м.

Позначимо відносне осідання порід покрівлі показником $\xi_o=U_o/h$, тоді з виразів (2.2), (2.6)-(2.8) отримаємо

$$U = m\left(\frac{m\alpha}{2\lambda tg\rho_в}\ln\left[\frac{\frac{\gamma tg\rho_в}{C_в}\left(H + 2{,}22\,f_{ср}\sqrt{H} + 1{,}4\,f_{ср}^2\right)+1}{2\sqrt{\lambda}tg\rho_в + 1}\right] + a_0\alpha + nr\alpha + \xi_o\right). \tag{2.9}$$

У виразі (2.8) початкова висота засобу охорони може бути визначена за формулою

$$h = m\left[1 - \alpha\left(x + R_{пк}\right)\right] \tag{2.10}$$

та невідомою залишається величина зміщень U_o, оскільки до цього часу для засобів охорони враховувалась тільки їх піддатливість (усадка) та не враховувалось просідання при нестійких породах підошви. Тому необхідне проведення додаткових досліджень щодо усадки та просідань охоронних конструкцій в залежності від основних факторів, що впливають.

Не менш важливим є визначення зміщень порід покрівлі не тільки

вздовж охоронної споруди, але і по її ширині, оскільки у різних умовах використовуються різні технологічні схеми з різними засобами охорони виробок. Навантаження на засіб охорони по ширині буде нерівномірне. Про це свідчать результати досліджень, що опубліковані у роботах [144, 326]. Встановлено, що тиск на засіб охорони з боку виробленого простору більше, ніж тиск з боку виробки в 1,5-1,6 рази [326]. Це пояснюється тим, що в результаті перерозподілу напружень в масиві навколо виробки, що охороняється, формується зона руйнування з утворенням лінії відриву порід основної покрівлі з боку неторканого масиву [231] (рис. 2.24). У зв'язку з цим позаду лави навколо виробки відбувається повертання вміщуючих порід. Кут їх повороту може бути розраховано за формулою [231]

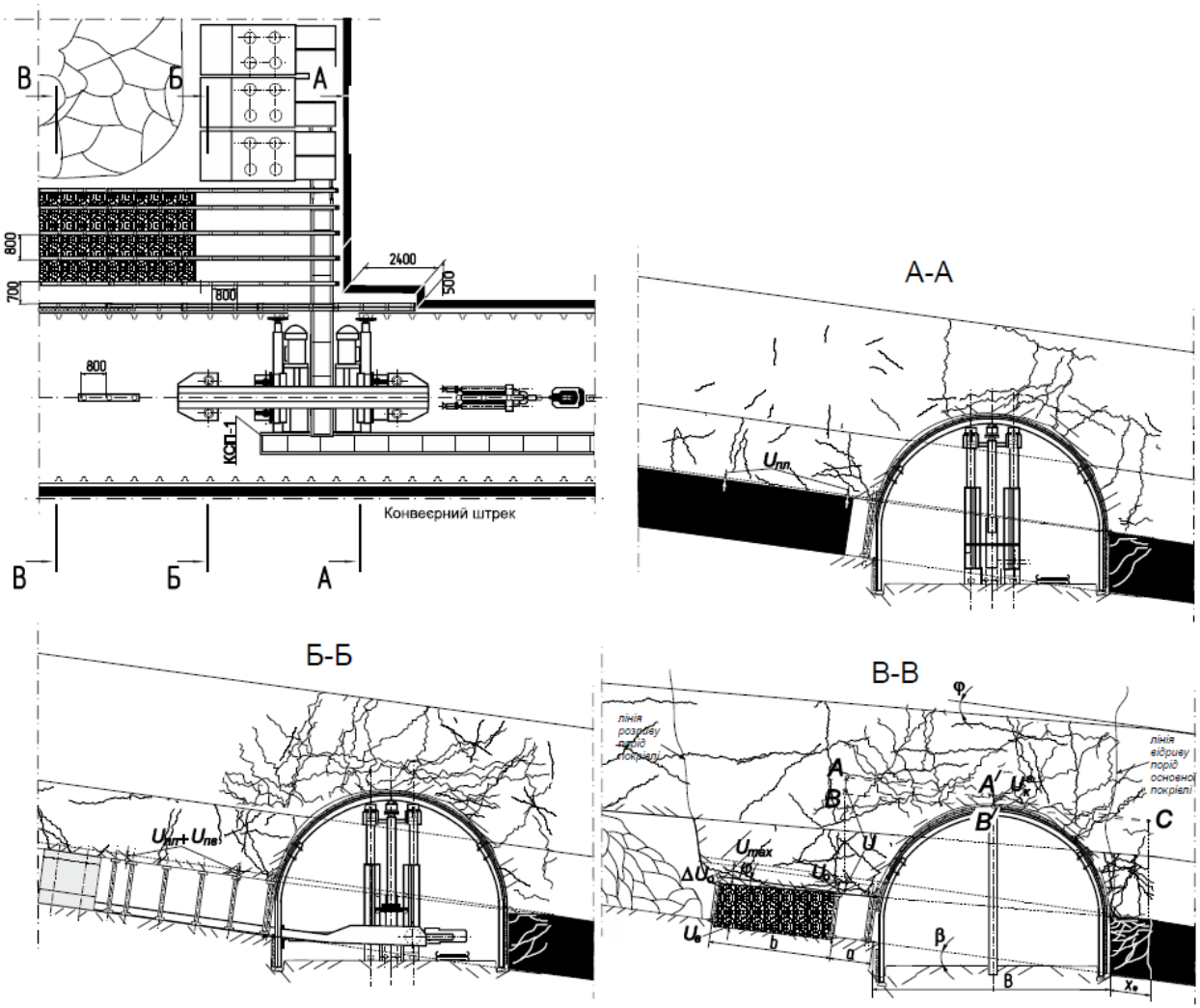


Рисунок 2.24 – Схема лави та схеми розвитку зміщень порід покрівлі на кінцевій ділянці та позаду неї

$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{m}{x_* + L}\right), \tag{2.11}$$

де x_* – довжина ділянки віджатого вугілля у боку виробки (рис. 2.24), м (приймається $x_*=(1\div2)m$); L– довжина консолі основної покрівлі, м (x_* та L визначаються експериментально. Для m=1,1÷2,1 м і L=25÷10м φ складає від 3^0 до 9^0 [231]).

Повертання породних шарів призводить до асиметричного навантаження кріплення у виробці та засобу охорони від ваги порід, що нависають. На межі з виробленим простором формується лінія розриву порід, по якій шар безпосередньої покрівлі, як правило, обвалюється майже відразу позаду основного кріплення лави (рис. 2.24). Але для порід основної покрівлі зависання можуть бути тривалі та нетривалі, в залежності від її категорій та жорсткості охоронної споруди. Розвиток лінії розриву в шарі основної покрівлі буде після того, як її породи деформують засіб охорони та увійдуть з ним у жорстку взаємодію [231]. Після цього навантаження на охоронну споруду декілька зменшуються, оскільки зменшиться вага порід, які нависають, внаслідок їх обвалення.

Таким чином, максимальне навантаження на засіб охорони буде в момент розлому шару основної покрівлі на межі з виробленим простором та їх результатом будуть максимальні зміщення порід покрівлі над охоронною спорудою. Ці зміщення з боку виробки будуть дорівнювати U_o, а з боку виробленого простору – $U_o+\Delta U_o$ або $U_o+b\text{tg}\varphi$, тому максимальні зміщення порід покрівлі над охоронною спорудою, згідно з (2.9), будуть визначатися виразом

$$U_{\max} = m\left(\ln\left[\frac{\gamma tg\rho_в}{C_в}\left(H + 2{,}22 f_{ср}\sqrt{H} + 1{,}4 f_{ср}^2\right)+1}{2\sqrt{\lambda}tg\rho_в + 1}\right]^{\frac{m\alpha}{2\lambda tg\rho_в}} + (a_0 + nr)\alpha + \xi_o + \frac{b}{h}\text{tg}\varphi\right) \tag{2.12}$$

і будуть враховувати ширину засобу охорони b. Тоді невизначеними залишаються зміщення U_o, що потребує проведення досліджень даного параметру.

На основі гіпотез В.Т. Давідянца [142], Г.Г. Литвинського та Г.І. Гайко [231] і Zhiyi Zhang [62] можна припустити, що взаємозв'язок між зміщеннями порід покрівлі над охоронною спорудою та над виробкою буде лінійним. При цьому шар основної покрівлі в результаті утворення порожнини вийманням вугільного пласту прогинається вздовж виробки під певним кутом, в залежності від категорії порід. Кут нахилу шару порід у привибійному просторі кінцевої ділянки лави вздовж виробки складає до 3° (для α=0,05 м$^{-1}$), а позаду лави – відбувається прогин під кутом до 9° у бік виробленого простору в напрямку, який перпендикулярний повздовжній осі виробки.

Оскільки залежність зміщень порід покрівлі у виробці від величини осідання порід покрівлі над засобом охорони прийнята лінійною, то з подібності трикутників АСВ і А′СВ′ (рис. 2.24) випливає $\frac{AB}{A'B'} = \frac{AC}{A'C}$. Тому $\frac{AB}{A'B'} = \frac{x_* + \frac{B}{\cos\beta} + a}{x_* + \frac{B}{2\cos\beta}}$, а оскільки $\frac{AB}{A'B'} = \frac{U}{U_к^в}$, то

$$U_к^в = \frac{U\left(x_* \cos\beta + \frac{B}{2}\right)}{B + \left(x_* + a\right)\cos\beta}, \qquad (2.13)$$

де U – зміщення порід покрівлі на брівці охоронної споруди з боку виробки, м; B – ширина виробки у проходці, м; a – відстань від кріплення виробки до засобу охорони, м; β – кут між площиною пласта та поверхнею підошви виробки (рис. 2.24), град.

Для розрахунку зміщень порід покрівлі у виробці, що охороняється, достатнє використання виразів (2.9) та (2.13), з яких випливає загальна формула

$$U_к^в = m\left(\ln\left[\frac{\gamma tg\rho_в}{C_в}\left(H + 2{,}22 f_{ср}\sqrt{H} + 1{,}4 f_{ср}^2\right) + 1 \right]^{\frac{m\alpha}{2\lambda tg\rho_в}} + (a_0 + nr)\alpha + \xi_o \right) \frac{x_* \cos\beta + 0{,}5B}{B + (x_* + a)\cos\beta}, \quad (2.14)$$

у якій невизначеним залишається відносне осідання порід покрівлі ξ_o над засобом охорони.

2.3 Визначення зміщень бічних порід навколо засобів охорони

Задачею різних засобів охорони з боку виробленого простору є забезпечення мінімальної різниці між конвергенціями порід покрівлі та підошви з обох боків виробки (відповідно, на ділянці віджатого вугілля у боку виробки та на ділянці розміщення засобу охорони). Встановлено, що для забезпечення її експлуатаційного стану конвергенція з боку вугільного масиву після проходу лави складає 10-50% від потужності пласта, а з боку виробленого простору – 30-80% [396]. Доволі широкі діапазони конвергенцій та суттєва різниця між їх значеннями з протилежних боків виробок є причиною втрати їх експлуатаційного стану.

Зміщення порід навколо засобів охорони залежать від низки параметрів, які характеризують сам засіб та вміщуючи породи. Породи покрівлі з боку виробленого простору втрачають природну опору за рахунок виймання вугільного пласта та отримують штучну, яка, як правило, менша за величиною та допускає деяку усадку на початковому етапі експлуатації. Якщо над охоронною спорудою й під нею залягають стійкі бічні породи та їм надається достатній опір, зміщення можуть бути мінімальними. У разі, якщо опір стисненню засобу охорони R_o буде меншим, ніж діючі на нього навантаження з боку покрівлі, то найбільш імовірно, що в зоні впливу опорного тиску лави, відбудеться усадка споруди на величину Δh, що спричинить послідовну

деформацію порід над ним і виробкою. Для виключення усадки засобу охорони необхідно збільшити його несучу здатність за рахунок збільшення жорсткості опори, яка характеризується модулем E_o, або збільшити площу її основи за рахунок збільшення ширини конструкції b. Збільшення жорсткості засобу охорони неминуче призведе до збільшення швидкості передачі навантаження на підстилаючі породи, які мають бути стійкі, інакше споруда зануриться в них на величину $U_в$. Тобто буде мати місце просідання засобу охорони.

Таким чином, від усадки та просідання засобу охорони залежать загальні зміщення порід покрівлі U_o (м), які нависають над ним. Величина цих зсувів визначається з виразу

$$U_o = \Delta h + U_в, \tag{2.15}$$

де Δh, $U_в$ – відповідно, величини усадки та просідання охоронної споруди в результаті дії навантаження від нависаючих порід покрівлі, м.

У безрозмірному вигляді вираз (2.15) може бути записано, як

$$\frac{U_o}{h} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{U_в}{h}, \tag{2.16}$$

або

$$\xi_o = \varepsilon_o + \vartheta_в, \tag{2.17}$$

де h– початкова висота засобу охорони, м; ξ_o – відносне осідання порід покрівлі над засобом охорони, од.; ε_o – піддатливість (усадка) засобу охорони, од.; $\vartheta_в$ – відносне вдавлювання (просідання) засобу охорони у підстилаючі породи, од.

Вдавлювання охоронної споруди у підстилаючі породи характеризується зсувами $U_в$ та є результатом дії на неї навантаження від нависаючих порід σ. Сприймаючи навантаження від порід покрівлі, охоронна споруда може повністю передавати його на породи підошви у разі, коли вона буде абсолютно жорсткою.

Якщо діючі напруження від навантаження та ваги споруди будуть меншими за опір порід, її просідання у підошву $U_в$ не відбудеться. Якщо ж величина опору порід буде менше напружень, матиме місце просідання споруди на величину $U_в$ (рис. 2.24), яке супроводжуватиметься зміщеннями покрівлі $U_о$. У випадках, коли охоронна конструкція передбачає деяку піддатливість, на початковому етапі під впливом навантаження відбуватиметься її усадка на величину Δh і, можливо, її поперечні деформації на величину Δb, а після вичерпання піддатливості – спостерігатиметься часткова передача зусиль на підстилаючі породи.

У результаті ведення гірничих робіт з перерозподілом напружень порушується монолітність гірського масиву, розвивається тріщинуватість та бічні породи поступово руйнуються [136]. Масив зазнає деформацій у результаті проведення виробки, ведення очисних робіт і до моменту спорудження засобу охорони навколишні породи вже частково деформовані внаслідок розвитку зони зруйнованих порід навколо виробки. Вони будуть деформуватися й після спорудження засобу. Не рідкісні випадки зволоження бічних порід внаслідок припливу води. Тобто в результаті ведення робіт відбувається штучна зміна механічних характеристик навколишнього масиву й охоронних конструкцій в залежності від технічних і природних чинників. Тому для вирішення поставлених задач, неможливо безпосередньо застосувати положення механіки суцільних середовищ. Але, якщо реальний породний тріщинуватий масив замінити еквівалентним за деформуванням суцільним, можна буде оцінювати рівень напружено-деформованого стану породного масиву навколо гірничої виробки [174, 320]. Тоді еквівалентний масив гірських порід наділяється наведеним модулем деформації, а значення модуля деформації підбирається таким чином, щоб переміщення на контакті поверхні породного масиву та підземної споруди було однаковим для реального й еквівалентного масиву [174]. Такий підхід може бути застосований не лише до породного масиву, але й до охоронних конструкцій.

Модулі деформації $E_о$ і коефіцієнти поперечних деформацій бічних

порід μ й охоронних споруд можуть змінюватися в залежності від виду деформацій, величини та швидкості їх навантаження, пористості, тріщинуватості та вологості порід, а також крупності частинок зруйнованих порід. Дослідженню даних закономірностей присвячена безліч наукових робіт і встановлено, що: зі зростанням навантаження модуль деформації гірської породи зростає [317, 325], а μ– зменшується [325]; при зволоженні порід модуль E_o зменшується [34, 352, 397], а коефіцієнт μ – практично не змінюється [352] або незначно збільшується [34]; при збільшенні пористості матеріалу коефіцієнт Пуассона зменшується [134] також, як і модуль [381, 389]; при збільшенні крупності роздробленої гірської породи, що складає конструкцію, модуль збільшується [389]; збільшення тріщинуватості масиву веде до зниження модуля [79, 174, 320]. Таким чином, внаслідок наявності всіх чинників у породному масиві, що знаходиться поблизу від виробки, модуль загальної деформації породних шарів буде суттєво меншим, ніж на значній відстані від неї, де він буде дорівнювати умовно-миттєвому модулю деформації, який ототожнюють з модулем пружності. Співвідношення цих характеристик показане параметром ξ, який визначається виразом [305]

$$\xi = \frac{E^*}{E} \tag{2.18}$$

де E^* та E – відповідно модуль деформації в позамежному стані та модуль пружності.

Зворотнім параметру ξ з виразу (2.18) є показник втрати пружності гірською породою, який показує відношення E/E^* [225]. За результатами випробувань зразків встановлено, що цей показник для вугілля варіює в межах 3…6.

Руппенейтом К.В. при вивченні впливу хаотичної тріщинуватості на деформованість порід запропоновано вираз щодо визначення модуля деформації порушеного масиву гірських порід E_n з урахуванням модуля його

деформації в непорушеному стані E та тріщинуватості, який має вигляд [320]

$$E_n = \frac{E}{1+\frac{5}{8}n^*\frac{\overline{\delta}}{\xi^*\overline{h}}}, \tag{2.19}$$

де n^*– число систем тріщин; $\overline{\delta}$ – середня ширина розкриття тріщин, м; ξ^* – безрозмірна площа скальних контактів; $\overline{h}$ – середня відстань між суміжними тріщинами, м.

У роботі [238] встановлена кількісна залежність модуля загальної деформації E_o породного масиву від модуля пружності порід E, яка має вигляд

$$E_o = 0{,}17E \quad . \tag{2.20}$$

З результатів досліджень [238, 320, 225] випливає, що модуль деформації порід у позамежному стані у декілька разів менший за модуль деформації у домежному стані в залежності від ступеня їх порушеності. Крім того, у праці [320] стверджується, що при дуже великому числі систем тріщин скальний масив перетворюється у ізотропне сипке середовище, яке може розглядатися як граничний випадок масиву гірських порід, коли має місце хаотична тріщинуватість. Саме наявність тріщин та відкритих пор у зруйнованих породах впливає на формування напруженого стану. Така поведінка робить їх подібними ґрунтовим масивам, які є частиною масиву гірських порід і їх поведінка значною мірою залежить від пористості. Оскільки осадкові породи, якими представлений масив, за характеристиками відносяться до скальних та напівскальних ґрунтів [152], зруйновані породи близькі до ґрунтів, то у дослідженні можна використовувати деякі положення механіки ґрунтів, зокрема, при дослідженні процесу видавлювання порід з-під штампів, що було доведено нами у роботі [192]. При цьому механізм осідання охоронної споруди може буде аналогічний механізму осідання фундаменту.

У даному дослідженні механізм осідання засобу охорони відносно

підстилаючих порід ототожнюється з механізмом осідання штампу, оскільки врахування деяких факторів (параметри виробки, відстань засобу охорони до виробки, потужності, міцності та кількість шарів порід покрівлі) значно усклюднює вирішення поставленої задачі. Зміна вищезазначених факторів впливає на величину навантаження з боку порід покрівлі на засіб охорони. Тому можна абстрагуватися від цих факторів і їх вплив замінити діючим навантаженням. Такий підхід використовується при випробуваннях охоронних конструкцій [45], визначені параметрів ціликів [16, 56] та їх впливу на підстилаючі породи [25, 64].

Просідання охоронної споруди має місце в результаті дії на неї навантаження, але на початковому етапі воно буде незначним, оскільки підстилаючі породи мають деяку початкову міцність структурних зв'язків (рис. 2.25 а). Після того, як величина навантаження перевищить цю міцність, буде спостерігатися процес ущільнення порід під засобом охорони. На цьому етапі, подібно ґрунтам [384], залежність усадки від навантаження буде близькою до лінійної (рис. 2.25 б). Після ущільнення порід і подальшого збільшення критичного навантаження від початкового до граничного відбуваються зсувні деформації, результатом яких є просідання підстилаючих порід і їх видавлювання з-під споруди (рис. 2.25 в). На цьому етапі залежність між стискаючими напруженнями та загальними деформаціями нелінійна. Подальше збільшення навантаження, яке перевищує граничне критичне, призведе до втрати стійкості підошви.

У загальному випадку залежність між загальними відносними деформаціями та напруженнями, по аналогії з осадкою ґрунтів, може бути описана степеневим законом [384]

$$\frac{U_в}{h_п} = \beta' \frac{\sigma_o^к}{E_п}, \qquad (2.21)$$

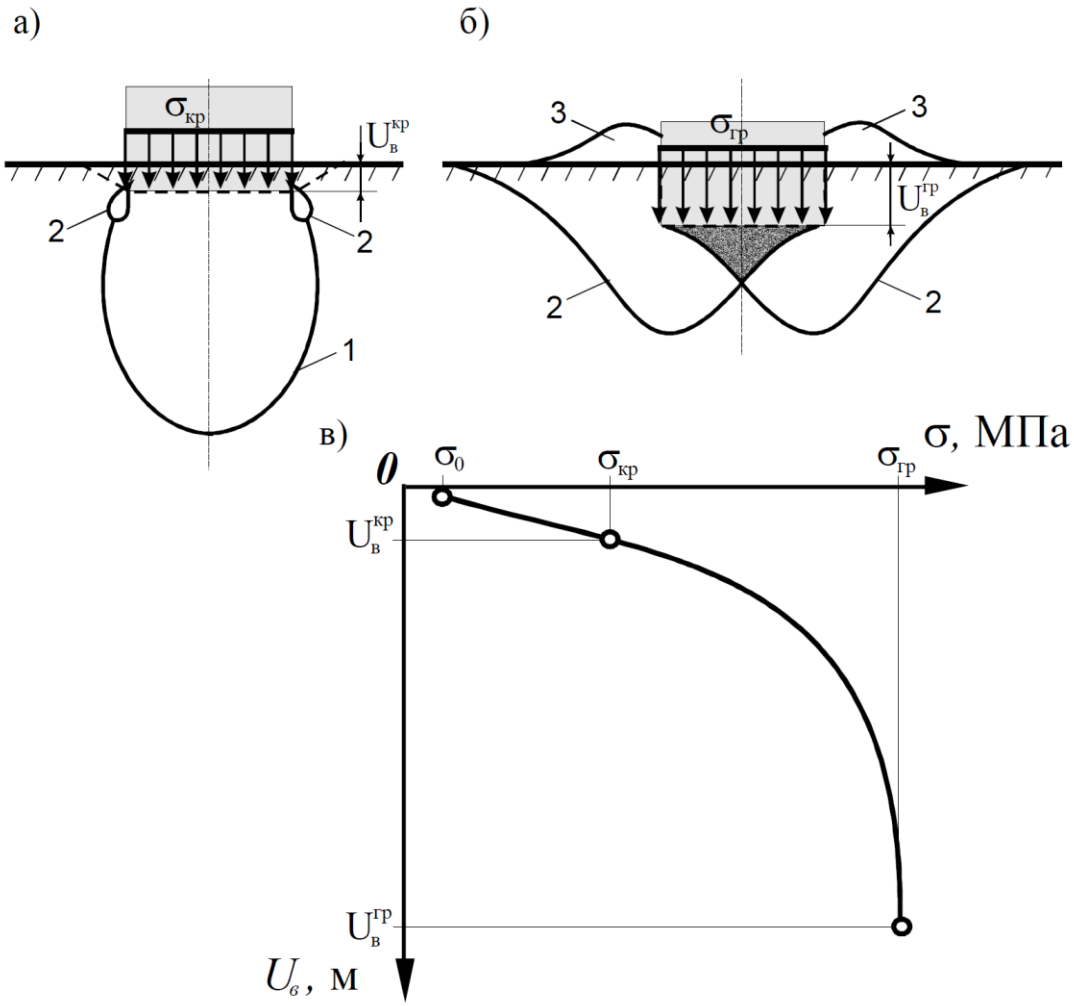


Рисунок 2.25 – Схеми розвитку зон граничної рівноваги в підстилаючих породах під засобом охорони у результаті дії різних навантажень (а і б) і залежність просідання охоронної конструкції $U_в$ від напружень σ (в) (σ_0– напруження, що не перевершують початкової міцності структурних зв'язків породи; $\sigma_{кр}$, $\sigma_{гр}$– напруження, обумовлені, відповідно, початковим і граничним критичними навантаженнями; 1- межа зони ущільнення; 2 - межі зон граничної рівноваги; 3 - вали видавлювання порід підошви), які прийняті на основі механізму вдавлювання фундаменту в ґрунт [384]

де h_n– потужність шару безпосередньої підошви, який схильний до впливу навантаження від охоронної споруди, м; E_n – модуль загальної деформації цього шару, МПа; σ_o – напруження, що виникають на контакті засобу охорони та підстилаючих порід від дії навантаження, МПа; κ – параметр нелінійності; β' – коефіцієнт, що характеризує бічне розширення порід, який залежить від коефіцієнта відносної поперечної деформації μ_n і визначається виразом [384]

$$\beta' = 1 - \frac{2\mu_n^2}{1-\mu_n}. \tag{2.22}$$

Тоді з виразів (2.21), (2.22) випливає

$$\frac{U_в}{h_n} = \left(1 - \frac{2\mu_n^2}{1-\mu_n}\right)\frac{\sigma_o^\kappa}{E_n}. \tag{2.23}$$

Цей вираз можна подати, як

$$\frac{U_в}{h_n} = m_v \sigma_o^\kappa, \tag{2.24}$$

де m_v– коефіцієнт відносної стисливості порід, МПа$^{-1}$, який визначається виразом [384]

$$m_v = \left(1 - \frac{2\mu_n^2}{1-\mu_n}\right) \Big/ E_n. \tag{2.25}$$

Вираз (2.24), незважаючи на свою простоту, складно застосувати на практиці через недослідженість параметру κ. Окрім характеристики стисливості порід і величини прикладеного навантаження, при визначенні просідання необхідне врахування ширини охоронної споруди, оскільки від неї залежить глибина стиснення підстилаючих порід. Також невизначеним для конкретних умов залишається фактор σ_o, оскільки він є результатом передачі

навантаження від нависаючих порід покрівлі σ через демпфуючу охоронну споруду та залежить від параметрів цієї споруди та характеристик підстилаючих порід підошви. Крім того, результатом дії навантаження на охоронну споруду є її піддатливість, що вказує на необхідність спільного дослідження параметрів σ_o, U_o та $U_в$ [287].

Прояви опорного тиску на породи, що підстилають, залежать від багатьох факторів, до яких відносяться будова та фізико-механічні властивості порід міжпластя, кут падіння пласту, особливості системи розробки, спосіб управління покрівлею, швидкість посування лави [112]. Але врахувати всі ці фактори доволі складно. Тому необхідно передбачати певні допуски та використовувати усереднені дані щодо оцінки впливу концентратора тиску (засобу охорони) на породи підошви [112]. Обмежимося параметрами, які мають змінюватись в моделі для встановлення функціональної залежності: величина навантаження, жорсткість охоронної споруди, її вага, ширина та висота, а також показник, що характеризує стискуваність порід підошви.

У загальному вигляді залежність напружень від дії навантаження з боку засобу охорони на породи підошви σ_o (МПа) від факторів, що впливають, може мати вигляд

$$\sigma_o = f(\sigma; h; b; \Delta h; E_o; q; \Delta b; m_v; h_n), \qquad (2.26)$$

де σ – напруження від дії навантаження на засіб охорони, МПа; h та b– початкові, відповідно, висота та ширина засобу охорони, м; Δh– величина усадки засобу охорони, м; E_o – модуль загальної деформації засобу охорони, МПа; q – тиск, який сприймають породи підошви від ваги охоронної споруди, МПа; Δb– поперечна деформація засобу охорони, м; m_v– коефіцієнт відносної стисливості порід, МПа$^{-1}$; h_n– потужність шару безпосередньої підошви, м.

Проаналізуємо дані залежності та встановимо значущі чинники. Для цього скористаємося π-теоремою, відповідно до якої при n залежних параметрах

з k незалежними розмірностями може бути визначено кількість безрозмірних величин $p=n-k$ [163]. Тоді при числі параметрів $n=10$ і числі незалежних розмірностей $k=3$ з функції (2.26) отримаємо $p=7$ безрозмірних критеріїв.

Таким чином, відповідно до [163, 166], можна скласти наступні незалежні безрозмірні комбінації:

$$\frac{\sigma_o}{\sigma};\frac{\Delta h}{h};\frac{b}{h};\frac{q}{\sigma};\frac{\Delta b}{\Delta h};m_v E_o;\frac{h_n}{b},$$

у яких порядки дорівнюватимуть:

$$\frac{\sigma_o}{\sigma}\approx 10^0;\frac{\Delta h}{h}\approx 10^{-1};\frac{b}{h}\approx 10^0;\frac{q}{\sigma}\approx 10^{-3};\frac{\Delta b}{\Delta h}\approx 10^{-1};m_v E_o\approx 10^{-1};\frac{h_n}{b}\approx 10^0.$$

Отримаємо функцію

$$\frac{\sigma_o}{\sigma}=\Phi\left(\frac{\Delta h}{h};\frac{b}{h};\frac{q}{\sigma};\frac{\Delta b}{\Delta h};m_v E_o;\frac{h_n}{b}\right), \qquad (2.27)$$

яку розкладемо в ряд Маклорена [163] за найменшим параметром q/σ. Тоді

$$\frac{\sigma_o}{\sigma}=f\left(\frac{\Delta h}{h};\frac{b}{h};0;\frac{\Delta b}{\Delta h};m_v E_o;\frac{h_n}{b}\right)+f'\left(\frac{\Delta h}{h};\frac{b}{h};0;\frac{\Delta b}{\Delta h};m_v E_o;\frac{h_n}{b}\right)\frac{q}{\sigma}+\ldots, \qquad (2.28)$$

де другий член у 10^3 разів менше, ніж перший, тому вагою охоронної конструкції можна знехтувати. Отримаємо

$$\sigma_o = f(\sigma;h;b;\Delta h;E_o;\Delta b;m_v;h_n), \qquad (2.29)$$

але оскільки $\mu_o=\dfrac{\Delta b/b}{\Delta h/h}$ залежність у безрозмірному вигляді може бути записана, як

$$\frac{\sigma_o}{\sigma}=\Phi\left(\frac{\Delta h}{h};\frac{b}{h};\mu_o;m_v E_o;\frac{h_n}{b}\right). \qquad (2.30)$$

Аналогічно отримаємо залежності загальних зміщень порід покрівлі над засобом охорони U_o та його просідання $U_в$ від факторів, які мають вигляд, відповідно:

$$\frac{U_o}{h} = \varepsilon_o = \Phi\left(\frac{\sigma}{E_o}; \frac{b}{h}; \mu_o; m_v E_o; \frac{h_n}{b}\right) \qquad (2.31)$$

та $$\frac{U_в}{h_n} = \Phi\left(\sigma_o m_v\right). \qquad (2.32)$$

Залежності (2.30)–(2.32) представлені міцністними та деформаційними характеристиками засобу охорони та шару підстилаючих порід підошви, а також їх геометричними параметрами, які можуть змінюватись у широких діапазонах. Не виключенням є характеристики слабких бічних порід. Наприклад, в умовах Західного Донбасу для різних порід модуль деформації змінюється у доволі широкому діапазоні від 360 МПа до 27400 МПа [374], причому найменша величина відноситься до аргілітів Новомосковського району, а найбільша – до пісковика Павлоградсько-Петропавлівського. Коефіцієнт поперечних деформацій у цих умовах змінюється від 0,12 до 0,44. У роботі [394] вказується, що у слабких та схильних до здимання породах модуль деформації змінюється від 25 до 1000 МПа.

Незважаючи на мінливість характеристик та параметрів, які входять до функцій (2.30)-(2.32), вони мають обмежене число аргументів, що дозволяє перейти до встановлення функціональних залежностей на основі результатів фізичного та (або) чисельного моделювань.

У цих функціях більшість незалежних змінних є відомими величинами, за винятком навантаження на засіб охорони σ, яке залежить від безлічі факторів, які складно врахувати в повній мірі. Визначенню навантаження на різні охоронні споруди присвячено роботи [73, 87, 106, 121, 179, 244, 308, 347, 363, 364]. Їх результати показують суперечливі результати, оскільки величини навантажень на засоби охорони практично однакової ширини за різними даними коливаються від 0,15 до 15 МН/м, а в ряді робіт вказується, що на контакті засобів охорони та прилеглих бічних порід виникають стискаючі напруження до 25-60 МПа [165, 191, 308, 322, 336]. Досить широкий діапазон

не дозволяє виявити найбільш прийнятну методику розрахунку навантаження σ для певних умов.

Великий розкид значень пояснюється тим, що вони визначалися для різних етапів охорони виробки по відношенню до очисного вибою. Можливо, максимальні значення відповідають умовам, коли засіб охорони знаходився у зоні впливу тимчасового опорного тиску, найменші - в зоні сталого гірського тиску. Але це припущення вимагає підтвердження.

Визначити навантаження на охоронну конструкцію можливо на підставі чисельних розрахунків [282]. При цьому вихідними даними необхідно прийняти результати натурних вимірювань зсувів порід навколо охоронної споруди. Зокрема, можна скористатися результатами досліджень в умовах пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», представлених в підрозділі 2.1.

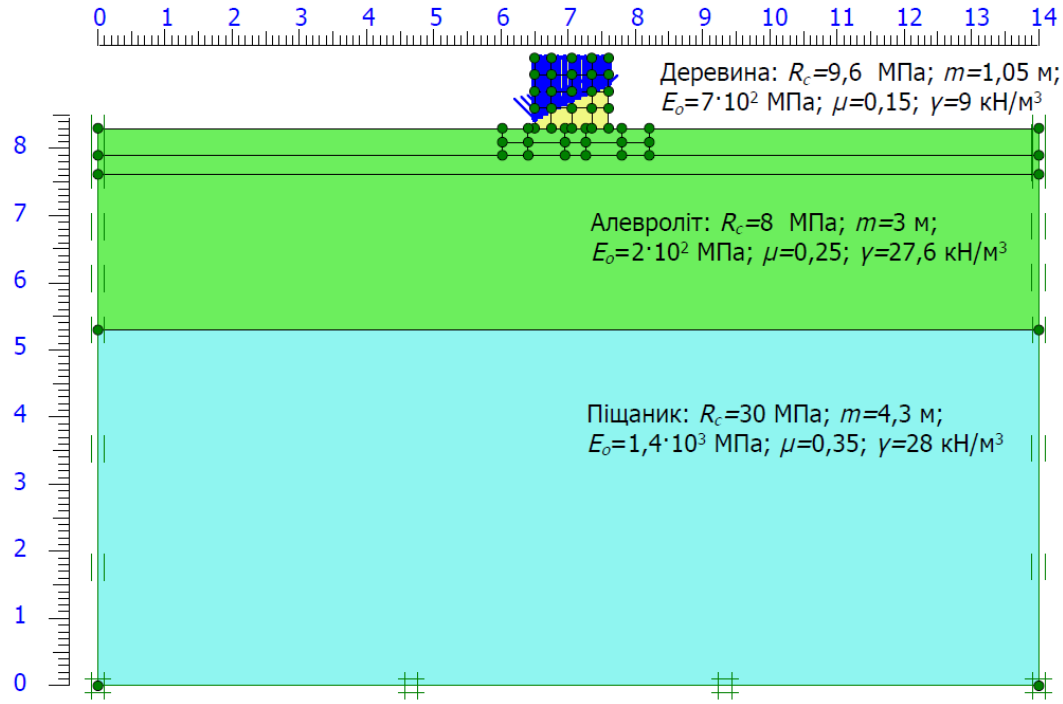
Для вирішення поставленого завдання використовувався програмний комплекс PLAXIS 2D. Задача вирішувалась у плоскій постановці, оскільки охоронна споруда та масив під нею витягнуті у плані та напруження розподіляються в одній площині. Було побудовано геометричну модель одиничною товщиною, яка складалася з шарів порід безпосередньої та основної підошви, над якими розташовувався засіб охорони з деревини (рис. 2.26 а).

Для реалізації нелінійного характеру деформування масиву використано пружно-пластичну модель Мора-Кулона [330]. Оскільки визначалося навантаження на засіб охорони, було прийнято режим заданих зміщень.

Основними фізико-механічними характеристиками матеріалу, що задаються у PLAXIS 2D, є кут внутрішнього тертя, зчеплення, питома вага, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона та кут ділатансії. Врахування міцності порід опосередковано передбачене використанням формули [4, 16, 308]

$$C = 0{,}5R\frac{1-\sin\rho}{\cos\rho}, \qquad (2.33)$$

а)



б)

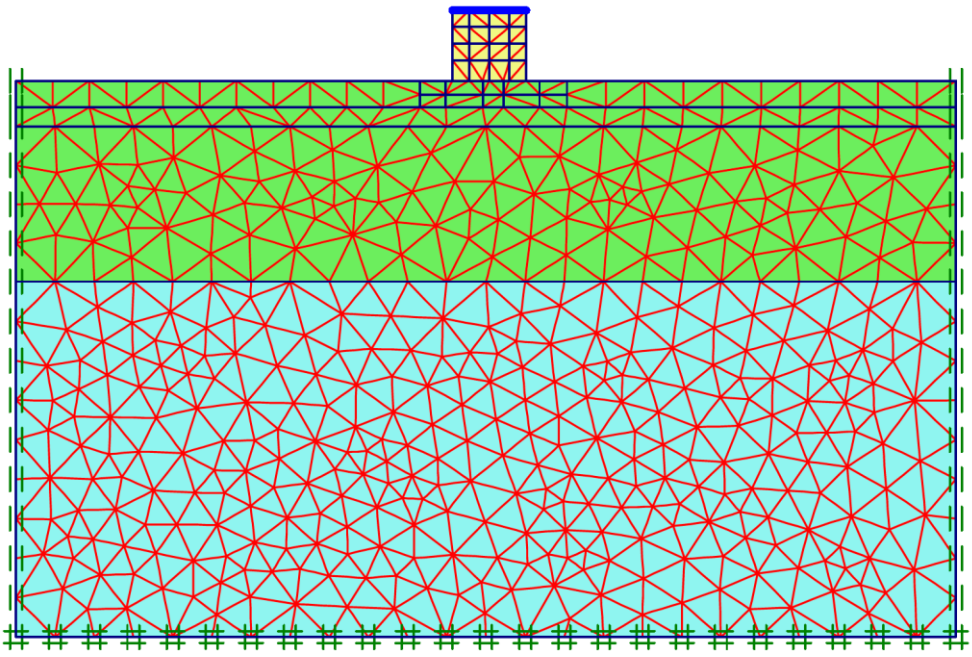


Рисунок 2.26 – Геометрична модель у вікні введення даних (а) та сітка скінченних елементів (б) (R_c– міцність на стиск; m– потужність шару; E_o– модуль загальної деформації; μ– коефіцієнт поперечних деформацій; γ– об’ємна вага)

де C – зчеплення порід, МПа; R– опір порід одновісному стисканню, МПа; ρ – кут внутрішнього тертя порід, град.

З цієї формули після перетворень випливає вираз

$$R = \frac{2C}{tg\left(45° - \frac{\rho}{2}\right)}, \tag{2.34}$$

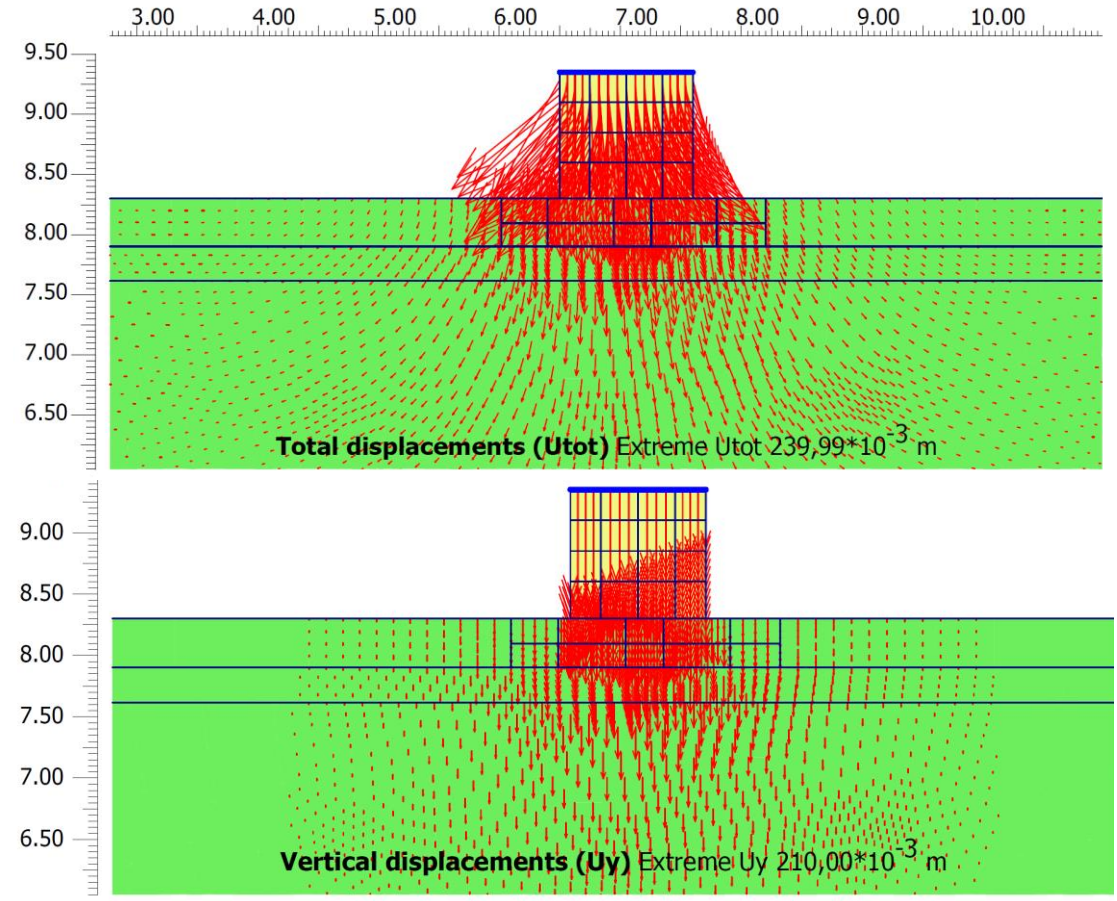
за яким можна визначити міцність порід.

Охорона виробки здійснювалась накатними кострами шириною b, що дорівнювала 1,1 м. Максимальні зміщення порід покрівлі над охоронною спорудою U_{max} склали 25% від початкової висоти споруди та дорівнювали 0,21 м та реалізовувались по верхньому майданчику засобу охорони з лівого боку, який відносився до виробленого простору. З протилежного боку (правого), що межує з виробкою, зміщення визначалися як [U_{max}–$b$tgφ] та склали 0,09 м.

Для вирішення задачі, враховуючи граничні умови та параметри охоронних споруд, були прийняті такі розміри породного об’єму: висота – 8,3 м, ширина – 14 м.

Відпрацювання скінчено-елементної моделі (рис. 2.27 б), дозволило отримати результати (рис. 2.27-2.29), які вказали на те, що в таких умовах охоронні споруди вдавлюються у породи підошви. Були визначені напруження в охоронній конструкції та породах підошви, а також напруження на верхньому майданчику засобу охорони, які є результатом дії шуканого навантаження (рис. 2.29). З моделювання випливає, що для умов конвеєрного хідника 11 західної лави пласта c_{18} при охороні його дерев’яними накатними кострами на контакті засобів охорони та порід покрівлі виникають вертикальні напруження від 8,4 до 25,2 МПа (в середньому 16,8 МПа). Ці напруження у 1,5 рази перевищують напруження γH, які мають місце у неторканому масиві та є результатом дії навантаження на засіб охорони, яке дорівнює 15,4 МН/м, та є результатом

а)



б)

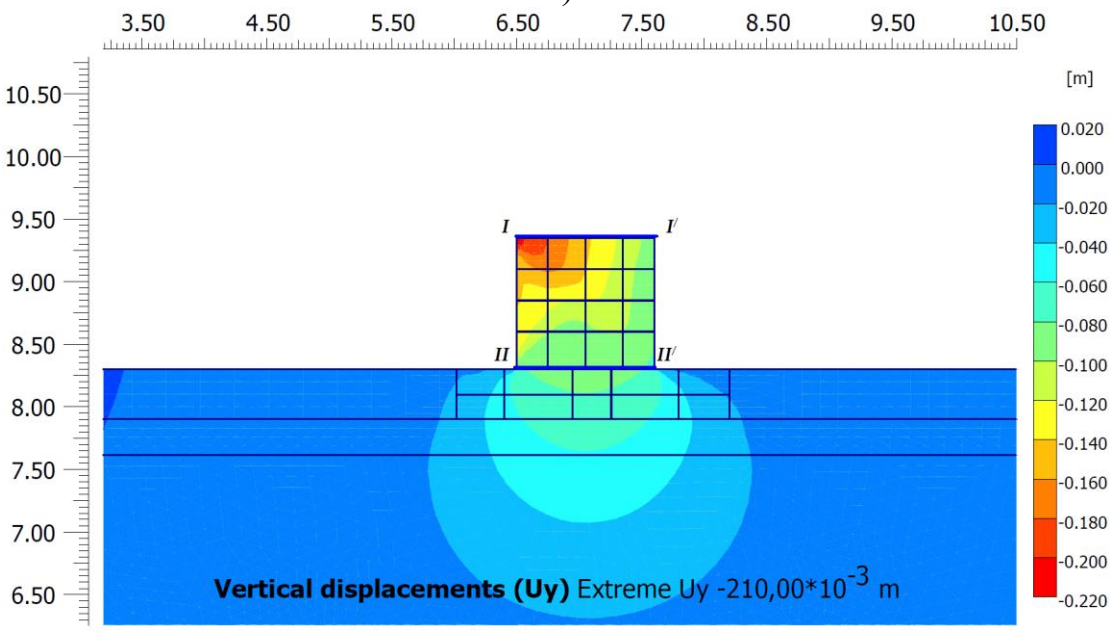


Рисунок 2.27 – Результати розрахунку загальних зміщень в охоронній конструкції та породах підошви за результатами чисельного моделювання (а- розподіл векторів зміщень, б- розподіл ізоліній зміщень)

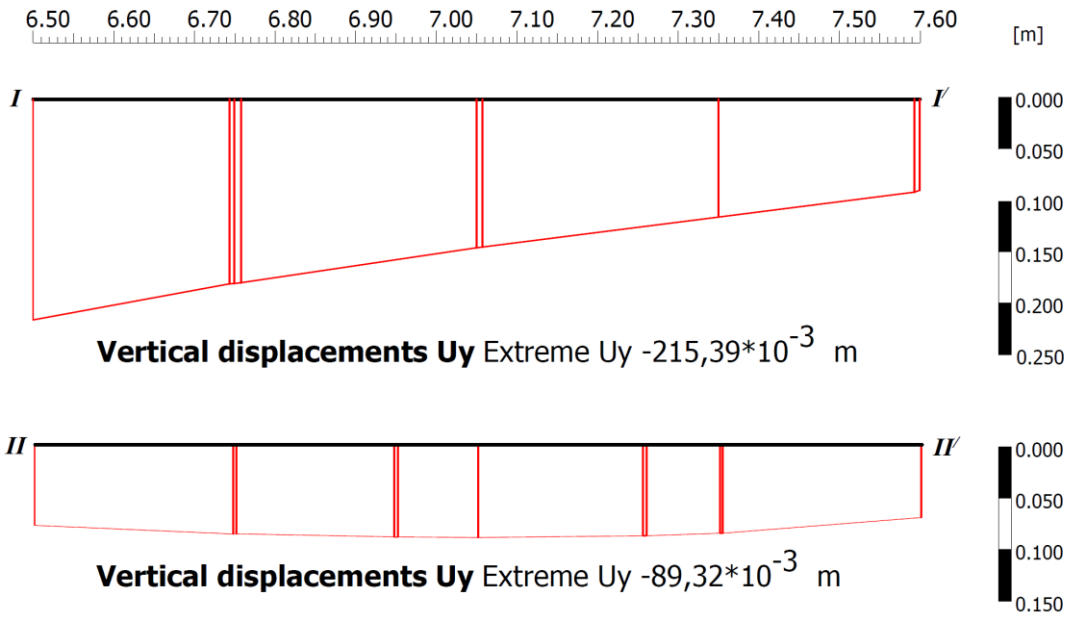
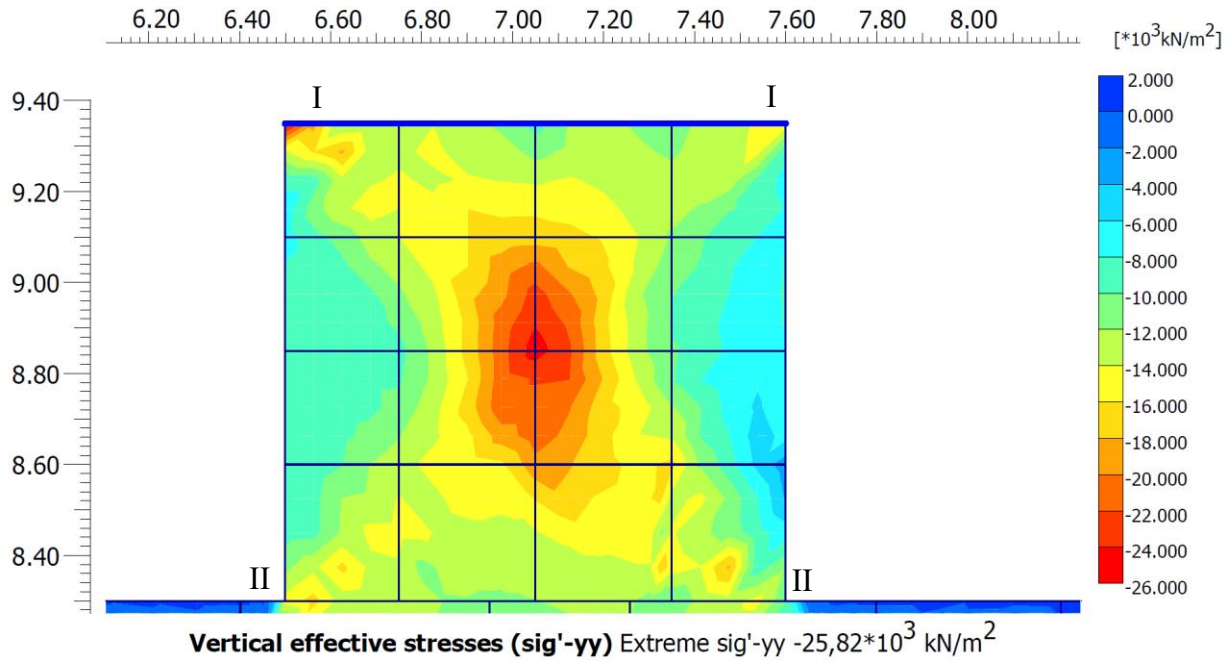


Рисунок 2.28 – Розподіл вертикальних зміщень по лініям I-I′ та II-II′ (див. рис. 2.28)

значних просідань та усадки охоронної конструкції. Це узгоджується з результатами робіт [155], [154] і [353], де вказується, що напруження в зоні опорного тиску складають (1,1...1,5)γH. У дослідженні [146] вказується, що при охороні залізобетонними тумбами в залежності від класу порід покрівлі навантаження на тумби будуть (1,0...1,3)γH, а в [87, 387] – взагалі вказується, що напруження над охоронними спорудами будуть у діапазоні від 1,0γH до 2γH, в залежності від жорсткості споруди, причому найбільш жорсткій відповідає найбільше значення напружень. Тому, в подальших розрахунках, напруження на контакті порід покрівлі та засобу охорони в зоні впливу очисних робіт у плоскій задачі можна приймати в межах діапазону (1,1...1,5)γH [282].

Однією з головних задач дисертаційного дослідження є правильний вибір гірничо-геологічних умов, при яких може бути отримана найбільш повна і якісна інформація про досліджуваний процес. В умовах перспективних районів Донбасу, про які згадувалося раніше, породи безпосередньої покрівлі та підошви відносяться переважно до слабких, тому за базові прийнято умови шахт Південного та Західного Донбасу. Відносно цих умов планується

а)



б)

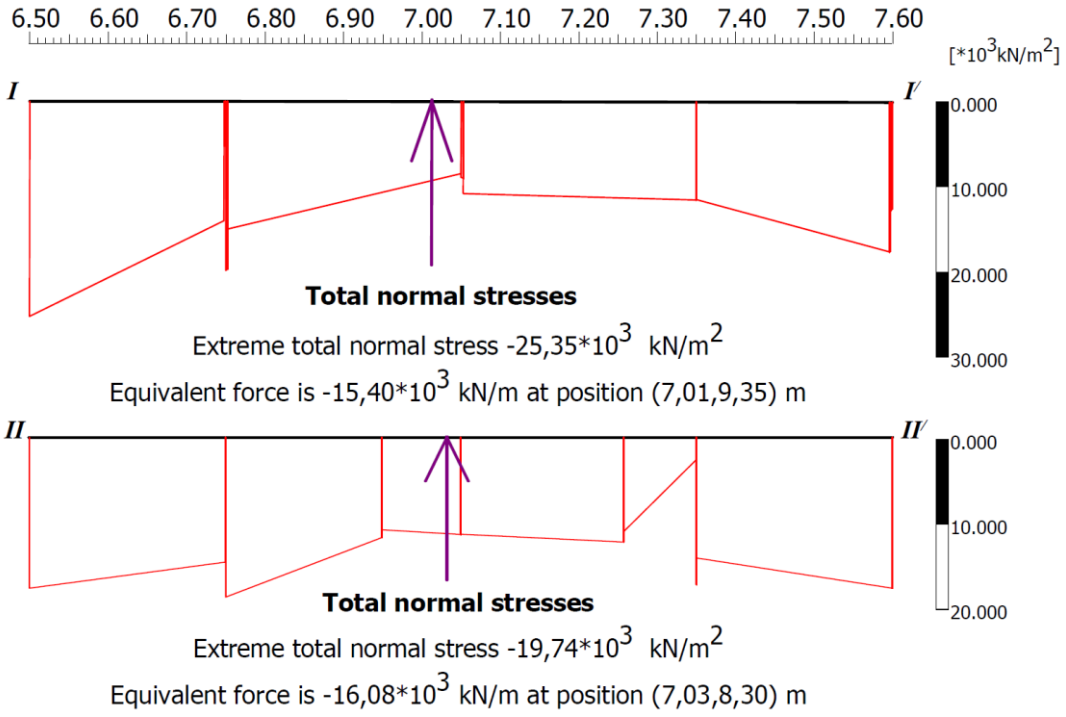


Рисунок 2.29 – Результати розрахунку вертикальних зміщень та напружень в охоронній конструкції за результатами чисельного моделювання (а - розподіл ізоліній напружень, б - епюри напружень на контактах по лініям I-I′ та II-II′)

розглянути різні параметри та комбінації міцністних характеристик підстилаючих порід і охоронних конструкцій (рис. 2.30).

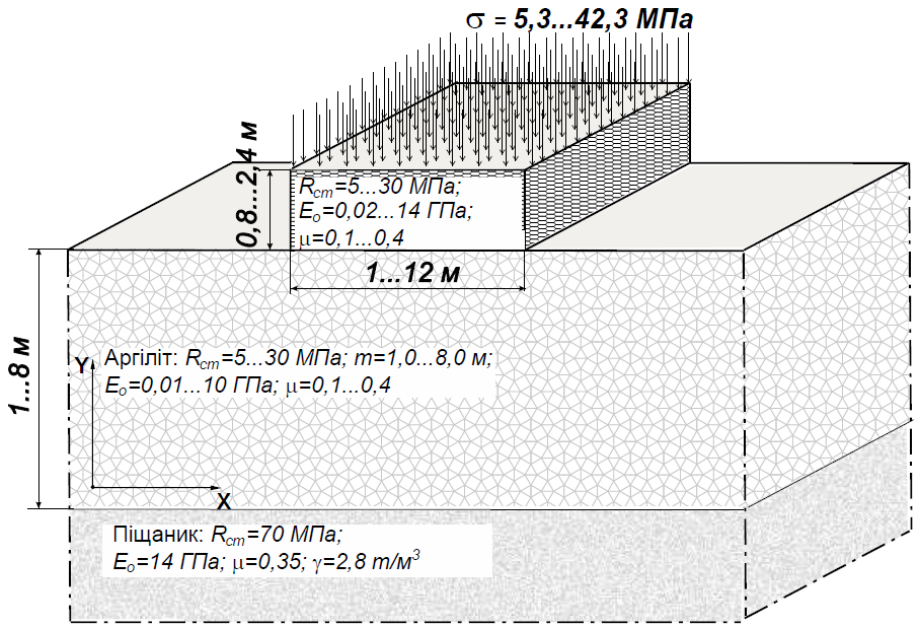


Рисунок 2.30 – Схема розташування стрічкового засобу охорони на масиві порід підошви (R_{cm}– міцність на стиск; m– потужність шару; E_o– модуль пружності або загальної деформації; μ– коефіцієнт поперечних деформацій; γ– об'ємна вага)

Для отримання кореляційних залежностей на основі виразів (2.30)-(2.32) було проведено чисельне моделювання з використанням програмного комплексу PLAXIS 2D. Для цього було розглянуто геометричну модель, яка складалася з шарів порід безпосередньої й основної підошви та засобу охорони (рис. 2.31). На засіб охорони прикладалося рівномірно розподілене навантаження.

Оскільки при моделюванні досліджувався вплив геометричних параметрів і фізико-механічних характеристик засобу охорони та порід безпосередньої підошви, то вони мали змінюватись в певних діапазонах: потужність шару безпосередньої підошви змінювалась від 1 до 8 м; висота охоронної споруди – від 0,8 до 2,5 м, що відповідає потужностям пластів, які

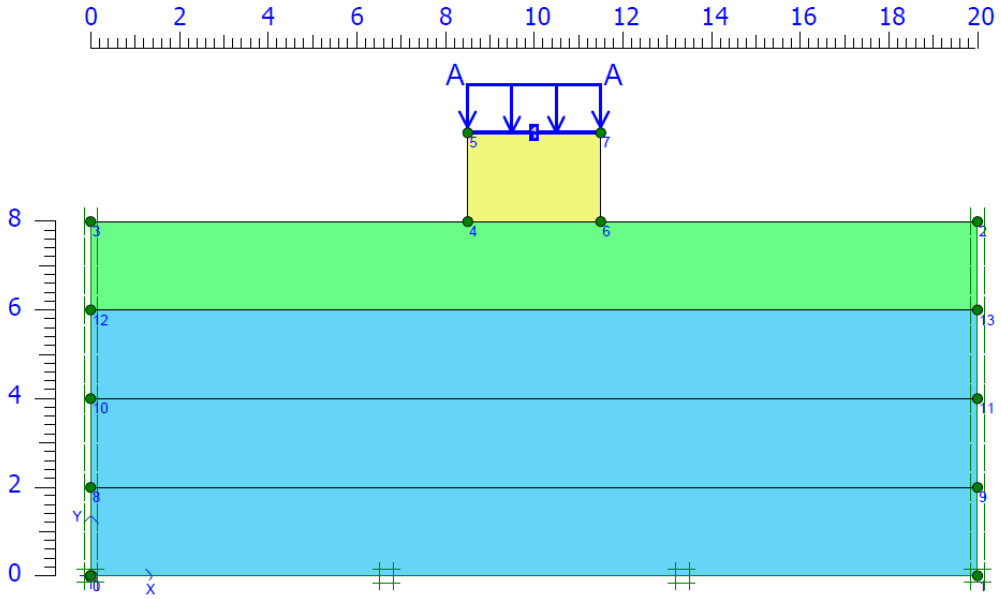


Рисунок 2.31 – Геометрична модель стрічкового засобу охорони, що розташований на масиві порід підошви

розробляються на Донбасі; ширину охоронної споруди прийнято від 1 до 12 м. Мінімальне значення ширини споруди відповідає мінімально допустимій ширині литої смуги, а максимальне – восьмикратній висоті бутової смуги (для потужності пласта 1,5 м). Значення модуля E_o та коефіцієнта μ_o приймалися у діапазонах, що відповідали характеристикам від бутової до литої смуг, а E_n та μ_n – у діапазоні від характеристик зруйнованих та обводнених порід до пісковика в незайманому масиві.

Напруження на контакті порід покрівлі та засобу охорони прийнято в умовах шахт Донбасу від $1{,}1\gamma_{min}H_{min}$ до $1{,}5\gamma_{max}H_{max}$ (де: γ_{min} =2,45 т/м^3, H_{min}= 200 м; γ_{max}= 2,89 т/м^3; H_{max}=1000 м), що склало від 5,3 до 42,3 МПа.

Була використана пружно-пластична модель Мора-Кулона (Mohr-Coulomb Model) [330], а оскільки визначалося навантаження на засіб охорони, було прийнято режим заданих навантажень.

Діапазони зміни деяких фізико-механічних характеристик та потужностей породних шарів суттєві, тому мала бути велика кількість їх комбінацій. Це декілька ускладнило пошук необхідних закономірностей, тому

для зменшення обсягу обчислень зі збереженням репрезентативності результатів представлено ці діапазони окремими значеннями (табл. 2.1) та складено план експерименту з використанням методу планування експерименту – латинські куби [311].

Оскільки розглядалося вісім факторів з п'ятьма значеннями (табл. 2.1),

Таблиця 2.1

Параметри та їх значення, прийняті для дослідження деформаційних процесів в охоронних спорудах та підстилаючих породах

№ п/п	Найменування показників (позначення показника у плані експерименту)	Значення показників за порядковими номерами				
		I	II	III	IV	V
1	Напруження на контакті порід покрівлі та засобу охорони (σ), МПа	5,3	14,5	23,8	33,0	42,3
2	Модуль загальної деформації для засобу охорони (E_o), МПа	200	3000	6000	10000	14000
3	Ширина засобу охорони (b), м	1	3	6	9	12
4	Висота засобу охорони (h,) м	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
5	Коефіцієнт поперечних деформацій засобу охорони (μ_o), од.	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4
6	Коефіцієнта відносної поперечної деформації порід підошви (μ_n), од.	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4
7	Модуль загальної деформації порід підошви (E_n), МПа	100	500	1000	5000	10000
8	Потужність шару безпосередньої підошви (h_n), м	1	2	4	6	8

то розмір квадрату був 8×5, з якого кількість експериментів була зменшена з 5^8=390625 до 625 моделей, параметри яких для проведення чисельного моделювання наведені у таблиці И.1 (додаток И).

За відповідними вихідними даними було побудовано 625 моделей, при відпрацюванні яких отримано максимальні величини вдавлювання порід підошви $U_в$, усереднене осідання покрівлі над охоронною спорудою U'_o та напруження σ_o (табл. И.1, додаток И) під дією навантаження σ [287]. Загальний вигляд однієї з моделей за етапами її відпрацювання показано на рисунку 2.32.

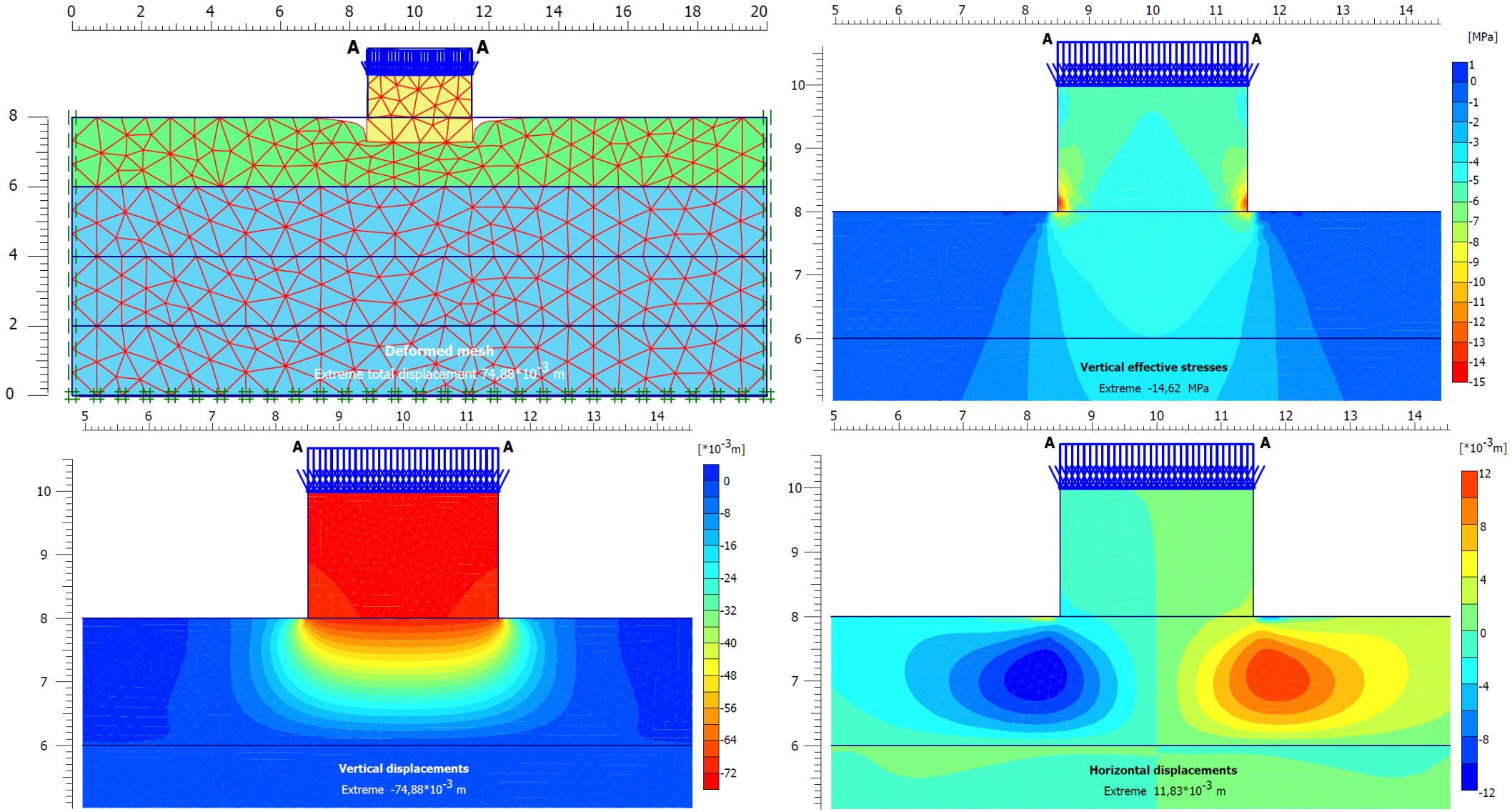


Рисунок 2.32 – Загальний вигляд однієї з чисельних моделей для дослідження деформаційних процесів в охоронних спорудах та підстилаючих породах

Обробка результатів моделювання дозволила за допомогою засобів програмного пакету SPSSv13.0 встановити коефіцієнти емпіричної залежності напружень σ_o (МПа) від основних факторів, що впливають, яка має вигляд

$$\sigma_o = 0{,}878\sigma\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^{0{,}007}\left(\frac{b}{h}\right)^{0{,}048}\mu_o^{\,0{,}006}\left(m_v E_o\right)^{-0{,}022}\left(\frac{h_n}{b}\right)^{-0{,}046} \qquad (2.35)$$

Отримана залежність має коефіцієнт детермінації R^2=0,988, а кореляції – r=0,994, що вказує на сильний кореляційний зв'язок. Тим не менше, перевіримо отримане рівняння за допомогою t і F- критеріїв з виразів:

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \qquad (2.36)$$

та

$$F = \frac{R^2}{1-R^2}\frac{n-m-1}{m}, \qquad (2.37)$$

де n – кількість спостережень; m – число факторів в моделі.

З цих виразів $t = \frac{0{,}994\cdot\sqrt{625-2}}{\sqrt{1-0{,}988}} = 226{,}5$ та $F = \frac{0{,}988}{1-0{,}988}\frac{625-7-1}{7} = 7257$.

Оскільки t_{kp} (k=617;α/2=0,025)=1,96, F_{kp} (k_1=m=7;k_2=n-m-1=617)=2,02 [143], а $t > t_{кр.}$ та $F > F_{кр.}$, то зв'язок може вважатися достовірним, коефіцієнти кореляції та детермінації статистично значущі, рівняння регресії статистично надійне.

Виходячи із залежності (2.35), випливає, що найбільший вплив на результат σ_o має фактор $k\gamma H$ (k– коефіцієнт концентрації напружень від дій порід покрівлі на засіб охорони), оскільки показник ступеня при даному факторі найбільший і вказує, на скільки відсотків зміниться в середньому результат, якщо фактор зміниться на 1%. Інші фактори є менш значущими та деякими з них можна знехтувати без втрати надійності залежності. Тоді залежність може бути перетворена та представлена такими виразами:

$$\sigma_o = 0{,}858\sigma\left(\frac{b^2}{hh_n\sqrt{m_v E_o}}\right)^{0{,}046}, \quad (2.38)$$

(R^2=0,988; $t>t_{кр}$ (226,5>1,96); $F>F_{кр}$ (10193>2,23))

або

$$\sigma_o = 0{,}906\cdot\sigma. \quad (2.39)$$

(R^2=0,944; $t>t_{кр}$ (102,5>1,96); $F>F_{кр}$ (10502>3,86))

Як випливає з виразу (2.39), за рахунок демпфуючих властивостей охоронної споруди та підстилаючих порід від покрівлі до підошви, незалежно від параметрів охоронної споруди, передається близько 90% навантаження. Решта навантаження демпфується спорудою та переходить у горизонтальну складову, що призводить до розширення засобу. Тобто з боку засобу охорони на породи підошви в зоні тимчасового опорного тиску позаду лави діють навантаження, напруження від яких дорівнюють (1,0...1,3)γH.

Загальна залежність величини просідання охоронної споруди відносно поверхні підстилаючих порід була представлена в натуральному виразі (2.24) функцією (2.32). Статистична обробка результатів моделювання дозволяє визначити у виразі (2.24) параметр κ. Тоді вираз набуде вигляду

$$\frac{U_в}{h_n} = m_v\sigma_o^{0{,}949}. \quad (2.40)$$

(R^2=0,896; $t>t_{кр}$ (73,3>1,96); $F>F_{кр}$ (1783,4>2,62))

З огляду на показник ступеня, у виразі (2.40) залежність $U_в$ від σ_o може бути лінеаризована та представлена, як

$$U_в = 0{,}835 m_v\sigma_o h_n, \quad (2.41)$$

(R^2=0,901; $t>t_{кр}$ (75,3>1,96); $F>F_{кр}$ (1883,9>2,62))

але більш тісний зв'язок показує вираз, у якому враховується співвідношення характеристик стиснення матеріалу в засобі охорони та підстилаючих породах

$$U_в = 0,704\sigma m_v \sqrt{bh_n}\, e^{0,012 m_v^o / m_v}, \qquad (2.42)$$

(R^2=0,946; $t>t_{кр}$ (103,5>1,96); $F>F_{кр}$ (2127,1>2,23))

де m_v^o – показник відносної стисливості масиву, який еквівалентний матеріалу охоронної споруди, що визначається виразом

$$m_v^o = \left(1 - \frac{2\mu_o^2}{1-\mu_o}\right) \Big/ E_o \cdot \qquad (2.43)$$

Емпірична залежність усереднених зсувів порід покрівлі над охоронною спорудою від розглянутих факторів (2.31) після статистичної обробки набуде вигляду

$$U_o = 0,739\sigma m_v \sqrt{bh_n}\, e^{0,057 m_v^o / m_v}. \qquad (2.44)$$

(R^2=0,904; $t>t_{кр}$ (76,6>1,96); $F>F_{кр}$ (969,9>2,11))

З виразів (2.42) та (2.44) випливає, що частка просідання засобу охорони у загальних опусканнях покрівлі може визначатися виразом

$$\frac{U_в}{U_o} = 0,953 e^{-0,045 m_v^o / m_v},$$

з якого $$U_o = 1,05 U_в e^{0,045 m_v^o / m_v}, \qquad (2.45)$$

Враховуючи, що $\sigma = k\gamma H$, то з (2.44) відносне усереднене осідання порід покрівлі над засобом охорони може бути визначено за формулою

$$\xi_o' = \frac{0,739 k\gamma H m_v}{1000} \frac{\sqrt{bh_n}}{h} e^{0,057 m_v^o / m_v}. \qquad (2.46)$$

Для перевірки встановлених залежностей було розраховано усереднені зміщення порід покрівлі U_o та величину просідання охоронної споруди $U_в$ для умов 11 східної лави пл. c_{18} ш/у «Південнодонбаське №1», які склали, відповідно, 0,136 та 0,088 м. Їх розбіжності з експериментальними даними

склали, відповідно, 7,5 та 6,4%. Це є задовільним, тому встановлені залежності можуть бути використані у подальших розрахунках.

Треба відзначити, що розрахункова величина U'_o є усередненою між U_o та U_{max}, тому за аналогією з виразом (2.14) отримаємо формулу щодо розрахунку зміщень порід покрівлі у виробці, що охороняється позаду очисного вибою, яка буде мати вигляд

$$U_к^в = \frac{m\left(x_* \cos\beta + 0{,}5B\right)}{B + \left(x_* + a + 0{,}5b\right)\cos\beta}\left(\ln\left[\frac{\gamma tg\rho_в}{C_в}\left(H + 2{,}22 f_{ср}\sqrt{H} + 1{,}4 f_{ср}^2\right) + 1\right]^{\frac{m\alpha}{2\lambda tg\rho_в}} + \left(a_0 + nr\right)\alpha + \xi_o'\right). \quad (2.47)$$

Отримана залежність дозволяє здійснювати прогноз зміщень порід покрівлі у підготовчій виробці на ділянці у зоні впливу тимчасового опорного тиску від діючої лави. Вона враховує основні фактори, що впливають. На відміну від існуючих методик [15, 48, 348, 363, 372] запропонована відрізняється тим, що враховує такі фактори, як фізико-механічні характеристики вугільного пласту та порід покрівлі, потужність пласта, що виймається, ширину виробки, параметри засобу охорони та кріплення на кінцевій ділянці лави.

Адекватність розробленої методики реальним умовам можна підтвердити порівнянням результатів розрахунків з результатами шахтних натурних спостережень в умовах конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18} ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» [31, 274].

За результатами проведених інструментальних спостережень було встановлено, що зміщення порід покрівлі у хіднику на відстані від підготовчого вибою від 0,5 до 37 м змінювались в середньому, відповідно, від 0,08 до 0,21 м (крива 1, рис. 2.33). Зміщення на цій дільниці склали в середньому 48 % від вертикальної конвергенції порід покрівлі та підошви виробки.

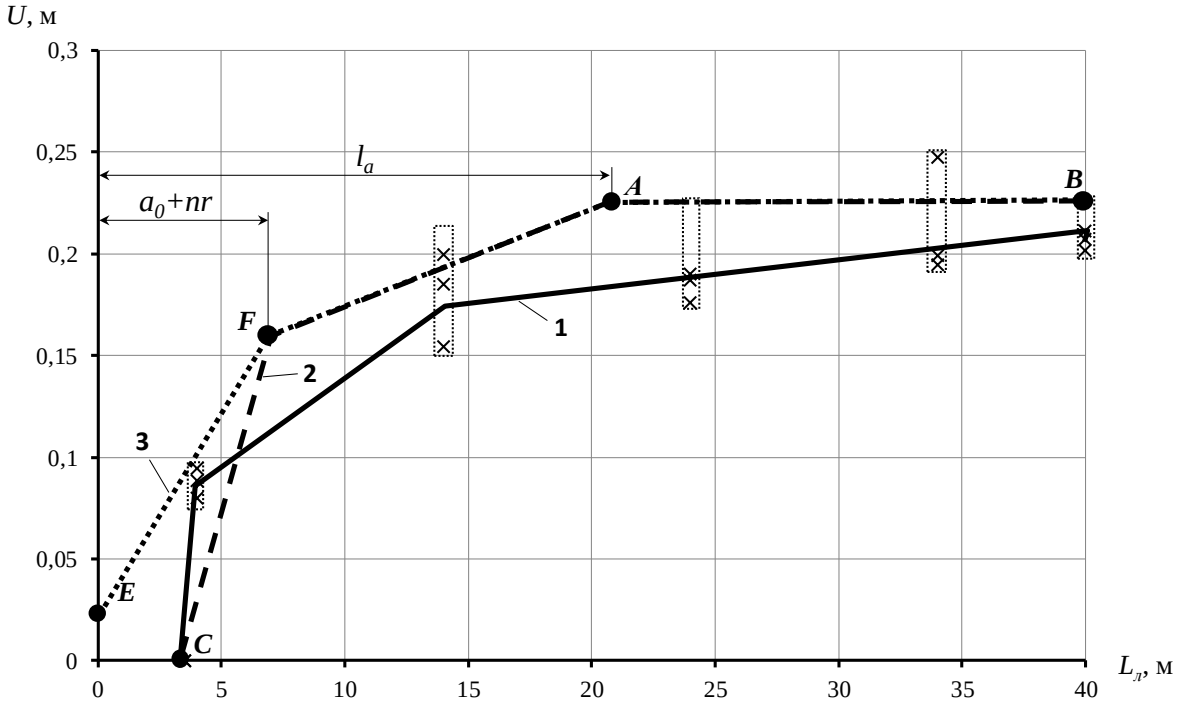


Рисунок 2.33 – Графіки залежності зміщень порід покрівлі конвеєрного хідника 11-ої західної лави пл. c_{18} *U* від відстані до очисного $L_л$ вибою (1, 2 – відповідно, фактичний та аналітичний графіки; 3 – аналітичний графік для виробки, яка б проводилась перед лавою або заздалегідь)

Розрахунок максимальних зміщень порід покрівлі виробки з виразу (2.46) дозволив отримати значення 0,228 м. Вони реалізуються на ділянці активних деформацій позаду лави, де максимальні напруження над охоронною спорудою досягають величини 1,5γH. На цій ділянці відзначається найбільша швидкість зближення порід покрівлі та підошви виробки [80] і реалізується найбільша частка зміщень порід покрівлі (до 25-50%), у тому числі за рахунок просідання й усадки засобу охорони. Вона є частиною зони активних деформацій порід позаду лави, ширина якої досягає величини 40 м [73, 106, 172] (інколи до 60-80 м [80, 106, 150]) та може бути визначена з виразу [159]

$$l_a = 20 + 18m - 0{,}6\frac{h_n}{m} \text{ (м)}, \qquad (2.48)$$

де m – потужність пласта, м; h_n – потужність шару безпосередньої підошви, м.

Для умов конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18} на відстані понад 21 м позаду лави спостерігається затухання зміщень подальшою стабілізацією деформацій, оскільки на цій ділянці відбувається облом консолі над охоронною спорудою та зниження опорного тиску. Тобто зміщення на відстані позаду лави понад 21 м незначні. Це дозволяє з припущеннями прийняти їх такими, які дорівнюють нулю.

Враховуючи вищезазначене для умов виробки, що розглядається, максимальні розрахункові зміщення порід покрівлі можна віднести на відстань 21 м позаду лави (точка А, рис. 2.33), а подальші зміщення (відрізок АВ, рис. 2.33) – показати горизонтальною лінією. Початкові зміщення у цій виробці (точка С, рис. 2.33), оскільки вона проводиться позаду лави, будуть нульовими на відстані 4,5 м поза лавою.

Якщо у таких умовах підготовча виробка проводилася заздалегідь та підтримувалась позаду лави, то зміщення порід покрівлі мали б визначатись у декількох точках: точка Е, F та А (відповідно, на рівні очисного вибою, на рівні останньої стійки привибійного простору лави та на відстані l_a від неї (рис. 2.33). Зміщення в точках Е та F можуть бути розраховані з виразів, відповідно:

$$U^{в}_{к_E} = \frac{m\left(x_* \cos\beta + 0{,}5B\right)}{B + \left(x_* + a + 0{,}5b\right)\cos\beta} \ln\left[\frac{\frac{\gamma tg\rho_в}{C_в}\left(H + 2{,}22 f_{ср}\sqrt{H} + 1{,}4 f_{ср}^2\right) + 1}{2\sqrt{\lambda} tg\rho_в + 1}\right]^{\frac{m\alpha}{2\lambda tg\rho_в}} \quad (2.49)$$

та

$$U^{в}_{к_F} = \frac{m\left(x_* \cos\beta + 0{,}5B\right)}{B + \left(x_* + a + 0{,}5b\right)\cos\beta} \left(\ln\left[\frac{\frac{\gamma tg\rho_в}{C_в}\left(H + 2{,}22 f_{ср}\sqrt{H} + 1{,}4 f_{ср}^2\right) + 1}{2\sqrt{\lambda} tg\rho_в + 1}\right]^{\frac{m\alpha}{2\lambda tg\rho_в}} + \left(a_0 + nr\right)\alpha \right), \quad (2.50)$$

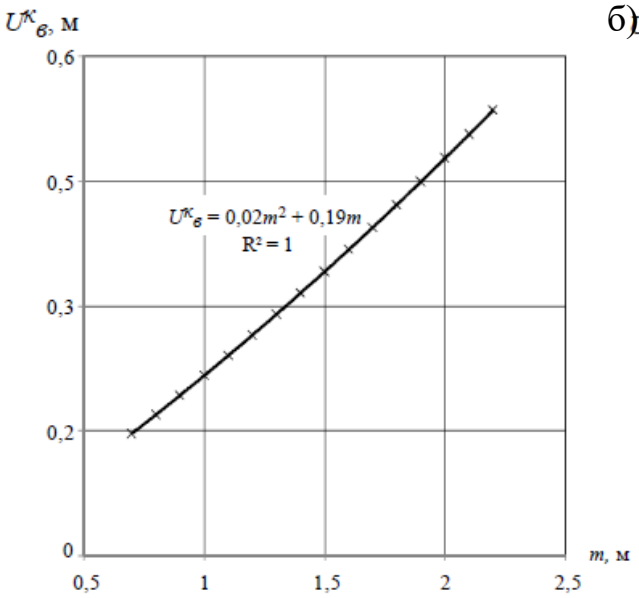
а в точці А – з (2.47).

На ділянці протяжністю від 0 до l_a м розрахункові зміщення відрізняються від експериментальних, оскільки при розрахунку складно врахувати якість та параметри кріплення сполучення лави з виробкою. Але це не має першочергового значення, оскільки стійкість виробки визначають кінцеві зміщення у точці А (рис. 2.33), розбіжність яких з фактичними, для умов конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18}, не перевищує 15%, що менше ніж при експериментально-аналітичному рішенні, яке було наведене у роботі [277]. На відстані 40 м від лави ця розбіжність не перевищує 8,6 %. В цілому, отриману аналітичну криву можна вважати конвергентною до фактичної та запропонована методика може бути використана для прогнозу зміщень порід покрівлі у підготовчій виробці при охороні її позаду лави, з врахуванням основних чинників впливу на її експлуатаційний стан на найбільш відповідальній ділянці.

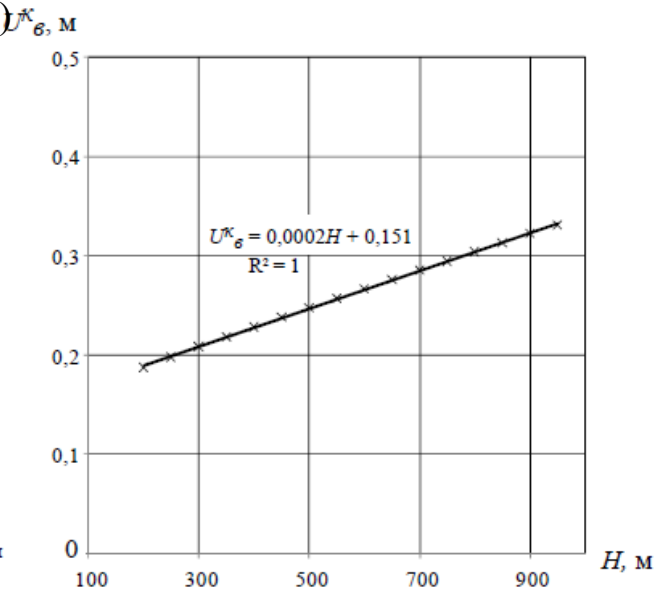
Для вивчення встановленої залежності було здійснено її факторний аналіз. Перебір окремих факторів у різних діапазонах при незмінності інших чинників дозволив встановити основні чинники впливу на зміщення порід покрівлі у виробці, а саме: потужність пласта m, глибина робіт H, категорія порід основної покрівлі за обвалюваністю, що характеризується коефіцієнтом α, ширина привибійного простору (a_0+nr), довжина ділянки віджатого вугілля у боку виробки x_*, ширина засобу охорони b та його віддалення від виробки a, а також потужність порід h_n, які підстилають засіб охорони, та їх властивість до стиснення, яка характеризується коефіцієнтом m_v. Графіки залежностей зміщень порід покрівлі у виробці, що охороняється в зоні впливу очисних робіт позаду лави, від цих факторів наведено на рисунках 2.34 та 2.35.

Встановлено, що найбільший вплив на стан виробки мають потужність пласта та обвалюваність порід, що узгоджується з висновками у роботі [159]. Менш значущим є модуль загальної деформації засобу охорони, оскільки величина зміщень покрівлі у виробці при зміні E_o від 1000 до 10000 МПа змінюється на 4%, але важливим є забезпечення мінімального опору нависаючим

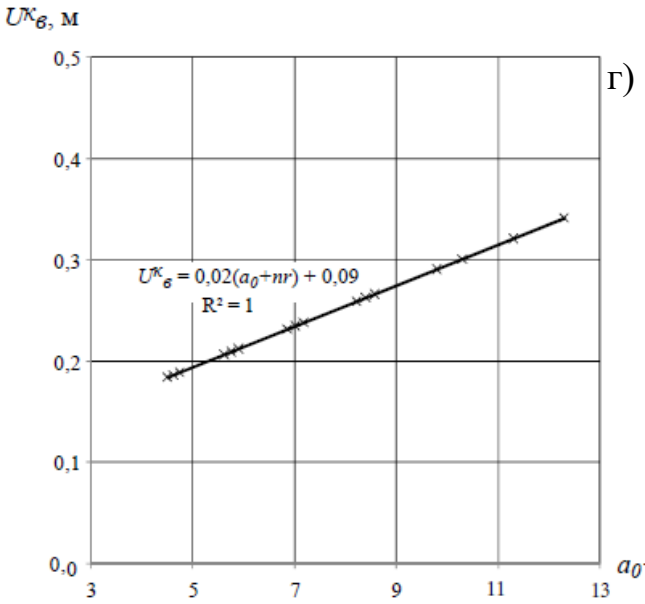
а)



б)



в)



г)

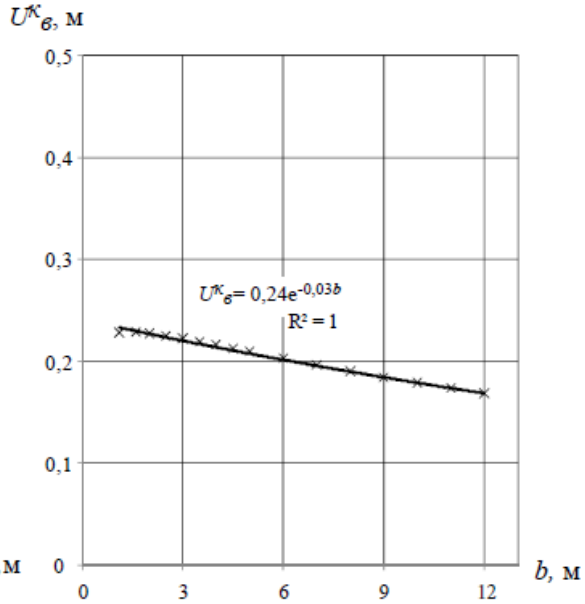


Рисунок 2.34 – Графіки залежностей зміщень порід покрівлі $U^к_в$ від потужності пласта m (а), глибини розробки H (б), ширини привибійного простору (a_0+nr) (в) та від ширини засобу охорони b (г) для умов конвеєрного хідника 11-ої західної лави пл. c_{18}

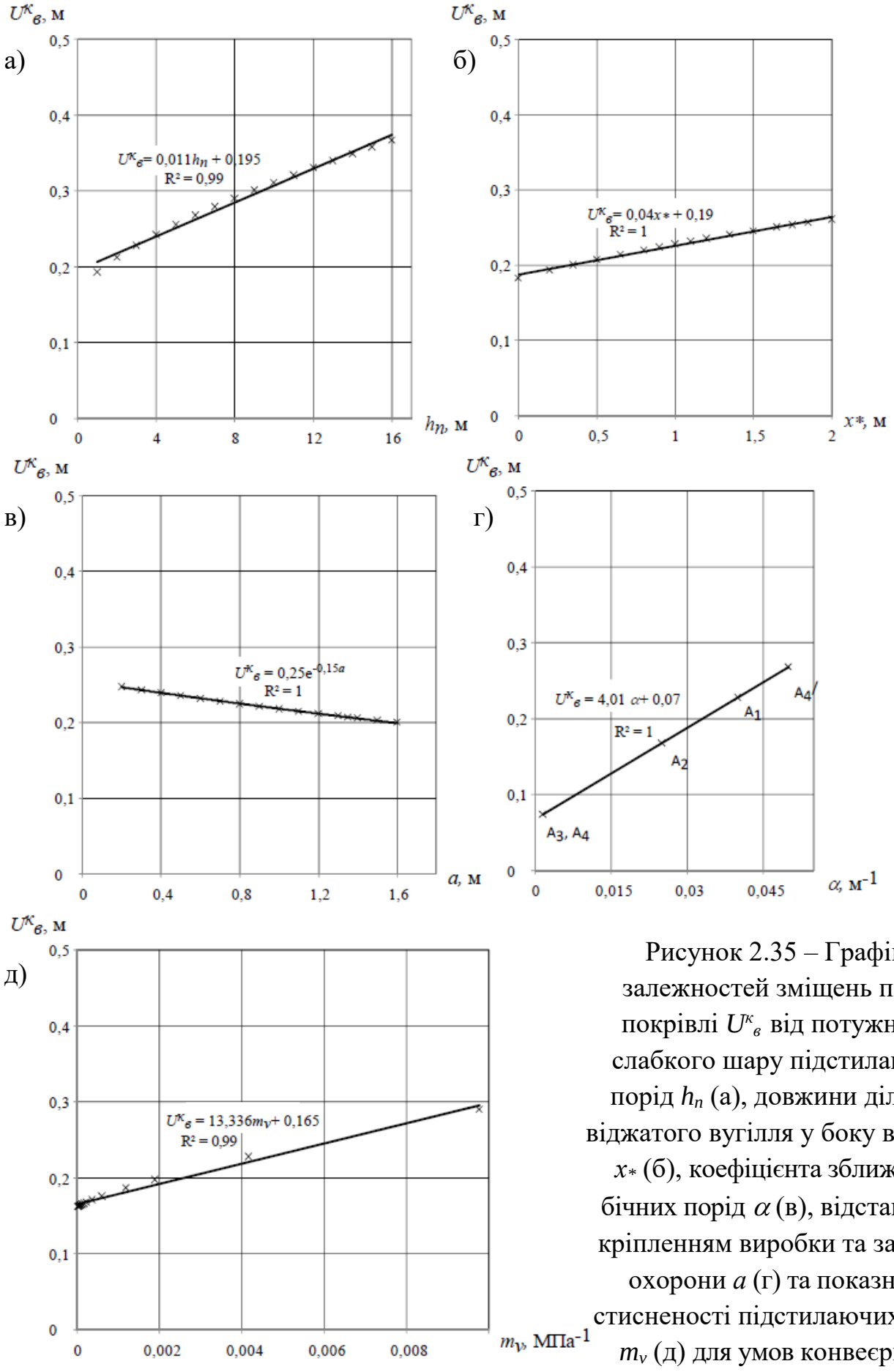


Рисунок 2.35 – Графіки залежностей зміщень порід покрівлі $U^к_в$ від потужності слабкого шару підстилаючих порід $h_п$ (а), довжини ділянки віджатого вугілля у боку виробки x_* (б), коефіцієнта зближення бічних порід α (в), відстані між кріпленням виробки та засобом охорони a (г) та показника стисненості підстилаючих порід m_v (д) для умов конвеєрного хідника 11-ої західної лави пл. c_{18}

породам покрівлі за рахунок спорудження стійких охоронних конструкцій з модулем деформації понад 200 МПа. Тоді зміщення покрівлі виробки, що охороняється, будуть тільки на 9 % більшими, ніж при E_o=10000 МПа. Подальше зменшення цієї характеристики деформованості підстилаючих порід недоцільне, оскільки призведе до суттєвого збільшення зміщень.

З переліку факторів, які суттєво впливають на зміщення порід у виробці, можна відокремити ті, на які, при певних умовах, можна впливати, а саме: (a_0+nr), b, a, E_o та m_v. Для зменшення зміщень покрівлі у виробці доцільно якомога більше зменшити ширину привибійного простору, забезпечити цілісність вугілля у боку виробки, збільшити ширину засобу охорони, забезпечити його стійкість та віднести від виробки, а також зменшити стисненість підстилаючих порід. Наприклад, для умов 11-ої західної лави пл. c_{18} зменшення ширини привибійного простору на 1,6 м дозволить зменшити зміщення у виробці на 14,2%, збільшення відстані a від 0,7 до 1,6 м – зменшити $U^к_в$ на 12,2%, а збільшення ширини споруди b у 3 рази (до 3,3 м) – зменшити зміщення лише на 3,4%. Зменшення стисненості підстилаючих порід можна досягти за рахунок збільшення модуля їх деформації (рис. 2.36). Збільшення модуля деформації порід підошви, як мінімум до 1,5 ГПа, призведе до зменшення зміщень $U^к_в$ на 23,2 %, а до 10 ГПа – до 28,1% (рис. 2.37). Тобто найбільш дієвим для зменшення зміщень порід виробки, що охороняється, є збільшення опору підстилаючих порід стисненню.

Охоронна конструкція, навіть при відносно незначній величині модуля деформацій, у порівнянні зі слабкими підстилаючими породами має більшу жорсткість. Оцінити жорсткість засобу охорони можна за критерієм М.И. Горбунова-Посадова, який використовується для визначення гнучкості полоси на породній основі [140]. Він буде мати вигляд

$$\Gamma \approx 10 \frac{E_n}{E_o} \frac{b_1^3}{h^3}, \qquad (2.51)$$

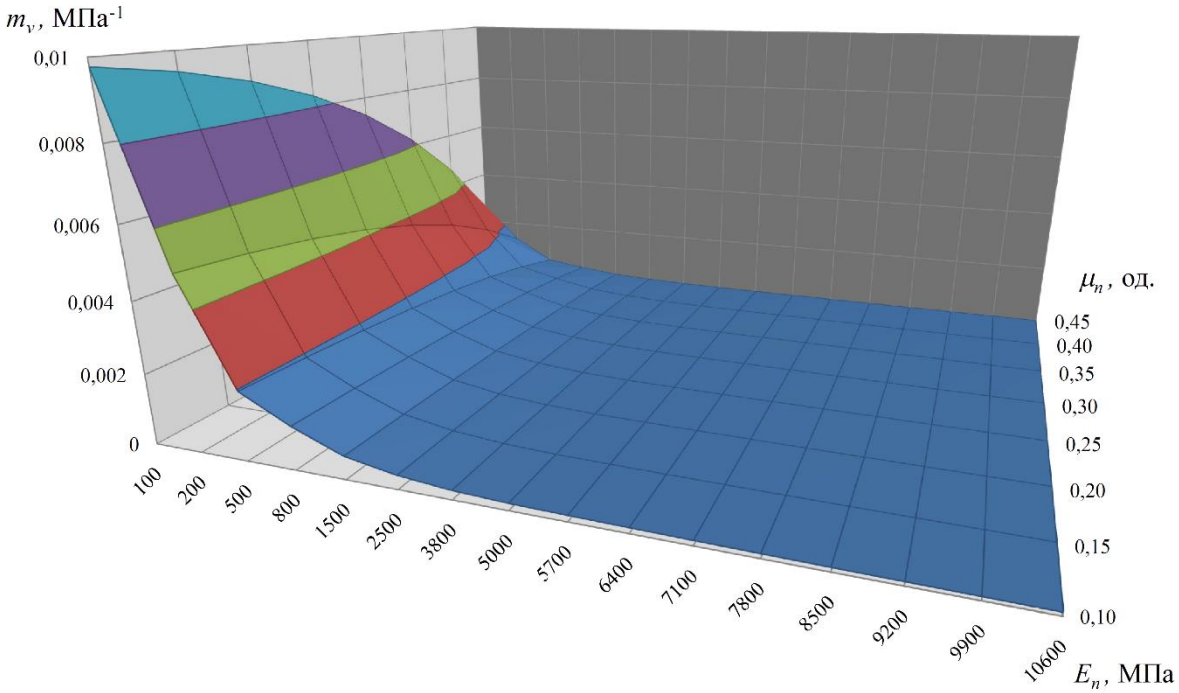


Рисунок 2.36 – Графік залежності показника стисненості підстилаючих порід m_v від коефіцієнта їх відносної деформації μ_n та модуля загальної деформації E_n

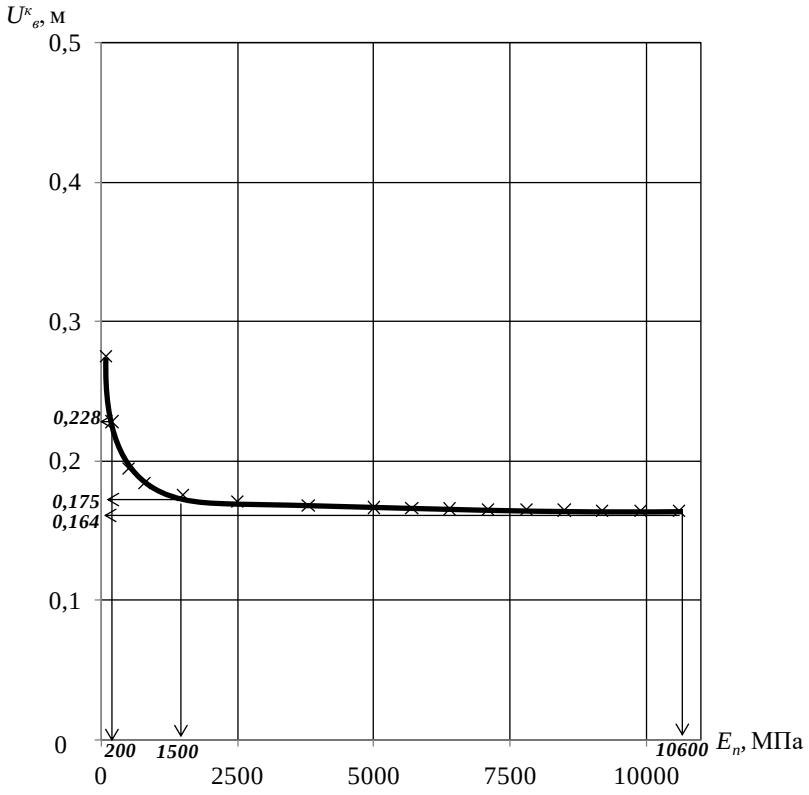


Рисунок 2.37 – Графік залежності зміщень порід покрівлі конвеєрного хідника 11-ої західної лави пл. c_{18} $U^к_в$ від модуля загальної деформації підстилаючих порід E_n

де b_1 та h – відповідно, напівдовжина та висота засобу охорони, м.

Виходячи з цього виразу, для умов 11-ої західної лави пл. c_{18}, $\Gamma<1$, тому накатні костри та пакетовані смуги по відношенню до підстилаючих порід абсолютно жорсткі. Тобто в таких умовах підстилаючі породи менш стійкі ніж засоби охорони. При збільшені модуля деформації порід до 1000 та 10000 МПа критерій Γ збільшиться, відповідно, до 6,05 та 60,5 одиниць. Тоді, у першому випадку (при $1\leq\Gamma\leq10$) – споруда має кінцеву жорсткість по відношенню до порід, а у другому (при $\Gamma>10$) – вона вважається гнучкою [140].

За цим критерієм можна оцінити жорсткість традиційних засобів охорони в умовах перспективних вугленосних районів. Для Південнодонбаського, Новомосковського та Павлоградсько-Петропавлівського вугленосних районів цей критерій буде змінюватись у широких діапазонах, в залежності від геометричних параметрів засобів охорони, деформаційних характеристик цих конструкцій і бічних порід. Оскільки в таких умовах перший породний шар підошви має низький опір до стиснення, представлений на 76% слабким аргілітом і на 15 % алевролітом [154], крім того, він додатково у зоні опорного тиску інтенсивно деформується, то майже всі конструкції по відношенню до цього шару будуть жорсткими. Виключенням буде бутова смуга, яка є гнучкою за рахунок завеликої ширини та низького модуля деформацій.

Тоді для слабких бічних порід можна отримати умову, коли засоби охорони будуть жорсткішими, ніж породи підошви. Тоді можуть бути обмеження щодо їх використання. Умова, коли засіб буде жорсткішим ніж породна основа та працюватиме як штамп ($\Gamma<10$), з виразу (2.51) матиме вигляд

$$E_o > \left(\frac{b}{2h}\right)^3 E_n . \qquad (2.52)$$

З умови випливає, що критерій Γ більше залежить від лінійних параметрів засобу охорони.

Виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що для забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, особливу увагу необхідно приділити якості та параметрам кріплення кінцевої ділянки лави із забезпеченням мінімального відставання вибою засобу охорони від лави, а також стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», яка досягається зменшенням усадки та (або) просідання засобу впровадженням спеціальних заходів, які необхідно розробити, враховуючи встановлені закономірності деформування слабких порід під охоронними спорудами.

Висновки до розділу 2

Проведення досліджень процесів деформування та руйнування слабких бічних порід навколо виробок, дозволило зробити наступні висновки:

1. За результатами шахтних натурних спостережень за станом підготовчих виробок встановлено, що зміщення порід покрівель виробок, над кінцевими ділянками та засобами охорони збільшуються при посуванні очисних вибоїв. Вони пов’язані між собою лінійною залежністю та мають враховуватись при прогнозуванні осідань порід покрівлі у виробці, яка охороняється позаду лави. Для цього необхідно враховувати зміщення порід над крайовою частиною пласта та кінцевою ділянкою, які сполучені з виробкою, а також зміщення порід покрівлі над засобом охорони, які є результатом порушення стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», що супроводжується усадкою засобу охорони та (або) його просіданням відносно поверхні підстилаючих порід.

2. Аналітико-експериментальним методом визначено діапазон зміни навантаження на засіб охорони у зоні впливу лави, який склав від 1,1γH до 1,5γH. Встановлено, що за рахунок демпфуючих властивостей охоронної споруди на підстилаючі породи передається близько 90 % навантаження, що

діє з боку покрівлі на споруду, незалежно від параметрів охоронної споруди. Таким чином, на породи підошви у зоні тимчасового опорного тиску позаду лави діє навантаження (1,0...1,3)γH.

3. Аналітично встановлено залежності величини усадки та просідання засобу охорони підготовчих виробок від основних факторів, що впливають, а саме: величини навантаження на засіб, його ширини та початкової висоти, модуля деформацій і коефіцієнта поперечних деформацій, а також показника стисненості порід, які підстилають охоронну споруду. Розбіжності аналітичних та експериментальних результатів не перевищує 7,5 %.

4. Встановлено закономірність зміщень порід покрівлі у підготовчій виробці на ділянці її підтримання позаду лави, з урахуванням зміщень порід над крайовою частиною пласта, кінцевою ділянкою та над засобом охорони, які залежать від потужності вугільного пласта, фізико-механічних характеристик пласта та вміщуючих порід, параметрів кріплення кінцевої ділянки лави, параметрів засобу охорони та ширини виробки.

5. Розроблено аналітико-експериментальний метод розрахунку зміщень порід покрівлі у підготовчій виробці в зоні тимчасового опорного тиску позаду лави, які є результатом розвитку деформацій покрівлі над зоною зруйнованого вугілля перед лавою, над привибійним простором кінцевої ділянки та позаду неї (на ділянці просідання та усадки засобу охорони). Результати розрахунку зміщень порід покрівлі у виробці показали їх задовільну збіжність з результатами шахтних спостережень, яка на певних відстанях від лави (20 та 40 м) не перевищила 15 та 8,6 %.

6. Встановлено, що основними факторами, які впливають на зміщення порід покрівлі у підготовчій виробці в зоні тимчасового опорного тиску позаду лави є: потужність пласта m, глибина робіт H, категорія порід основної покрівлі за обвалюваністю, ширина привибійного простору (a_0+nr), довжина дільниці віджатого вугілля у боку виробки x_*, ширина засобу охорони b та його віддалення від виробки a, а також потужність порід h_n, які підстилають засіб охорони, та

здатність їх до стиснення під дією навантаження, яка характеризується коефіцієнтом m_v. Визначено фактори, на які при певних умовах можна впливати для зменшення зміщень у виробці, а саме: (a_0+nr), b, a та m_v.

7. Встановлено, що для умов 11-ої західної лави пл. c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» зменшення ширини привибійного простору на 1,6 м дозволить зменшити зміщення у виробці на 14,2%, збільшення відстані a від 0,7 до 1,6 м –зменшити їх на 12,2%, а збільшення ширини споруди b до 3,3 м – зменшити зміщення лише на 3,4%. Найбільший ефект (зменшення зміщень до 23,2 та 28,1 %) досягається за рахунок збільшення модуля деформації порід, що підстилають засіб охорони, відповідно, до 1,5 та 10 ГПа. Тому найбільш дієвим заходом для зменшення зміщень порід виробки, що охороняється, є збільшення опору підстилаючих порід стисненню.

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИМ СТАНОМ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД НАВКОЛО ЗАСОБІВ ОХОРОНИ

3.1 Обґрунтування технологічних принципів управління станом породного масиву навколо засобу охорони

Результати проведених досліджень процесів деформування та руйнування гірських порід навколо підготовчих виробок, які підтримуються позаду лав, дозволили встановити закономірності деформування слабких порід під охоронними спорудами та умови забезпечення стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», яка досягається зменшенням усадки та (або) просідання засобу охорони. Це дозволило розширити уявлення про фізику процесу деформування шарів порід навколо засобу охорони та виробки, що охороняється. Вони можуть бути основою для нових підходів щодо вирішення проблеми забезпечення стійкості підготовчих виробок позаду лав.

Визначення основних факторів, що впливають на зміщення порід покрівлі у підготовчих виробках в зоні тимчасового опорного тиску позаду лави, дозволяє розробити технологічні рішення щодо забезпечення експлуатаційного та безпечного стану виробок. Зокрема, такими рішеннями можуть бути:

- зменшення ширини привибійного простору на кінцевій ділянці лави, що примикає до виробки, до мінімально можливої величини;
- віднесення засобу охорони у бік виробленого простору від виробки на безпечну та економічно доцільну відстань;
- використання спеціальних заходів для забезпечення стійкості засобів охорони на слабких породах підошви;
- забезпечення достатнього опору нависаючим породам покрівлі використанням стійких охоронних конструкцій на межі між виробкою та

виробленим простором.

Виконання перших двох пунктів цього переліку дозволяє дещо зменшити зміщення у виробці. Це доведено у роботі [354]. Але не завжди технологічно можлива реалізація цих рішень. Зокрема, ширина привибійного простору може бути обумовлена паспортом кріплення кінцевої ділянки лави з розміщенням необхідного обладнання, безпечним виконанням технологічних операцій на кінцевій ділянці лави та забезпеченням ергономічних параметрів робочих місць при їх виконанні [295]. Віднесення засобу охорони від виробки потребує збільшення довжини кінцевої ділянки лави. За можливістю ці заходи необхідно реалізовувати, але більш ефективними у певних умовах є заходи, відображені у двох інших пунктах переліку, щодо забезпечення стійкості охоронних конструкцій та підстилаючих порід. У цьому випадку під стійкістю розуміється здатність конструкцій і порід зберігати рівновагу та утримуватись від значних зсувів і деформацій.

Найбільш ефективними засобами охорони за лавою є жорсткі споруди, тобто конструкції, які мають обмежену піддатливість. Та ці конструкції передбачають використання дорогих матеріалів та часто трудомісткі у реалізації. Дешевим матеріалом є рядова порода. Але стійкі та компактні конструкції з рядової породи можуть бути утворені залученням обмежуючих елементів. Саме принципова можливість спорудження стійких конструкцій, в основі яких знаходиться звичайна порода, зумовлює умови для розробки технічних рішень щодо розробки ефективних і ресурсозберігаючих засобів охорони. Це питання потребує проведення досліджень з сипкими об’ємами рядової породи для встановлення закономірностей формування вантажонесучих породних конструкцій з обмежуючими елементами.

Стійкість порід, що підстилають засіб охорони, залежить від їх фізико-механічних характеристик, обводненості та ступеня зруйнованості. Проявом втрати стійкості підстилаючих порід є просідання засобу охорони відносно їх поверхні. Це просідання провокує зміщення порід покрівлі як над охоронною

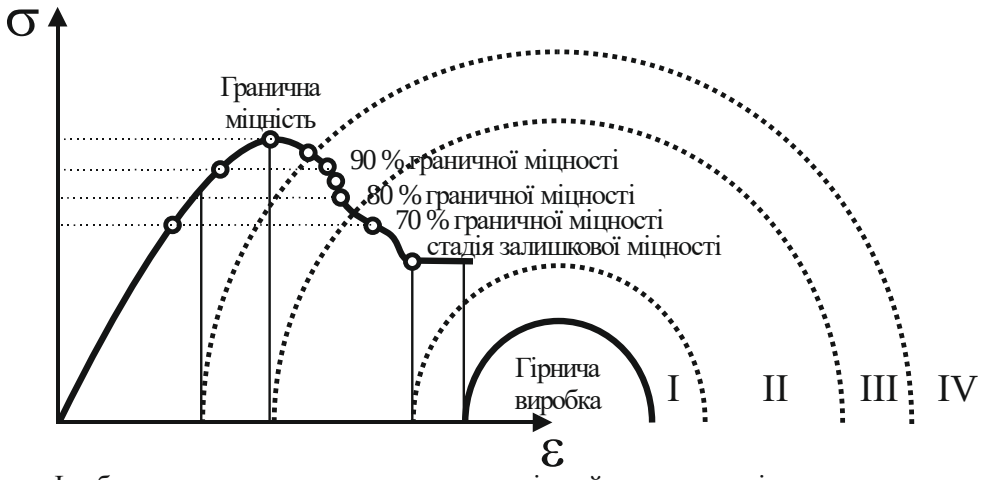
конструкцією, так і над виробкою. Також воно супроводжується видавлюванням підстилаючих порід у порожнини навколо засобу охорони, у тому числі у виробку, яка охороняється. Для виключення просідання засобу в умовах слабких порід підошви доцільне використання локальних спеціальних заходів, область впливу яких буде розповсюджуватись на обмежену породну область під засобом охорони.

Процеси деформування та руйнування масиву, що вміщує виробку, досліджені у роботі [305]. Запропоновано аналітико-експериментальний метод розрахунку розмірів зони непружних деформацій, що складається з зони зруйнованих порід та зони пластичних деформацій. Зокрема, запропоновано залежність для прогнозу розміру зони зруйнованих порід, яка має вигляд [305]

$$\frac{R_{зрп}}{r_в} = 0,763 \cdot e^{1,104 \cdot \frac{\gamma H}{\sigma_o k_c}}, \qquad (3.1)$$

де $R_{зрп}$– радіус зони зруйнованих порід, м; $r_в$– початковий радіус виробки, м; γ – об’ємна вага порід, МН/м^3; H – глибина розміщення виробки, м; σ_o– умовно-миттєва міцність порід, МПа; k_c – коефіцієнт структурного ослаблення порід (для осадових порід Донбасу змінюється від 0,5 до 0,8. Зокрема, для глинистого та піщаного сланців 0,5-0,6).

З виразу (3.1) випливає, що місце спорудження засобів охорони припадає на зону зруйнованих порід (рис. 3.1), яка вже повністю або частково сформувалась на момент підтримання виробки в зоні впливу очисних робіт. Тоді опір приконтурних порід визначається залишковою міцністю порід $R_{зал.}$ (МПа), яка характеризує можливість порід зберігати вантажонесучу здатність в певному об'ємі як конструкції. При цьому геомеханічна збалансованість дискретного породного середовища навколо засобу охорони забезпечується за рахунок залишкової несучої здатності зруйнованих порід, яка зберігається на значному діапазоні подальших деформацій.



I- область понижених напружень у зоні зруйнованих порід
II- область залишкової міцності у зоні зруйнованих порід
III- пластична область IV- пружна область

Рисунок 3.1 – Співвідношення між наколишніми породами в порушеній зоні з повною кривою напруження-деформації [67]

Залишкову міцність порід у зоні зруйнованих порід запропоновано визначати за виразом [305]

$$R_{зал.} = \left(2\lambda + 1\right) \cdot \sigma_r + \sigma_o - E^* \cdot \varepsilon'_p, \qquad (3.2)$$

де λ – коефіцієнт бічного розпору, од.; σ_r – радіальні діючі напруження, МПа; ε'_p – позамежна поздовжня деформація породи, од.; E^* – деформаційна характеристика, що характеризує кут нахилу спадної ділянки повної діаграми деформування, МПа. Та цей вираз складно використовувати, оскільки характеристика E^* недостатньо досліджена. Для її визначення необхідно проведення додаткових експериментів.

У роботі [343] вказується, що при деформуванні породних зразків їх міцність зменшується від миттєвої міцності $R_м$ до залишкової $R_{зал.}$, що є результатом утворення мікротріщин та подальшого їх злиття у макротріщини. У цьому ж дослідженні, з посиланням на роботи В.В. Виноградова, О.М. Шашенка та Б.А. Картозії, показано, що опір порід стисканню внаслідок протікання деформаційних процесів у приконтурній зоні наближенням до

контуру виробки зменшується. Це пов’язане зі зменшенням $R_{зал}$ з наближенням до виробки. Наприклад, на відстані 2 м від контуру виробки $R_{зал} \approx R_м$, а на відстані 1 м – $R_{зал} \approx 0{,}1R_м$.

Деформування приконтурного масиву характеризується двома стадіями (рис. 3.2): домежною та позамежною [118, 392]. Межею між цими стадіями є граничний опір порід стисканню, при перевищенні якого відбувається їх руйнування та падіння міцності до залишкової, яка залежить від типу порід і величини бічного опору та складає 3…95 % від граничної [1, 7, 10, 13, 23, 35, 37, 49, 57, 65, 66, 86, 245, 343]. Наприклад, для умов шахт Західного Донбасу та «Шахтоуправління «Покровське» залишкова міцність знаходиться у діапазоні 5…25 % від граничної [154, 245]. Ці дані здебільшого ґрунтуються на результатах випробувань породних зразків та можуть бути розповсюджені на породний масив. У роботах [129, 130] доведено, що пружно-пластичний стан високонавантаженої геомеханічної системи, яка містить протяжну виробку та складається з неоднорідного породного середовища, властивості якого підпорядковуються логнормальному закону розподілу. Згідно «гіпотезі відповідності», яка висунута С.М. Гапєєвим [129], механічні явища, що відбуваються при «жорсткому» руйнуванні породного зразка в режимі заданих деформацій (рис. 3.2), відповідають процесам, що протікають при деформуванні довільного одиничного об’єму породного масиву навколо гірничої виробки. При цьому, роль «жорсткого» навантажувального пристрою грає область породного середовища, що пружно деформується та розташована за областю непружних деформацій. Верхня гілка повної діаграми деформування (рис. 3.2) відповідальна за формування зовнішніх розмірів зони непружних деформацій, а нижня – за переміщення на контурі виробки, що дозволяє досить точно прогнозувати і забезпечувати стійкість гірничих виробок [129]. Однак міцність порід у зразку істотно відрізняється від міцності порід в масиві [305]. Та відмінність міцності масиву від міцності зразка оцінюється коефіцієнтом структурного ослаблення.

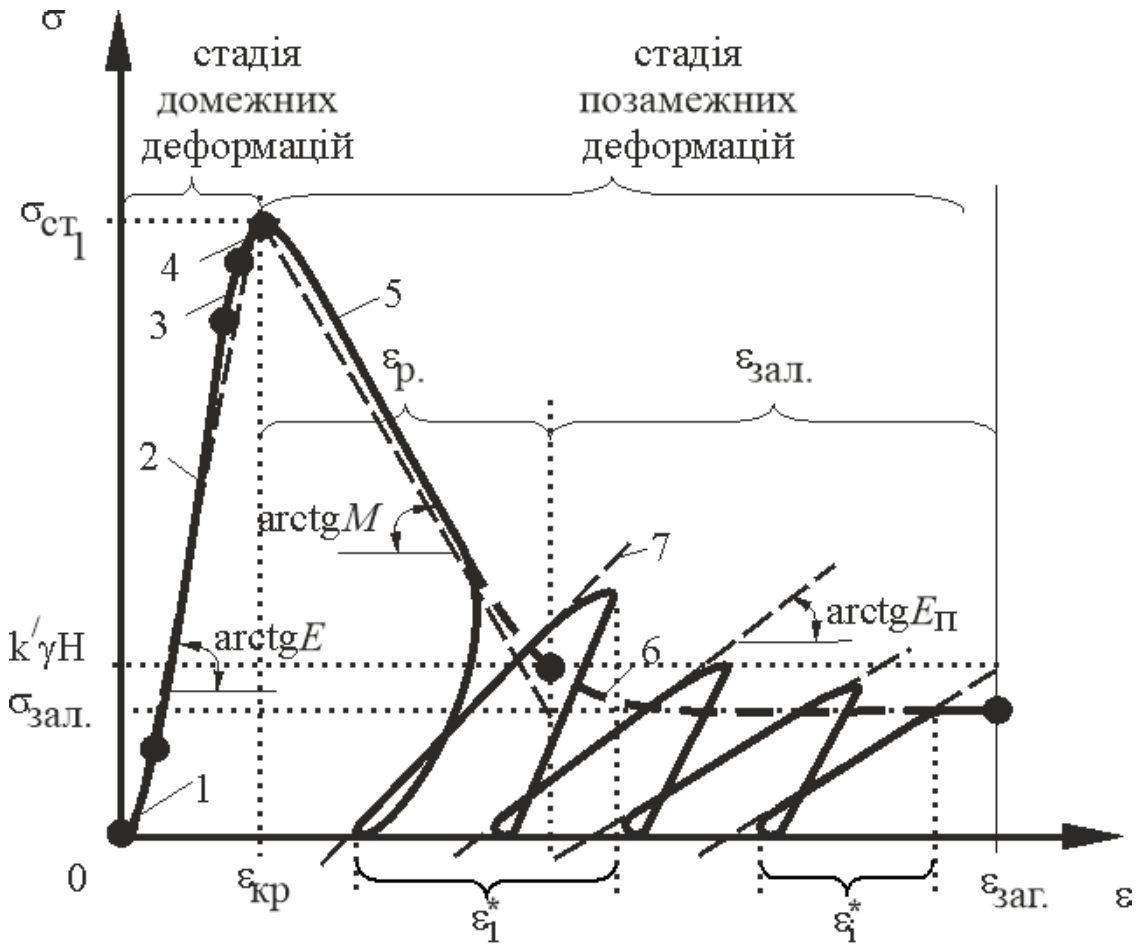


Рисунок 3.2 – Діаграма деформування гірської породи в режимі заданих деформацій (1 –ущільнення за рахунок зміни пористості; 2 –стиснення скелета гірської породи; 3 – виникнення мікродефектів; 4 - проростання мікродефектів і зростання ізольованих тріщин; 5 - поширення відкритих тріщин і зниження загальної міцності; 6 - залишкове тертя зруйнованих порід; 7 – лінія, що співпадає з нахилом петлі гістерезису; $\sigma_{ст_1}$ та $\sigma_{зал.}$ – напруження на межі, відповідно, граничної та залишкової міцностей; $\varepsilon_{кр}$ та $\varepsilon_{зал}$ – поздовжні деформації на межах, відповідно, граничної та залишкової міцностей; $\varepsilon_{заг}$ та $\varepsilon_{р}$ – поздовжні деформації, відповідно, загальна та на ділянці зниження загальної міцності; E– умовно-миттєвий модуль деформації породи; E_n– модуль деформації на межі залишкової міцності; M– модуль спаду; $k/\gamma H$ – напруження в результаті дії навантаження з боку засобу охорони; $\varepsilon_1^*,...,\varepsilon_i^*$ − поздовжні деформації зруйнованих порід на відповідному циклі деформування)

У домежній стадії між напруженнями та деформаціями, до межі граничної міцності існує зв'язок близький до лінійного і модуль пружності E (умовно-миттєвий модуль деформації) в цій зоні залишається постійним. На стадії позамежних міцність зразків нелінійно падає [237], але на будь-якому рівні навантаження структурні зв'язки, що залишилися, забезпечують їх міцність і здатність до пружного деформування, про що свідчать петлі гістерезису, які одержані при циклічному навантаженні та розвантаженні [392]. У багатьох роботах [86, 343, 392] спрощено прийнята паралельність петель гістерезису й модуль деформації порід в позамежній області E_n дорівнює модулю пружності E. Така рівність була введено для вирішення певних задач, але для встановлення причин вдавлювання охоронних споруд у підстилаючі породи це спрощення не доцільне, оскільки модуль деформації характеризує жорсткість порід і його завишення призведе до викривлення результату. Дійсно, цей модуль у декілька разів менший за умовно-миттєвий модуль деформації породи у зоні домежних деформацій і це питання розглядалося у розділі 2.3. Згідно [225] встановлено, що для зразків вугілля міцністю 23 МПа (без бічного тиску) модуль E_n (400 МПа) у 6 разів менший за модуль E (2400 МПа). У роботі [320] при розрахунках були визначені значення цих модулів з врахуванням тріщинуватості порід, за якими співвідношення E/E_n для окремих порід складають від 3,05 до 11,0 (максимальне значення відноситься до міцних діабазів з E=88 ГПа). Для породних зразків з кореляційної залежності (2.20) це співвідношення складає 5,9, а для масиву – 3,2 [92]. Тобто усереднено для зразків гірських порід для слабких та середньої міцності у розрахунках можна приймати E/E_n=6,0, але найточнішим буде його експериментальне визначення.

Для спрощення розрахунків, як правило, приймають лінійну апроксимацію окремих ділянок графіка деформування [2, 3, 41, 42, 58, 86, 139, 306, 343, 392]. При цьому петлі гістерезису відсутні, а розвантаження та повторне навантаження відбуваються по прямій лінії. Це визначає досягнуту залишкову деформацію. Такий підхід було використано у дослідженні [343].

При цьому модуль деформації порід на ділянці залишкової міцності E_n дорівнював модулю на початковій пружній ділянці E, хоча вони відрізняються. Лінійність ділянок діаграми виправдана, коли величини навантажень не перевищують граничної та залишкової міцності на відповідних ділянках деформування порід і на ділянці спадної частини діаграми. При перевищенні залишкової міцності відбувається порушення структурних зв'язків у зруйнованому породному об'ємі з його подальшим ущільненням, яке може супроводжуватись зсувами та провертанням породних окремостей між собою. Ділянки діаграми, де мають місце дані деформації, є нелінійними, а їх лінеаризація потребує наукового обґрунтування (рис. 3.3). Перейдемо до визначення параметрів діаграми деформування породного масиву.

Для вивчення особливостей поведінки зруйнованих підстилаючих порід доцільно оперувати не тільки міцністними, а й деформаційними властивостями, оскільки останні характеризують пружну та пластичну деформованість порід під навантаженнями. Між міцністю порід та модулем пружності на базі пористості існує кореляційний зв'язок [318], який може бути показаний степеневими [42, 49] або лінійними [9, 44, 313, 318] залежностями. В останньому випадку залежність за даними випробувань зразків різних порід (мергелів, пісковиків, алевролітів, аргілітів, кварцитів й ін.) [9, 19, 313, 318, 365] може бути представлена, як

$$\sigma_{ст_з} = (0,00127...0,005)E\,, \qquad (3.3)$$

де E – (модуль пружності) умовно-миттєвий модуль деформації породи, МПа; (0,00127…0,005)– діапазон зміни поздовжньої деформації різних порід в залежності від типу та характеру їх навантаження. До цього діапазону відноситься більшість гірських порід [1, 11, 22, 42, 44, 49-53, 61], що показано графічно (рис. 3.4).

Для слабких бічних порід, в умовах відпрацювання вугільних пластів, відповідна залежність може бути встановлена на основі граничних значень

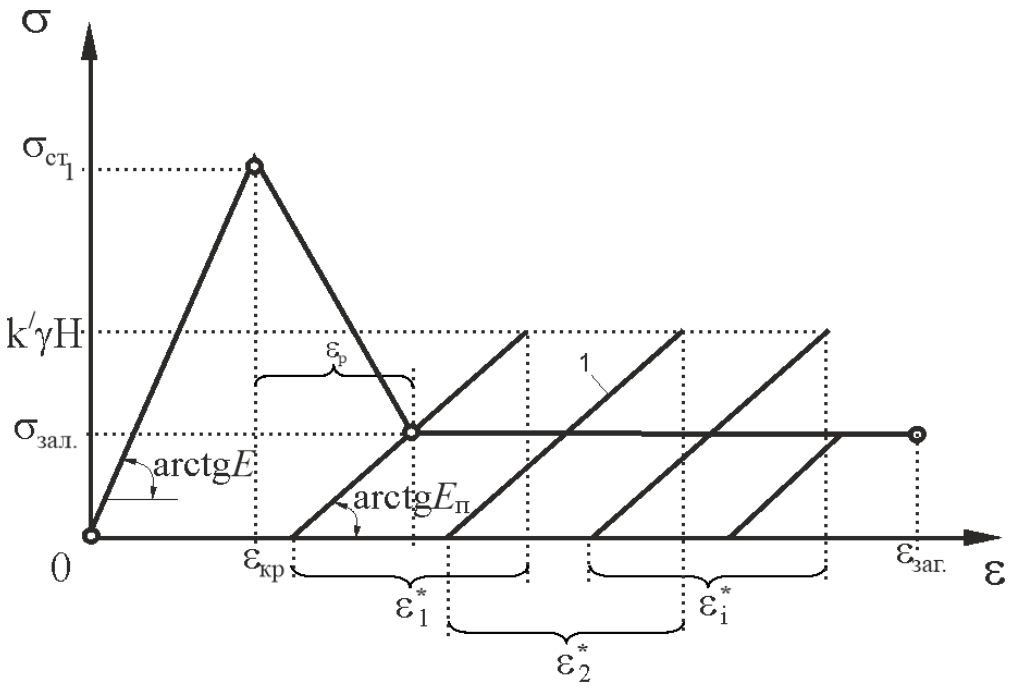


Рисунок 3.3 – Лінійна апроксимація діаграми деформування породного масиву ($\sigma_{ст_1}$ та $\sigma_{зал.}$ – напруження на межі, відповідно, граничної та залишкової міцностей; $k/\gamma H$ – напруження з боку засобу охорони; $\varepsilon_{кр}$ та ε_p – поздовжні деформації, відповідно, на межі граничної міцності та на ділянці між граничною та залишковою міцностями; $\varepsilon_1^*,...,\varepsilon_i^*$ – поздовжні деформації зруйнованих порід на відповідному циклі деформування; E– умовно-миттєвий модуль деформації породи; $E_п$– модуль деформації на межі залишкової міцності; 1- лінеаризація кривої «напруження-деформації» при навантаженні-розвантаженні на ділянці залишкової міцності порід)

механічних характеристик гірських порід Південно-Донбаського та Покровського вугленосних районів та Західного Донбасу, які надані у роботах [245, 351], зокрема для Західного Донбасу наведено у таблиці 3.1. На основі цих даних отримаємо кореляційну залежність міцності вміщуючих порід від умовно-миттєвого модуля їх деформації (рис. 3.4), яка має вигляд

$$\sigma_{ст_з} = 0{,}0028E \ (R^2=0{,}834), \qquad (3.4)$$

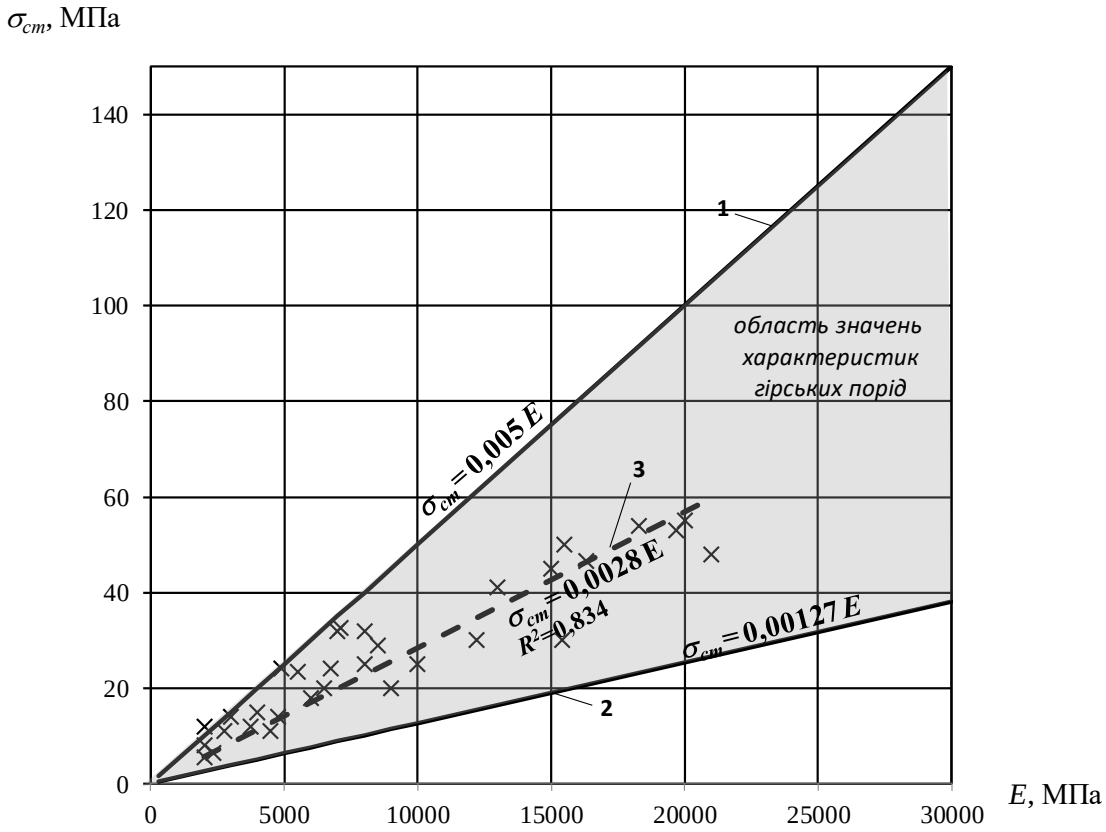


Рисунок 3.4 – Крайові графіки залежності міцності гірських порід від умовно-миттєвого модуля їх деформації для встановлення області значень цих характеристик (1- для типових порід Америки за R. G. Wuerker [9], 2- для карбонатів [318]) та графік залежності для вміщуючих порід Південно-Донбаського, Покровського вугленосних районів та Західного Донбасу (3) (×-маркери за даними, що наведені у працях [245] та [351])

Таблиця 3.1

Значення міцністних та деформаційних характеристик вміщуючих порід Західного Донбасу [245]

Тип гірської породи	Міцність порід на одновісний стиск у зразку $\sigma_{ст_з}$, МПа	Відносна залишкова міцність порід $\frac{\sigma_{зал.}}{\sigma_{ст_з}}$, од.	Умовно-миттєвий модуль деформації породи E, МПа
Глинистий сланець	8...25	0,1...0,25	2000...10000
Піщано-глинистий сланець	15...45	0,08...0,2	4000...15000
Піщаний сланець, пісковик	25...55	0,05...0,15	8000...20000

або зворотній вигляд $$E = 357\sigma_{ст_з}\,. \qquad (3.5)$$

У виразі (3.4) множник 0,0028 є критичною поздовжньою деформацією $\varepsilon_{кр}$ для слабких бічних гірських порід в умовах Південно-Донбаського, Покровського вугленосних районів та Західного Донбасу.

Ділянка спадної частини діаграми деформування (рис. 3.2), на якій відбувається поширення відкритих тріщин і зниження загальної міцності також може бути описана лінійною залежністю [86, 376, 392], а її кут нахилу характеризується модулем спаду *M*, або крихкості. Модуль спаду може бути визначено виразом

$$M = \frac{\sigma_{ст_1} - \sigma_{зал.}}{\varepsilon_{р.}}\,, \qquad (3.6)$$

де $\varepsilon_р$ – поздовжня деформація на ділянці зниження загальної міцності.

Оскільки, згідно [376] відношення $\varepsilon_р/\varepsilon_{кр}$ дорівнює 3,0, а в роботі [86] вказується діапазон від 2,8 до 3,4. Таким чином, на момент досягнення межі спадної ділянки та ділянки залишкової міцності загальні поздовжні деформації гірської породи ($\varepsilon_{кр}+\varepsilon_р$) складуть 0,012 (12 ‰), при перевищенні яких породи переходять у зону зруйнованих порід (рис. 3.1). У цій області породи мають постійну залишкову міцність і циклічно деформуються при її перевищенні напруженнями від дії сил з боку масиву. На кожному циклі деформування відбувається навантаження зруйнованого породного об’єму, яке призводить до закриття тріщин у ньому та утворення структурних зв’язків, після чого спостерігається їх квазіпружне деформування з модулем E_n (рис. 3.3) до моменту, поки діючі напруження знов не перевищать залишкову міцність. Після цього цикли можуть повторюватися і кожен цикл супроводжується зсувами навколишніх порід. Даний механізм пояснює деформаційні процеси в зоні зруйнованих порід, в тому числі просідання засобу охорони відносно поверхні підстилаючих порід.

Циклічність просідання засобу охорони відносно поверхні зруйнованих порід підошви пояснюється зміною структурної міцності даних порід на кожному циклі. Це можна проілюструвати графіком деформацій зруйнованих порід при ступінчастому навантаженні опори (рис. 3.5), що імітує засіб охорони. Зі збільшенням величини навантаження підстилаючі породи під опорою ущільнюються, що призводить до зменшення її просідання та збільшення опору порід. Подібне явище добре досліджено у механіці ґрунтів [384], тому немає необхідності для його ретельного вивчення. Тим паче для розробки заходів щодо забезпечення стійкості засобу охорони на слабких зруйнованих породах найбільш важливою є її максимальна (кінцева) величина просідання засобу.

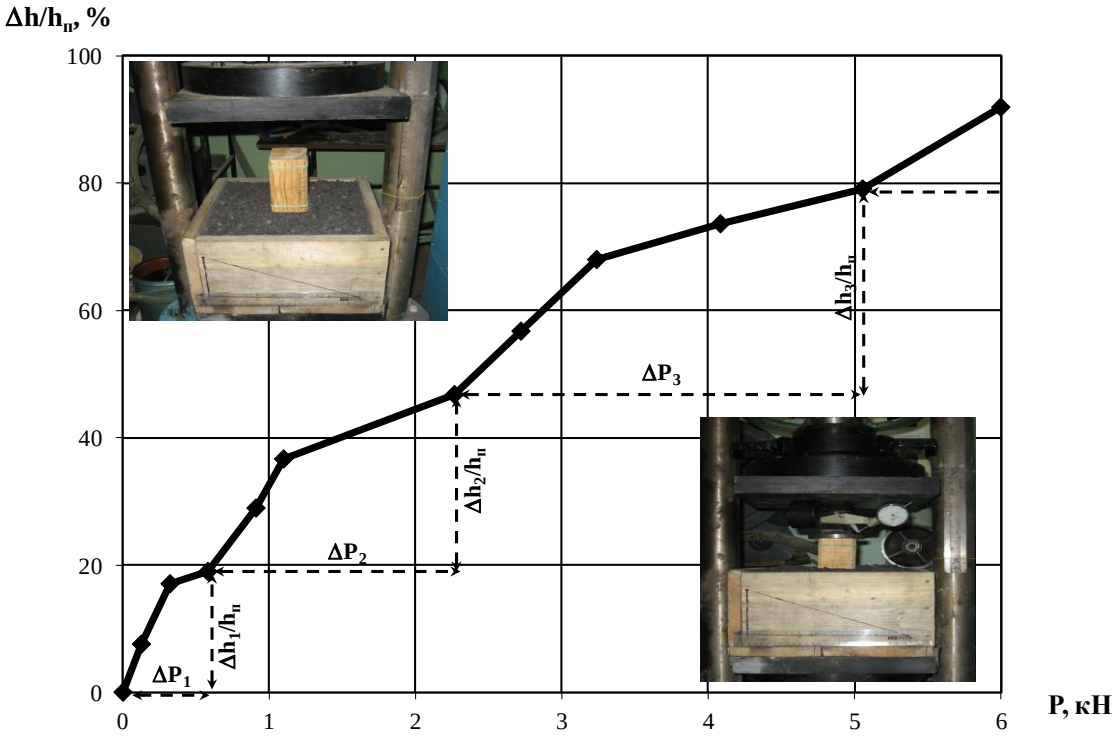


Рисунок 3.5 – Графік зміни просідання штампу відносно поверхні зруйнованих порід $\Delta h/h_п$ при його ступінчастому навантаженні P для пояснення циклічності просідання засобу охорони (де Δh– абсолютна величина просідання, $h_п$ початкова висота штампу)

Просідання засобів охорони мають місце, коли напруження з боку

споруди перевищують опір порід стисканню на межі залишкової міцності. Частіше це відбувається у зоні опорного тиску, де над засобом охорони виникають підвищенні напруження. Тому дане явище, як правило, є проявом опорного тиску.

Характер проявів опорного тиску в підготовчих виробках досліджувався І.Л. Черняком на основі шахтних інструментальних спостережень [387] за інтенсивністю зміщень порід на контурі підготовчої виробки у зонах впливу очисних робіт. Якщо проаналізувати графіки швидкостей зміщень порід покрівлі у виробках, що охороняються позаду лав, можна виділити характерні ділянки виробок, де спостерігається вплив засобів кріплення та охорони на зсуви породного контуру.

За даними [387] для 2-го північного бортового хідника пласта l_1 шахти ім. О.Г. Стаханова (рис. 3.6), який був проведений ще до початку очисних робіт, в зоні опорного тиску позаду лави ділянка з мінімальною швидкістю зміщень припадає на відстань від вибою 0-15 м, де здійснюється кріплення кінцевої ділянки лави та спорудження бутової смуги позаду неї. На ділянці 15-32 м спостерігається збільшення швидкості, що можна пояснити усадкою та просіданням засобу охорони. На відстані понад 32 м спостерігається зменшення швидкості, що пояснюється формуванням опори склепіння обвалення у виробленому просторі [387].

За результатами шахтних спостережень в умовах конвеєрного хідника 11 західної лави пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (рис. 2.8) побудовано графіки середньої швидкості зміщень порід покрівлі та підошви (рис. 3.6). Оскільки виробка проводилася позаду лави, то максимальні швидкості були у прохідницькому вибої, поряд з яким знаходилася кінцева ділянка лави, закріплена дерев'яним індивідуальним кріпленням. На відстані від лави 7-8 м споруджувались накатні костри, які, незважаючи на свою піддатливість, мали більший опір, ніж кріплення на кінцевій ділянці. Це дозволило частково утворити опору для нависаючих порід покрівлі, що призвело

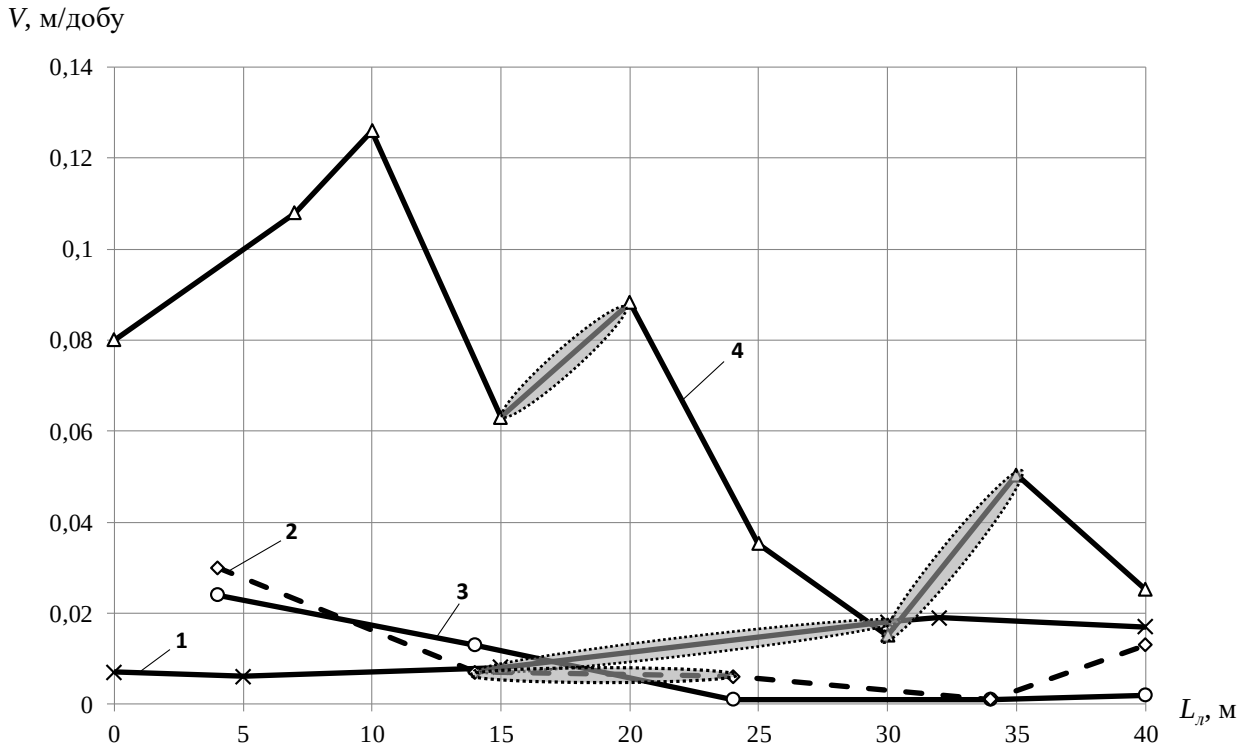


Рисунок 3.6 –Графіки зміни середніх швидкостей зміщень *V* у виробках з віддаленням від лави *L* позаду неї (1- порід покрівлі 2-го північного бортового хідника пласта l_1 шахти ім. О.Г. Стаханова [387]; 2 та 3 – відповідно, порід покрівлі та підошви конвеєрного хідника 11 західної лави пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»; 4- порід покрівлі та підошви конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова; ⋯ – відрізки графіків, які відносяться до характерних ділянок виробки, вздовж яких відбуваються просідання засобів охорони)

до зменшення швидкості у порівнянні з початковою. Тим не менш, основна усадка та просідання кострів відбулися на ділянці 7-14 м. Після цього швидкість зміщень покрівлі продовжувала зменшуватись до відстані від лави 24 м, а у підошві спостерігалися зміщення з постійною швидкістю. Можна припустити, що на ділянці 14-24 м зміщення підошви були спровоковані попереднім просіданням засобу охорони. Надалі, на відстані понад 24 м, відбулася стабілізація зміщень покрівлі, для яких у подальшому швидкість залишалася незмінною та мінімальною. Для підошви зменшення швидкості мало місце на

відстані 24-34 м, після чого було її зростання на 34-40 м та подальше затухання.

Інша ситуація спостерігалася в конвеєрному штреці 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова. Графік конвергенції порід покрівлі та підошви даної виробки показаний на рисунку 2.19, а її швидкості – на рисунку 3.6. У зв'язку з тим, що виробка проводилася з випередженням лави лише на 5 м, а позаду неї на відстані 7 м споруджувалась бутова смуга недостатньої ширини, це призвело до того, що швидкість зближення порід покрівлі та підошви у виробці на сполученні склала від 0,08 до 0,11 м/добу. Завелика піддатливість смуги та інертність її опору діючим навантаженням не дозволили протистояти подальшому зростанню зміщень зі швидкістю 0,13 м/добу на відстані 15 м. Надалі, внаслідок вичерпання піддатливості смуги, швидкість дещо зменшилася до моменту, поки не почалося її вдавлювання у підстилаючі породи, яке позначилося на збільшенні інтенсивності зміщень (це можна спостерігати на ділянці 15-20 м). Потім відбулася тимчасова стабілізація зміщень за рахунок утворення рівноваги у системі «бутова смуга-підстилаючі породи», після чого вдавлювання смуги повторилося на ділянці 30-35 м. У подальшому зміщення мали бути затухаючими, якщо б не порушення рівноважного стану навколо виробки внаслідок підривки порід підошви (рис. 2.18).

Таким чином, в зоні опорного тиску позаду лави, гіпотетично можна виділити одну або декілька характерних ділянок виробки, вздовж яких можуть відбуватися просідання засобів охорони (рис. 3.6). У сприятливих умовах, коли зміщення на контурі виробки є контрольованими у межах допустимих значень, то має бути одна ділянка. Якщо у виробці відбуваються інтенсивні зміщення породного контуру, які неможливо утримати застосуванням засобів кріплення та охорони, таких ділянок буде декілька. Але останній випадок є неприпустимим, оскільки унеможливлює подальшу експлуатацію виробки.

Залишкова міцність певної гірської породи спрощено визначається як частка від граничної міцності. Але для отримання більш точних даних вона встановлюється експериментальним або експериментально-аналітичним

шляхами. У першому випадку, здійснюються лабораторні випробування породних зразків з встановленням необхідних характеристик, у другому – використовуються існуючі методики, вихідними даними до яких є експериментальні дані. Зокрема, залишкова міцність може бути визначена за виразом (3.2), для якого необхідне попереднє визначення певних міцністних і деформаційних характеристик.

У роботі [49], за результатами випробувань породних зразків, запропоновано кореляційну залежність для визначення відносної міцності породного масиву

$$\frac{\sigma_{зал.}}{\sigma_{ст_з}} = -0{,}2\ln\sigma_{ст_з} + 0{,}93, \qquad (3.7)$$

де $\sigma_{ст_з}$ – межа міцності порід у зразку на одновісний стиск, МПа; $\sigma_{зал.}$ – залишкова міцність породи при випробуваннях зразків, МПа.

Вихідною характеристикою у виразі (3.7) є тільки гранична міцність гірської породи у зразку, що робить вираз зручним у використанні та дозволяє виконувати оперативні розрахунки. Але вираз є узагальнюючим і ґрунтується на результатах випробувань магматичних, метаморфічних та осадових гірських порід у широкому діапазоні міцностей (1,2…89,6 МПа). Для умов вуглевміщуючого масиву з характеристиками гірських порід, наведеними у роботі [245] (табл. 3.1), та врахуванням того, що залежність має вигляд $\sigma_{зал.}/\sigma_{ст_з} = -a\ln\sigma_{ст_з} + b$, було отримано кореляційну залежність для осадових порід, яка графічно показана на рисунку 3.7 та має вигляд

$$\frac{\sigma_{зал.}}{\sigma_{ст_з}} = -0{,}1\ln\sigma_{ст_з} + 0{,}47 \cdot \qquad (3.8)$$

(R^2=0,94; $t>t_{кр}$ (102,19>3,18); $F>F_{кр}$ (25,14>9,55))

Отримана регресійна залежність має коефіцієнт детермінації 0,94 при значущих t- та F-критеріях, демонструючи надзвичайно тісний взаємозв’язок

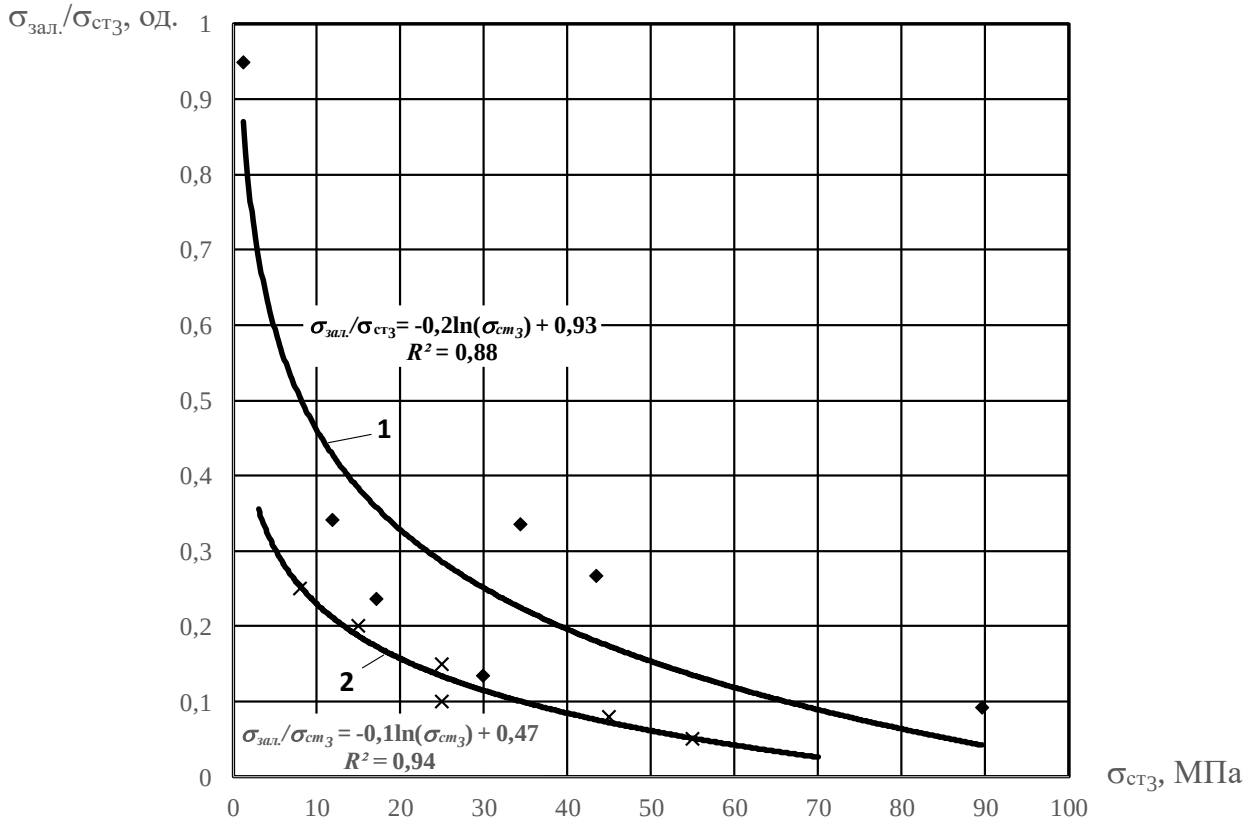


Рисунок 3.7 – Графіки залежності відносної залишкової міцності гірських порід від їх граничної міцності у зразку на одновісний стиск (1- за результатами досліджень Tutluoğlu й ін. [49], 2- отримана для вуглевміщуючих осадових порід)

між відносною залишковою міцністю та граничною міцністю. Значення залишкової міцності, що визначаються з виразу (3.8) для осадових порід, при рівних умовах будуть у 2 рази меншими за ті, які визначаються залежністю (3.7). Тому для визначення залишкової міцності осадових порід більш прийнятним є вираз (3.8).

Оскільки характер деформування породного масиву в зоні непружних деформацій навколо гірничої виробки схожий з їх деформуванням у зразку, що деформується в режимі заданих деформацій [129], з припущенням прийнято, що при втраті несучої здатності порід між їх характеристиками в натурі та зразках зберігається пропорційність, зокрема,

$$\frac{R_{зал.}}{R_{ст_1}} \approx \frac{\sigma_{зал.}}{\sigma_{ст_з}}, \tag{3.9}$$

де $R_{ст_1}$, $R_{зал}$– опори порід стисканню, відповідно, на межі граничної та залишкової міцностей, МПа.

Опір порід стисканню на межі граничної міцності з врахуванням порушеності порід, їх обводнення та реологічних властивостей визначається виразом [132, 245]

$$R_{ст_1} = \sigma_{ст_з} k_c k_w k_t, \tag{3.10}$$

де $\sigma_{ст_з}$ – межа міцності порід у зразку на одновісний стиск, МПа; k_c– коефіцієнт структурного послаблення; k_w– коефіцієнт, що враховує знеміцнення обводнених порід у результаті фільтрації по масиву води (змінюється від 0,4 до 0,8); k_t– коефіцієнт, що враховує зменшення опору породи одновісному стиску при тривалому навантаженні, який розраховується за формулою [132]

$$k_t = \sqrt{0{,}2 + 0{,}326 \lg \sigma_{ст_з}}. \tag{3.11}$$

Тоді опір порід стисканню на межі залишкової міцності за аналогією з (3.10) визначається виразом

$$R_{зал} = \sigma_{зал} k_c k_w k_t, \tag{3.12}$$

а з виразів (3.8)-(3.12) –

$$R_{зал.} = \left(0{,}47\text{-}0{,}1 \ln \sigma_{ст_з}\right) R_{ст_1}. \tag{3.13}$$

та

$$R_{зал.} = \left[0{,}47 - 0{,}1 \ln \sigma_{ст_з}\right] \sigma_{ст_з} k_c k_w k_t. \tag{3.14}$$

Стійкість породного масиву на контурі виробки у роботі [343] описується показником θ, який дорівнює $R_c k_c / \gamma H$. При значенні показника $\theta \geq 1{,}0$ породний

масив характеризується як стійкий (середньостійкий), а при $\theta \leq 1{,}0$ – нестійкий (дуже нестійкий). Подібна ситуація буде й для підстилаючих порід.

З боку засобу охорони на підстилаючі породи діє навантаження з напруженнями $k'\gamma H$. Для забезпечення стійкості порід під засобом охорони необхідне виконання умови $R_{зал.} \geq k'\gamma H$ або $R_{зал.}/k'\gamma H \geq 1$. Це відношення можна вважати критерієм стійкості порід $k_{ст}$, що підстилають засіб охорони, який буде визначатися за формулою

$$k_{ст} = \frac{R_{зал.}}{k'\gamma H}, \tag{3.15}$$

яка може мати вигляд

$$k_{ст} = \frac{\left[0{,}47 - 0{,}1\ln \sigma_{ст_з}\right]\sigma_{ст_з} k_c k_w k_t}{k'\gamma H} \tag{3.16}$$

де k' – коефіцієнт концентрації напружень на контакті засобу охорони та порід підошви ($k' = 1{,}0...1{,}3$), $\sigma_{ст_з}$ – межа міцності підстилаючих порід на одновісний стиск у зразку, МПа.

Якщо $k_{ст} \geq 1$, то підстилаючі породи будуть зберігати стійкість, а при $k_{ст} < 1$ – вдавлюватись під охоронною спорудою, тобто умова їх стійкості буде мати вигляд

$$\left[0{,}47 - 0{,}1\ln \sigma_{ст_з}\right]\sigma_{ст_з} k_c k_w k_t \geq k'\gamma H\,. \tag{3.17}$$

У тому випадку, коли умова (3.17) не виконується, мають місце просідання засобу. Тоді залежність між просіданнями порід підошви та напруженнями з боку засобу охорони буде подібна залежності, яка показана на рисунку 2.26, та криволінійним ділянкам діаграми на рисунку 3.3. За результатами чисельного моделювання (розділ 2) ця залежність може бути лінеаризована. Тоді з виразу (2.41) загальне відносне просідання засобу охорони визначається виразом

$$\varepsilon^* = 0{,}835 m_v k' \gamma H \tag{3.18}$$

або

$$\varepsilon^* = 0{,}835 \left(1 - \frac{2\mu_n^2}{1-\mu_n}\right) \frac{k'\gamma H}{E_n}, \tag{3.19}$$

де m_v– коефіцієнт відносної стисливості порід підошви, МПа$^{-1}$; μ_n – коефіцієнт відносної поперечної деформації порід підошви, од; E_n – модуль деформації порід на межі залишкової міцності (МПа), який може бути визначено виразом $E_n = \zeta E$ (де E– умовно-миттєвий модуль деформації породи, МПа; ζ – показник втрати гірською породою пружності. Визначається експериментально або приймається таким, що дорівнює 0,17).

Треба зазначити, що сумарна відносна усадка з просіданням засобу охорони визначається з виразу (2.45).

Умовою стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» буде забезпечення рівноваги між діючими напруженнями з боку порід покрівлі $k\gamma H$ (МПа), несучою здатністю засобу охорони $P_{охор.}$ (МПа) і опором підстилаючих порід $R_{зал}$. Для цього має виконуватись умова

$$\min(P_{охор.}; R_{зал.}) \geq k\gamma H \,. \tag{3.20}$$

Природний опір підстилаючих порід $R_{зал.}$ визначається дослідним шляхом або з виразу (3.14). Якщо природнього опору недостатньо для забезпечення стійкості підстилаючих порід, то за рахунок використання технологічних заходів (анкерування підошви, ущільнення, ін'єкційне зміцнення зруйнованих порід в'яжучими тощо) необхідно його збільшити до $R_{зал._y}$ або змінити напружений стан над охоронною спорудою. За рахунок таких заходів можна не тільки змінювати деформаційні властивості масиву, але й якісно модифікувати його позамежну поведінку [86]. Ефективність їх використання може бути визначена коефіцієнтом k_y, який показує відношення коефіцієнту

стійкості за рахунок використання заходів та без них, тобто $k_y = k_{ст_y} / k_{ст}$ або

$$k_y = \frac{k' R_{зал._y}}{k'_y R_{зал.}} . \qquad (3.21)$$

На даний момент існують технології охорони підготовчих виробок, які базуються на управлінні напружено-деформованим станом порід навколо виробки, але питання щодо зміцнення слабких порід під засобом охорони залишається не вирішеним. Разом з тим і перше питання не можна вважати повністю вирішеним, оскільки існуючі технології розроблені для певних умов та у більшості випадків вони є дорогими та трудомісткими.

Ефективними технологічними рішеннями щодо зміцнення бічних порід навколо виробок вважаються: використання анкерних систем та зміцнення порід нагнітанням скріплюючих сумішей. Цьому питанню присвячена велика кількість наукових робіт та особливої уваги заслуговують заходи, які застосовуються у зруйнованих породах. До таких можна віднести роботи [86, 114, 151, 179, 187, 197, 241, 325, 343, 359, 367].

В роботі [343], як один з можливих способів стабілізації деформаційних процесів у приконтурному масиві, розглядається анкерне кріплення, що встановлюється по контуру виробки на етапі стабілізації цих процесів. Для цього пропонується використання сталеполімерних анкерів високою несучою здатністю, щільністю не менше 1,0 анк./м^2, довжиною не менше 2,5 м (для покрівлі та боків виробки) та не менше 3,75 м (для підошви), у формі зони підвищеної тріщинуватості. Анкери мають бути довшими ніж ширина зони підвищеної тріщинуватості та одним кінцем закріплюватись за її межами. Тоді забезпечується зміцнення вуглевміщуючих порід у 1,15...1,85 рази.

В роботі [86] пропонується встановлення анкерів у порушених масивах з мінімальною несучою здатністю та максимальною щільністю, яка обумовлена розмірами породних блоків. Для підвищення ролі даного фактору пропонується анкери закріплювати по всій довжині. Тоді коефіцієнт

підвищення опору масиву може бути збільшено у 2 рази. Схожий результат було доведено у дослідженні [151], де встановлено, що при суцільному закріпленні анкера несуча здатність масиву збільшується на 90 %. Крім того, зазначається, що при точковому закріпленні збільшення буде на 30 %.

В роботах [86, 151, 343] розглядається анкерування контуру виробки, а для порід, що підстилають засіб охорони, це питання потребує додаткових досліджень.

У роботі [187] доведено, що в умовах утворення зони зруйнованих порід ефективне підвищення стійкості виробок може бути забезпечено за рахунок створення вантажонесучої оболонки із зруйнованих порід і анкерного кріплення, що встановлюються в такому напрямку, який би забезпечував підвищення зчеплення між породними фрагментами зруйнованого масиву та створювало максимальні перешкоди їх переміщенню в порожнину виробки. Для забезпечення стійкості слабких підстилаючих порід, які знаходяться у позамежному стані, доцільне використання схеми анкерування за великими діагоналям куба уздовж осі виробки [325], яка дозволяє збільшити несучу здатність заанкерованих порід в 1,34...2,2 рази при щільності встановлення анкерів не більше 1,6 анк./м^2. При установці анкерів за цією схемою відносні деформації створюваної породо-анкерної конструкції в межах заанкерованої зони досягають 10% від її товщини при збереженні несучої здатності останньої. При альтернативних традиційних схемах відносні деформації породо-анкерних конструкцій і їх несучі здібності менші [329]. При схемі зі зміщеними діагоналями куба забезпечується залишкова міцність зруйнованих порід до рівня 83 % від міцності монолітного зразка. Цю схему технологічно не складно реалізувати для зміцнення порід, що підстилають охоронну споруду, оскільки буріння шпурів і установка анкерів може здійснюватися із сусідньої виробки та привибійного простору кінцевої ділянки лави під коли не відбуваються видобувні роботи.

Відомі способи ущільнення та зміцнення порід механічними,

термічними, хімічними та фізико-хімічними способами [86, 122, 123, 179, 187]. Ці способи використовується як окремо, так і разом з іншими заходами (попереднім розпушенням порід, електроосмосом, вакуумуванням, використанням енергії вибуху тощо).

Інструкція щодо укріплення гірських порід хімічними розчинами наведена у праці [122]. У дисертаційному дослідженні [187] обґрунтоване використання хімічних смол для зміцнення тріщинуватих порід і створення локальних укріплених зон, а у дослідженні [179] розглянуті існуючі смоли щодо можливості закріплення ними гірських порід, проведено їх порівняння щодо токсичності, пожежонебезпеки, дефіцитності та вартості. Найбільш безпечними смолами, які випускаються в Україні визнано карбамідні смоли КФ-МТ-15 та «СКАТ». Зразки роздрібнених порід та вугілля з вмістом 5% складу СКАТ закріплюються до рівня 73…78 % від міцності непорушених зразків [179].

Використання хімічних смол дозволяє суттєво зміцнити зруйновані породи, але в певних умовах таке зміцнення може бути надмірне та не доцільне. Тоді можна обмежитись цементуванням порід в межах локальної укріпленої зони, яке забезпечує зміцнення порід до рівня 8…60 % від міцності непорушених зразків. Міцність порід на одновісний стиск після зміцнення визначається за даними випробувань, що проводяться в спеціалізованих організаціях, але усереднено коефіцієнт зміцнення $\zeta = R_{зал._y} / \sigma_{ст_з}$ може бути визначено в залежності від складу цементно-водного розчину для аргілітів, алевролітів і пісковика за графіками (рис. 3.8), побудованим за результатами лабораторних випробувань для розчину на портландцементі марки 400 [319]. Також вказівки щодо зміцнення тріщинуватих порід в приконтурній зоні цементними та цементно-піщаними розчинами наведені у документі [373].

Співставлення рисунків 3.7 та 3.8 дозволяє встановити величину зміцнення порід цементно-водним розчином у залежності від вмісту компонентів та типу порід, які зміцнюються. Якщо розглянути гірські осадкові

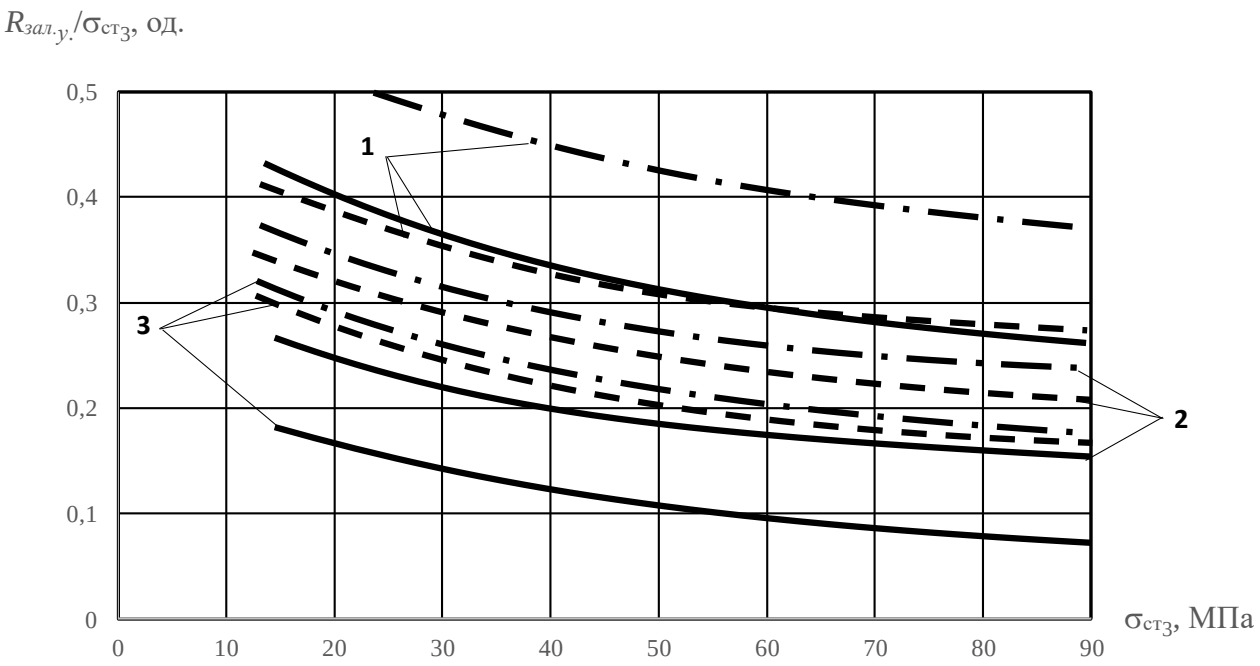


Рисунок 3.8 – Графіки залежності залишкової міцності укріплених гірських порід від їх граничної міцності в недоторканому масиві для різних типів порід (— . — - пісковик, — — - алевроліт, ——- аргіліт) та складу цементно-водного відношення (1- В:Ц=1:2; 2- В:Ц=1:1; 3- В:Ц=2:1) [319]

породи з міцністю на одновісний стиск у діапазоні від 15 до 50 МПа, то їх залишкова міцність, відповідно, від $0{,}18\sigma_{ст_з}$ до $0{,}08\sigma_{ст_з}$ при нагнітанні такого розчину може бути збільшена у 1,1…5,3 рази (табл. 3.2). При анкеруванні та зміцненні карбамідними смолами, про які йшлось раніше, залишкова міцність збільшується в 4,5…10 разів.

Аналогом цементування є зміцнення порушених порід фосфогіпсовими в’яжучими. Фосфогіпсовий розчин при затвердінні зберігає свій об'єм, утворюючи монолітний камінь. Проникаюча здатність цього розчину в тріщинах в 1,5 рази вища, ніж цементного [123].

Вичерпність проведених досліджень щодо укріплення тріщинуватих порід виключає необхідність у подальшому підтвердженні або спростуванні їх результатів. Але є необхідність щодо визначення оптимальних параметрів локальних зон зміцнення слабких порід під засобом охорони. У такому аспекті

Таблиця 3.2

Зведена таблиця результатів визначення залишкової міцності порід

Межа міцності порід у зразку на одновісний стиск $\sigma_{ст_з}$, МПа	Відносна залишкова міцність гірських порід у зразку $\sigma_{зал.}/\sigma_{ст_з}$	Відносна залишкова міцність гірських порід у масиві $R_{зал._у}/R_{ст_з}$ з різним цементно-водним відношенням		
		В:Ц=2:1	В:Ц=1:1	В:Ц=1:2
15	0,18	0,19…0,31	0,27…0,37	0,41…0,54
20	0,17	0,17…0,29	0,25…0,35	0,39…0,51
30	0,13	0,14…0,26	0,21…0,31	0,36…0,48
40	0,10	0,12…0,23	0,20…0,29	0,33…0,45
50	0,08	0,11…0,22	0,19…0,27	0,31…0,42

це питання не розглядалося.

При ефективному створені стійких локальних зон під засобом охорони можна використовувати охоронні конструкції з незначним опором нависаючим породам. Разом з тим, не завжди технологічно можливим буде зміцнення слабких порід. Наприклад, такі випадки можуть бути при наявності у підошві пластичних порід або неможливості закріплення анкерів у потужному нестійкому шарі порід [343]. Тоді доцільними будуть заходи, які дозволять управляти напружено-деформованим станом навколо засобу охорони для зменшення зміщень порід у порожнину виробки. До таких заходів можна віднести використання засобів охорони спеціальної форми. Це питання на даний момент розглядалося науковцями, але в умовах слабких підстилаючих порід воно не достатньо розкрите, що унеможливлює широке використання існуючих результатів.

У результаті виявлення нових підходів щодо вирішення проблеми забезпечення стійкості підготовчих виробок, які підтримуються позаду лав, за рахунок управління напруженим станом навколо засобів охорони або підвищення несучої здатності зруйнованих порід навколо них були сформульовані наступні положення:

1. Підстилаючі породи підошви на момент спорудження засобу охорони

знаходяться у стадії позамежних деформацій та їх опір визначається залишковою міцністю;

2. Уточнено кореляційний зв'язок між відносною залишковою міцністю осадових порід з їх граничною міцністю на стискання для визначення опору зруйнованих порід стисканню на межі залишкової міцності з врахуванням їх обводненості, тріщинуватості та реологічних властивостей;

3. Просідання засобів охорони відносно поверхні слабких підстилаючих порід є циклічним і відбувається на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід, коли загальні поздовжні деформації шару гірських порід перевищать 12 ‰, а напруження від дії засобу охорони перевищать опір порід стисненню на межі залишкової міцності, що супроводжується порушенням структурних зв’язків у зруйнованому породному об’ємі з його подальшим ущільненням, внаслідок зсувів та провертань породних окремостей між собою;

4. На окремому циклі просідання засобу охорони відносна поздовжня деформація шару слабких порід підошви визначається показником відносної стисливості порід та напруженнями з боку засобу охорони;

5. Ефективним технологічним рішенням щодо забезпечення стійкості порід, підстилаючих засоби охорони, може бути створення локальних укріплених зон під ними за допомогою анкерних систем, хімічних смол, фосфогіпсових розчинів або цементуванням. Ці зони будуть являти собою стійкі, відповідно, породо-анкерні, породо-полімерні або породо-цементні конструкції, здатні витримувати навантаження від дії ваги нависаючих порід покрівлі.

3.2 Розгляд параметрів локальних укріплених зон для забезпечення стійкості засобів охорони на слабких породах підошви

Поняття локальна укріплена зона було вперше запропоноване проф. М.М. Касьяном [187, 190], під якою розумілася обмежена за розмірами область у зоні зруйнованих порід навколо гірничої виробки, яка

розміщувалася між клиноподібними секторальними дільницями та зміцнювалась за допомогою анкерів і скріплюючих сумішей. За рахунок розміщення локальних укріплених зон за певною схемою забезпечувалось самозаклинювання зруйнованих порід між цими зонами, що дозволяло збільшити вантажонесучу здатність цих порід.

Пізніше з'явилися дослідження [176, 177, 331, 332], у яких розглядалась локальна зона у підошві виробки, яка створювалась за допомогою саморозширення суміші або локальні зони – за допомогою твердючих розчинів, що подавалася у шпури, пробурені за спеціальними схемами.

У даній роботі локальна укріплена зона розміщується у слабких породах під засобом охорони для забезпечення їх стійкості утворенням цільної або консолідованої конструкції з використанням анкерів або скріплюючих сумішей, яка здатна утримувати діючі на них навантаження з боку засобу охорони (рис. 3.9).

При обмеженій ширині охоронної споруди та навантаженні зруйнованого масиву в напрямку від засобу охорони до масиву достатньо створити цільну конструкцію з обмеженими розмірами по ширині та висоті. Форма локальної зони може бути будь-якою, хоча, коли вона правильна (прямокутна, трикутна тощо) (рис. 3.9 а, б, в, г, д), будуть ускладнення з забезпеченням направленого зміцнення порід та рівномірного розповсюдження скріплюючих сумішей у зоні зруйнованих порід із заданою формою. Більш реальною формою зони може бути еліпсоподібна з орієнтацією найбільшою віссю перпендикулярно (рис. 3.9 е) або паралельно (рис. 3.9 ж, з) поверхні підошви.

Стійкість засобів охорони забезпечується глибиною заглиблення локальної зони, а процес деформування слабких порід підошви можна вважати подібним до процесу, який відбувається навколо фундаментів будівель та споруд [302, 384]. Крім того, навантаження від покрівлі на засіб охорони, як правило, позацентрове, тому локальна зона може бути асиметричною відносно осі засобу охорони (рис. 3.9 з).

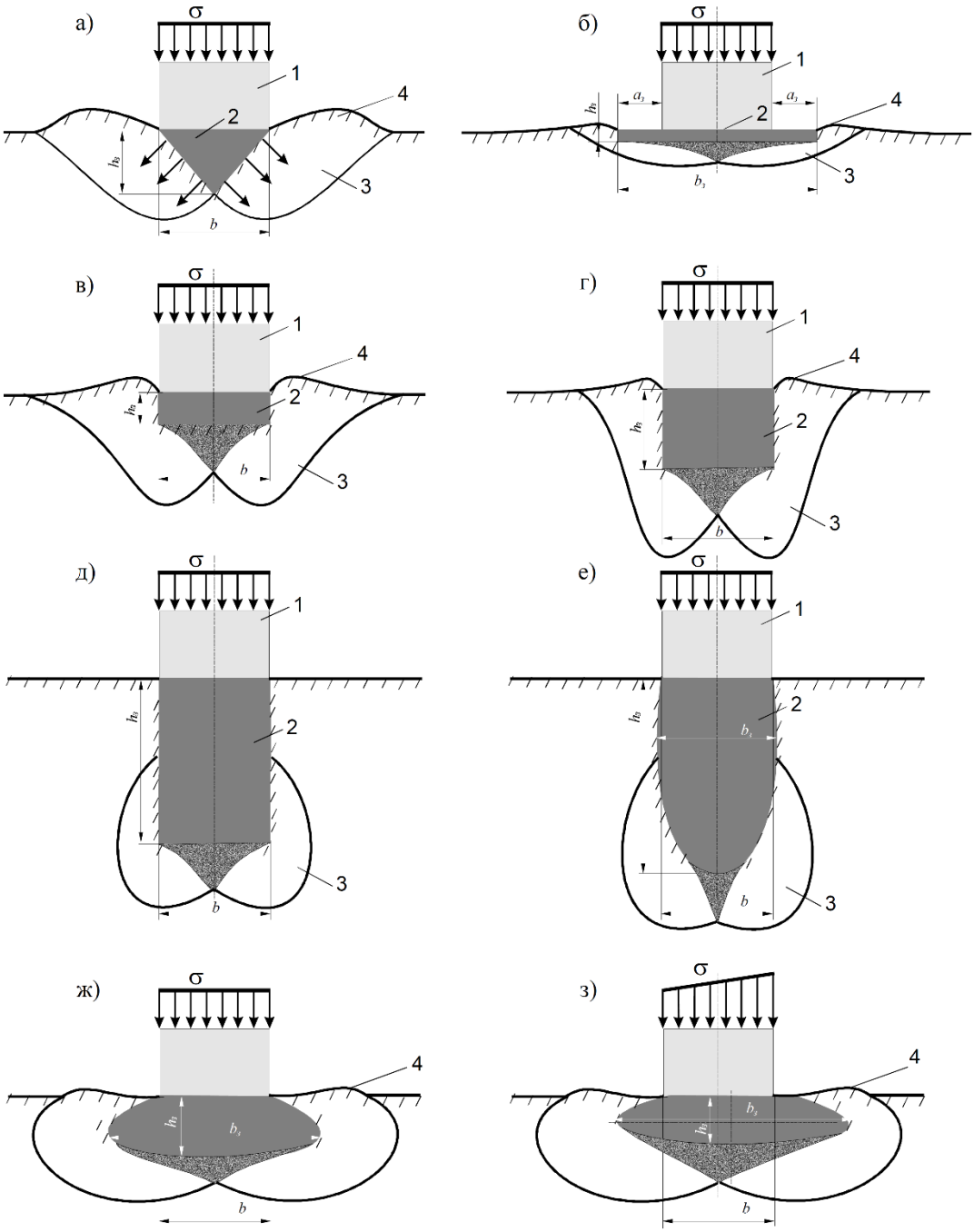


Рисунок 3.9 – Схеми розміщення засобу охорони 1 над локальними укріпленими зонами 2 з різними формами та заглибленням (а – трикутна, б – плитна зона, в – прямокутна мілкого закладення, г – прямокутна середньої глибини, д – прямокутна глибокого закладення, е – еліпсоподібна вертикальна глибокого закладення, ж – еліпсоподібна горизонтальна середньої глибини, з – еліпсоподібна горизонтальна середньої глибини зі зміщеною віссю, 3 – область граничної рівноваги, 4 – вали випирання)

Визначення оптимальних параметрів локальних зон зводиться до встановлення (за умови стійкості) оптимальних форм та лінійних розмірів на основі фізичного та чисельного моделювань на плоских моделях.

Для ґрунтів великий вплив на їх стійкість має глибина закладення фундаменту [302], для класифікації яких прийняте співвідношення глибини закладення фундаменту d до його ширини b. Фундаментами мілкого закладення вважаються фундаменти при $d/b<0,5$, середньої глибини закладення – $0,5\leq d/b<2$, глибокого – $2\leq d/b\leq 4$ та дуже глибокого закладення $d/b>4$. Для умов слабких порід підошви показник d/b також буде визначати стійкість порід, тому застосуємо класифікацію закладення фундаментів і для локальних укріплених зон.

3.3 Встановлення ефективності закладання локальних укріплених зон під засобами охорони

Для обґрунтування та розробки оптимальних форм та розмірів локальних укріплених зон, що будуть створюватись у слабких породах підошви для забезпечення стійкості підготовчих виробок необхідно визначити ефективність цих заходів. Для цього скористаємося методом фізичного моделювання з використанням еквівалентних матеріалів, який дозволяє дослідити механічні процеси [255, 284], які відбуваються навколо засобу охорони та виробки, що охороняється, при дотриманні умов подібностей [263, 355] (геометричної, кінематичної, динамічної та механічної) та рівнянь:

– для лінійних розмірів

$$\left(\frac{l_м}{l_н}\right)=const, \tag{3.22}$$

де $l_м$ та $l_н$– лінійні розміри, відповідно, в моделі та натурі, м;

– для зовнішніх сил

$$P_м = P_н\left(l_м / l_н\right)^3 \cdot \left(\gamma_м / \gamma_н\right), \quad (3.23)$$

де $P_м$ та $P_н$– величина сили, відповідно, в моделі та натурі, кН; $\gamma_м$, $\gamma_н$– питома щільність, відповідно, матеріалу моделі та гірських порід, Н/м^3;

– для процесів руйнування:

$$N_м = \left(l_м / l_н\right) \cdot \left(\gamma_м / \gamma_н\right) \cdot N_н, \quad (3.24)$$

$$\rho_м = \rho_п, \quad (3.25)$$

де $N_м$ та $N_н$– механічні характеристики, відповідно, в моделі та натурі, кПа; $\rho_м$ та $\rho_п$– відповідно, кути внутрішнього тертя матеріалу моделі та зруйнованих порід.

На початковому етапі розглядалася технологія охорони гірничої виробки з закладенням на деякій глибині засобу охорони відносно поверхні підошви пласта [255, 284]. Тобто постановку задачі було спрощено за рахунок заміщення звичайного засобу охорони та локально укріпленої зони однією цілісною конструкцією (рис. 3.10).

Моделювалися умови відпрацювання пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» на плоских фізичних моделях з укладанням еквівалентних (піщано-каніфолієво-парафінових) шарів, навантаженням моделі, вийманням технологічних порожнин (підготовчих виробок та очисного вибою між ними) з встановленням засобів кріплення та охорони (рис. 3.11) за відомими методиками [247, 248, 366]. Для кріплення виробок використовувались смужки з латунної фольги (рис. 3.12), а для кріплення лави– опори з пінопласту. Засоби охорони в різних моделях імітувалися паралелепіпедами з деревини та пінопласту різної піддатливості від дії навантаження з боку покрівлі (непіддатливі ε=0 та піддатливі ε=0,20...0,44).

Для моделювання проявів гірського тиску був використаний плоский

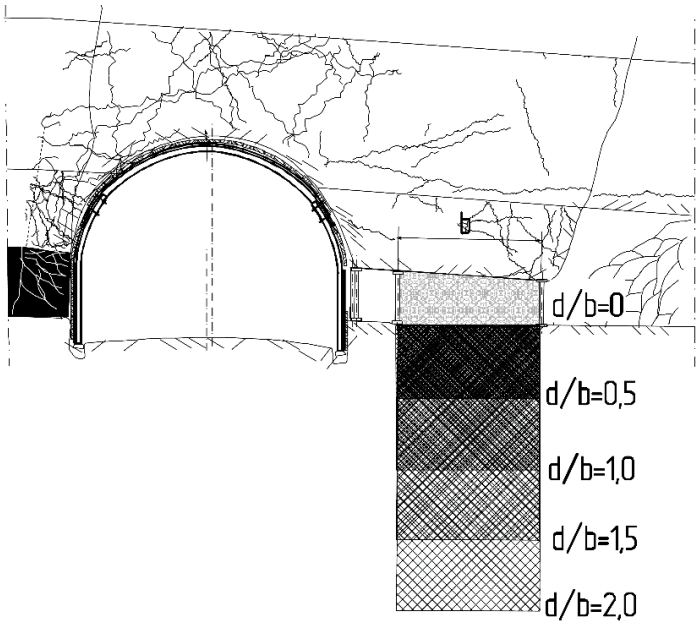


Рисунок 3.10 – Схема розміщення охоронної конструкції з різним заглибленням її відносно поверхні підошви

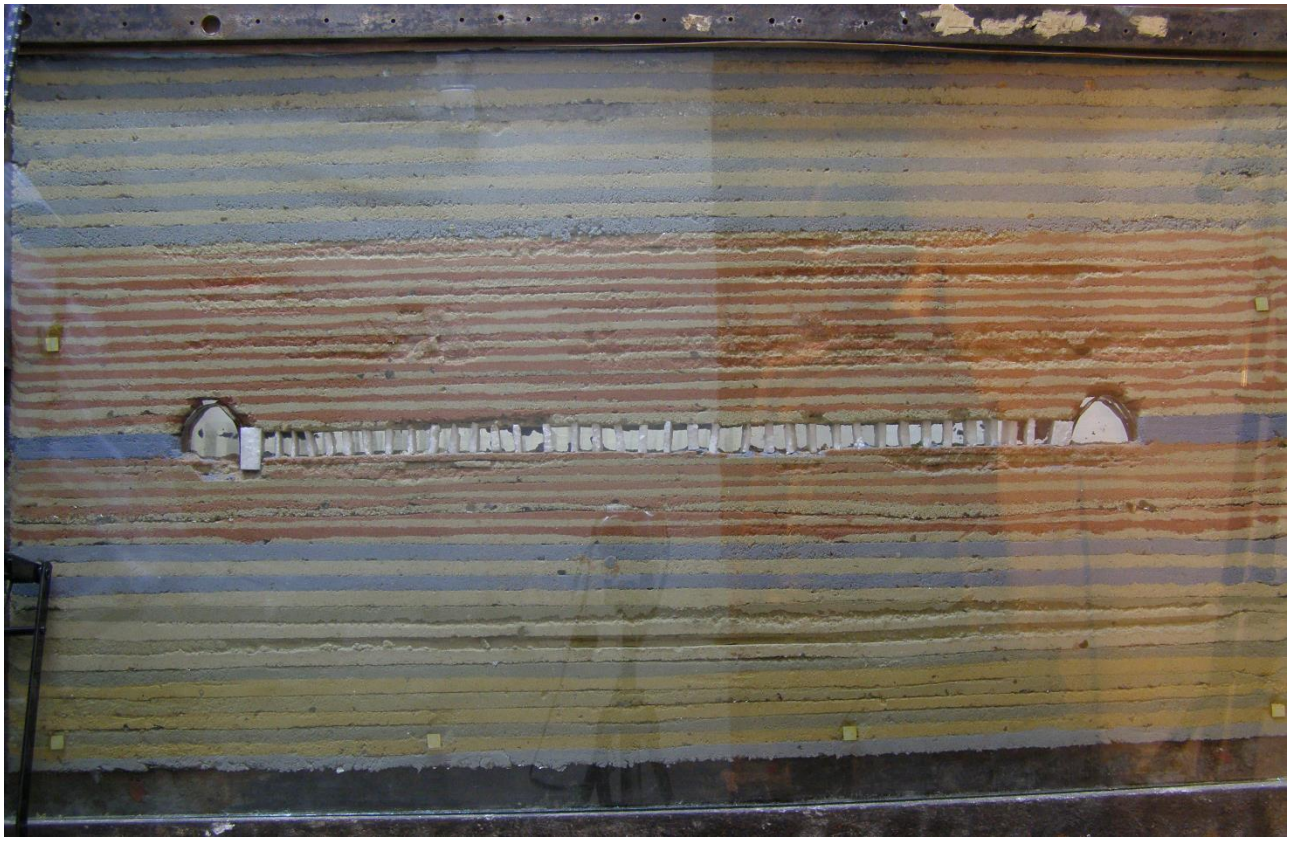


Рисунок 3.11 – Загальний вигляд моделі з використанням еквівалентних матеріалів

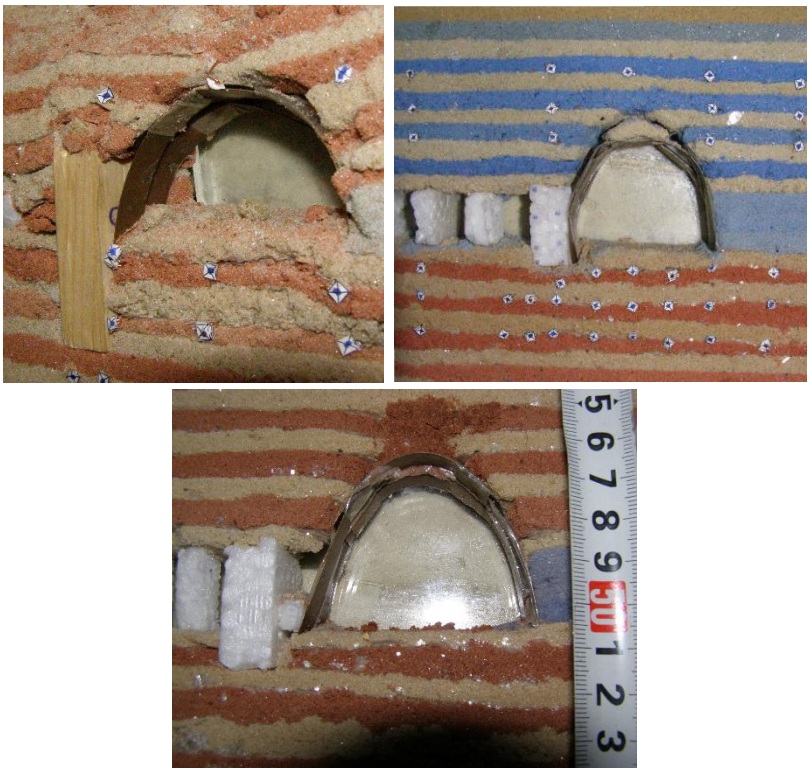


Рисунок 3.12 – Загальний вигляд виробок та охоронних споруд у моделях

стенд, який представляв собою жорстку рамну конструкцію з внутрішніми робочими розмірами 0,90×0,55×0,03 м. З лицьової та задньої сторони він був закритий силікатним склом. Масштаб моделювання прийнято 1:100, тобто моделювався масив порід у переведенні на натуру 90×55×3 м.

При відпрацюванні моделей вони перебували під постійним навантаженням, результатом дії якого були деформації породних шарів, контуру виробки, а також засобів кріплення й охорони (рис. 3.13, 3.14).

Аналіз результатів моделювання (рис. 3.13, 3.14) показує, що зміщення порід на контурі виробок були неоднакові, а їх результатом була втрата поперечного перерізу в більшій мірі за рахунок зсувів порід покрівлі. Спорудження засобу охорони з закладенням його нижче поверхні підошви дозволило зменшити зміщення у виробці та зберегти її перетин на рівні 76 % від початкового. Наприклад, у моделях №1 (рис. 3.13 а) та №2 (рис. 3.14 а) засоби охорони були жорсткими з однаковим співвідношенням розмірів b/h=0,5 (b та h – відповідно, ширина та висота засобу охорони), але різною

а) б)

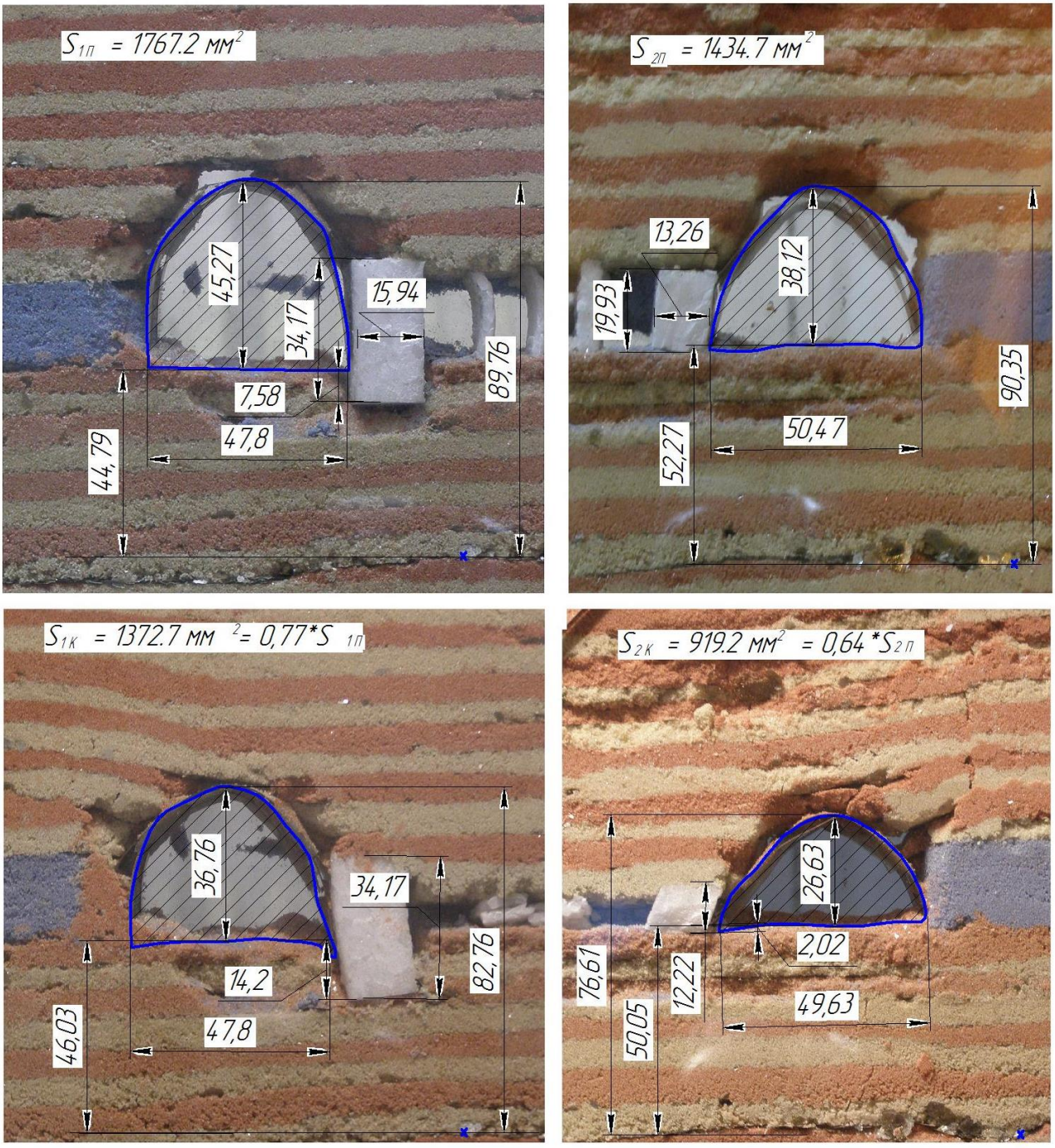


Рисунок 3.13 – Загальний вигляд охоронних споруд та виробок в моделі №1 на початку вимірювань поперечних перетинів першої (а) та другої (б) виробок (відповідно, $S_{1П}$ та $S_{2П}$) та наприкінці вимірювань (відповідно, $S_{1К}$ та $S_{2К}$)

а) б)

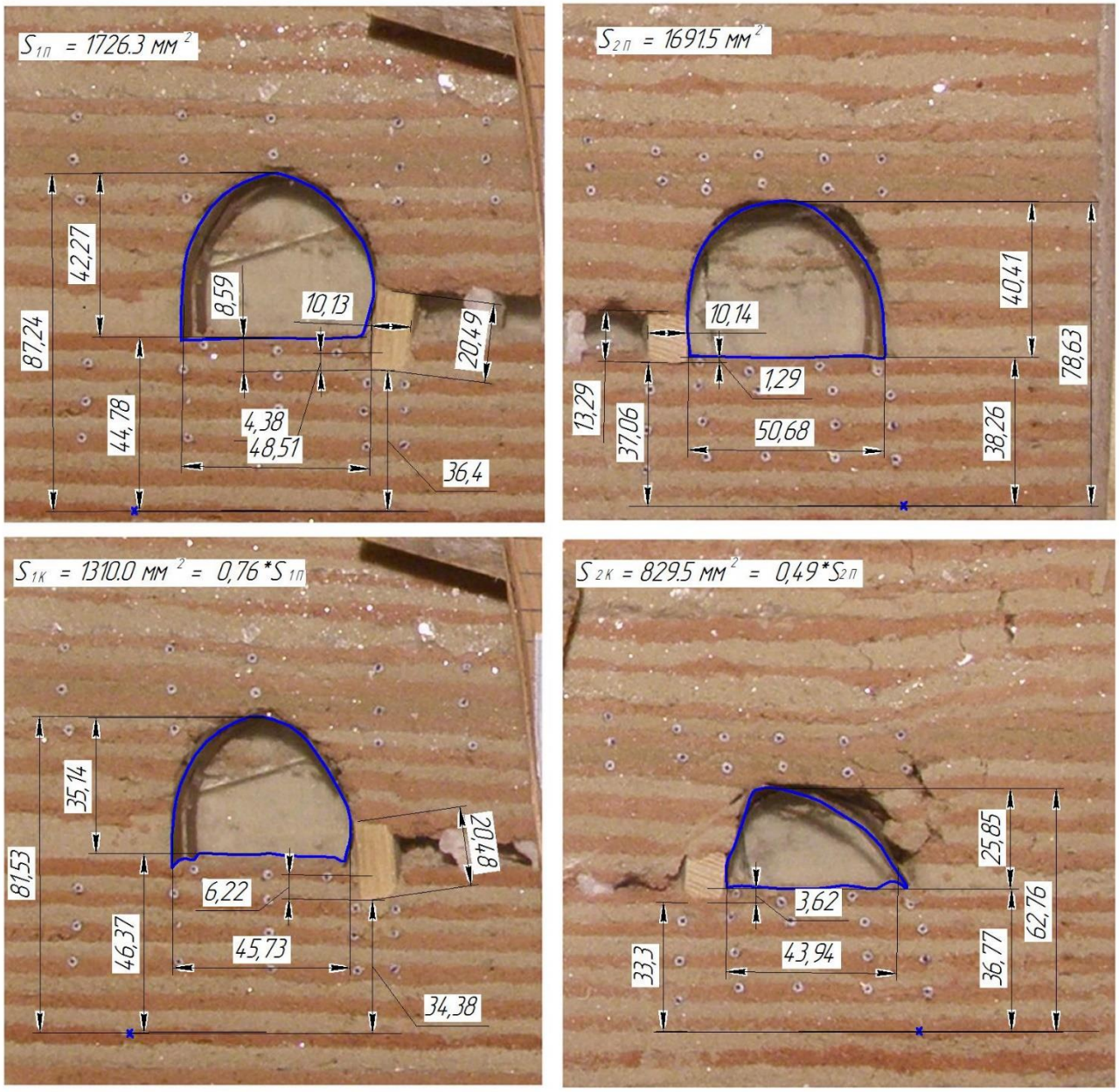


Рисунок 3.14 – Загальний вигляд охоронних споруд та виробок в моделі №1 на початку вимірювань поперечних перетинів першої (а) та другої (б) виробок (відповідно, $S_{1П}$ та $S_{2П}$) та наприкінці вимірювань (відповідно, $S_{1К}$ та $S_{2К}$)

висотою над рівнем підошви $h_{нп}$ (відповідно, $b/h_{нп}$ =1 та $b/h_з$ =0,75). Їх заглиблення у породи підошви складали, відповідно, d=0,5 b та d=b, а залишковий перетин був майже однаковий ($S_{1П}$ =0,76...0,77 $S_{1П}$), але частка зміщень порід покрівлі у виробці в загальній конвергенції дещо відрізнялася і склала, відповідно, 77,7 (рис. 3.13 а) та 85,4 % (рис. 3.14 а).

Для виробок, які охоронялись засобами без заглиблення (на рис. 3.13 б –b/h= $b/h_{нп}$ =0,67; на рис. 3.14 б – b/h= $b/h_{нп}$ =0,75), але мали різну піддатливість площі поперечного перетину, зменшилися на 36 та 51 %, причому найгірший показник відноситься до жорсткої опори (рис. 3.14 б). Велика втрата перетину в обох виробках була за рахунок суттєвих зміщень покрівлі, частки яких від загальної конвергенції для моделей №1 та №2 склали, відповідно, 81 та 89,7 %. Треба відзначити, що при охороні більш жорсткою конструкцією мало місце проколювання підстилаючих порід на 17,5 % від висоти охоронної споруди, при піддатливій опорі – проколювання не спостерігалося. Саме жорсткість споруди є найбільш вірогідною причиною гіршого стану виробки, оскільки саме над цією спорудою та під нею можна побачити зони зминання бічних порід (рис. 3.14 б).

Відпрацювання аналогічних моделей з різними параметрами засобів охорони (додаток Л) дозволило встановити графіки залежності залишкової площі перетину виробок від часу навантаження цих моделей (рис. 3.15) та графік залежності залишкового перетину від величини заглиблення охоронних споруд (крива 1, рис. 3.16). З графіків випливає, що найгірший стан виробки в умовах слабких порід підошви буде при відсутності заглиблення охоронної споруди, а найкращій – при її заглибленні на 0,8b (рис. 3.15). При заглиблені понад 1,75b отримано гірший результат за рахунок збільшення зміщень порід покрівлі у виробці. У підсумку можна рекомендувати величину заглиблення конструкції 1,0b (рис. 3.16), а з 5-ти відсотковим відхиленням – діапазон від 0,45b до 1,75b.

Схожий результат було отримано при чисельному моделюванні стану трапецієподібної виробки, яка охоронялася литою смугою, яке описано у роботі

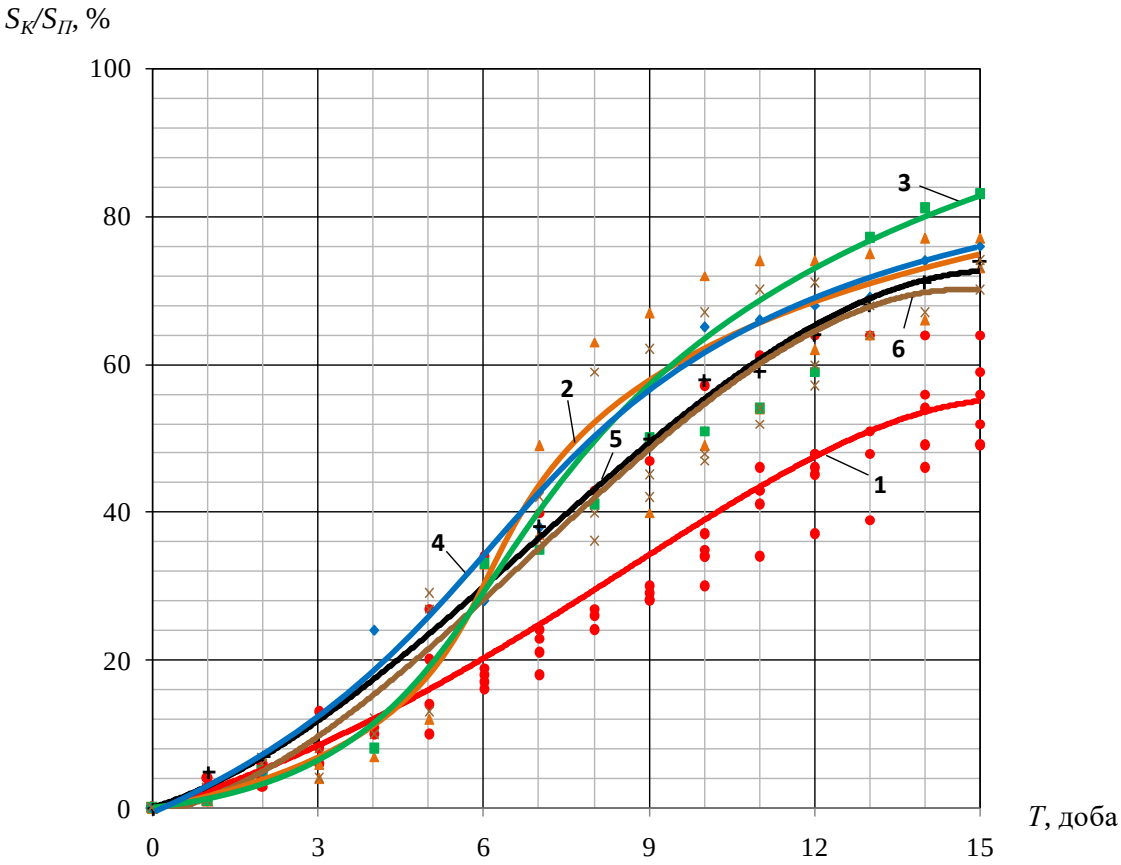


Рисунок 3.15 – Графіки залежності відносних площ залишкових поперечних перетинів $S_K/S_П$ виробок від часу відпрацювання моделей T з різними параметрами засобів охорони (1 - d=0; 2 - d=0,5b; 3 - d=0,8b; 4 - d=1b; 5 - d=1,3b; 6 - d=2,0b)

[273]. Цей результат проілюстрований 2 (рис. 3.16), згідно якої рекомендоване заглиблення складає 1,2 b в ефективному діапазоні від 0,62b до 1,72b.

Умови, які розглядалися у роботі [273], дещо відрізнялися від тих, що враховувались моделюванням з еквівалентних матеріалів. Тому для підтвердження результатів додатково виконане чисельне моделювання для умов пласта c_{18} [29].

У програмному пакеті PLAXIS 2D було створено п'ять моделей гірського масиву, які відрізнялися одна від одної величиною заглиблення засобу охорони (від 0 до 3 м, що відповідало відношенню d/b від 0 до 3 при b=1 м). Загальний вигляд однієї з моделей на етапах її побудови та розрахунку

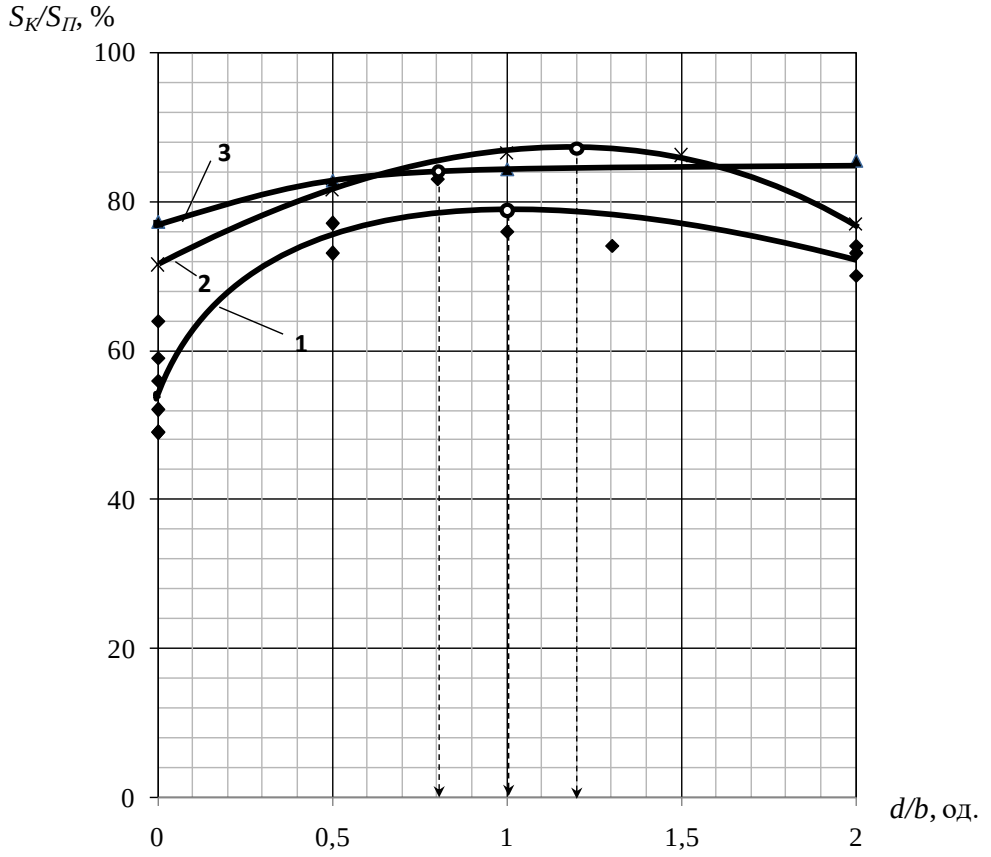


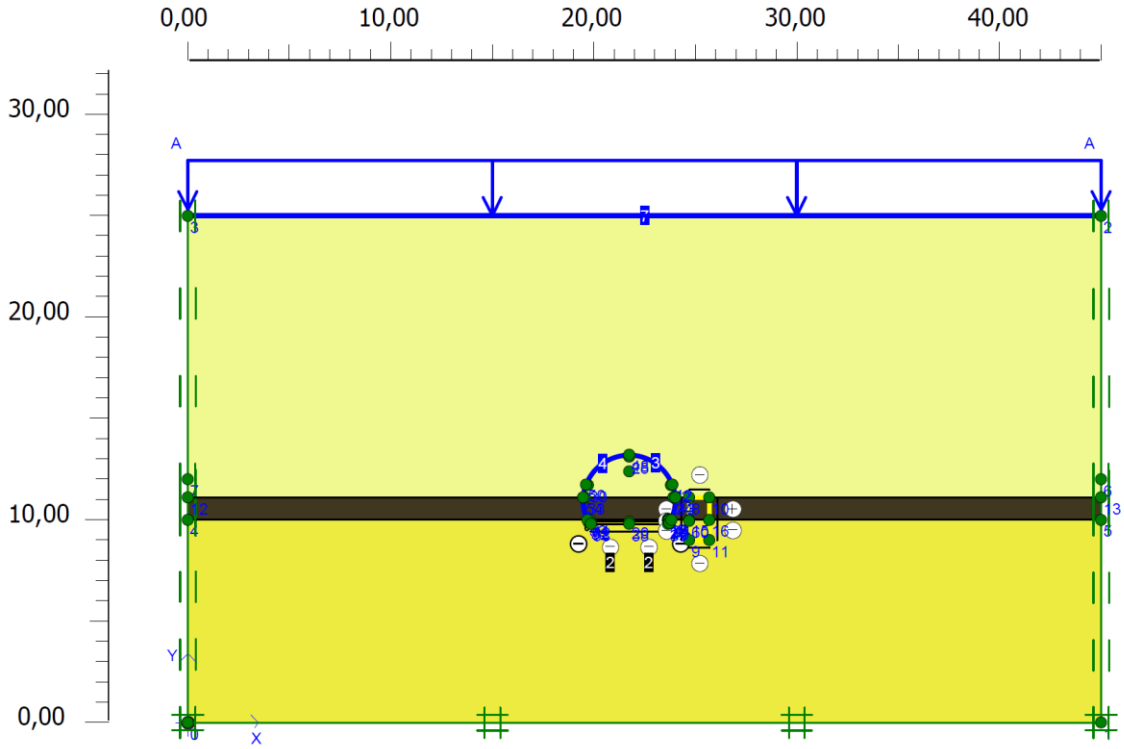
Рисунок 3.16 – Графіки зміни величини залишкового перетину гірничої виробки в залежності від величини заглиблення охоронної споруди за результатами фізичного (1) та чисельного (2, 3) моделювань

показаний на рисунку 3.17.

При відпрацюванні моделей були отримані картини загальних зміщень вузлів (рис. 3.17 б) та деформовані сітки (рис. 3.18), з яких можна визначити площі поперечного перетину виробки до розрахунку та після нього, а також відносну величину зміни залишкового перетину в залежності від величини заглиблення засобу охорони.

За результатами розрахунку були розраховані величини відносних залишкових перетинів виробки склепінної форми з охороною її дерев'яною цільною конструкцією та варіюванням її заглиблення відносно підошви. Було підтверджено висновки з фізичного моделювання, а саме: незначне заглиблення засобу охорони на слабких породах підошви дозволяє зберегти залишкову

а)



б)

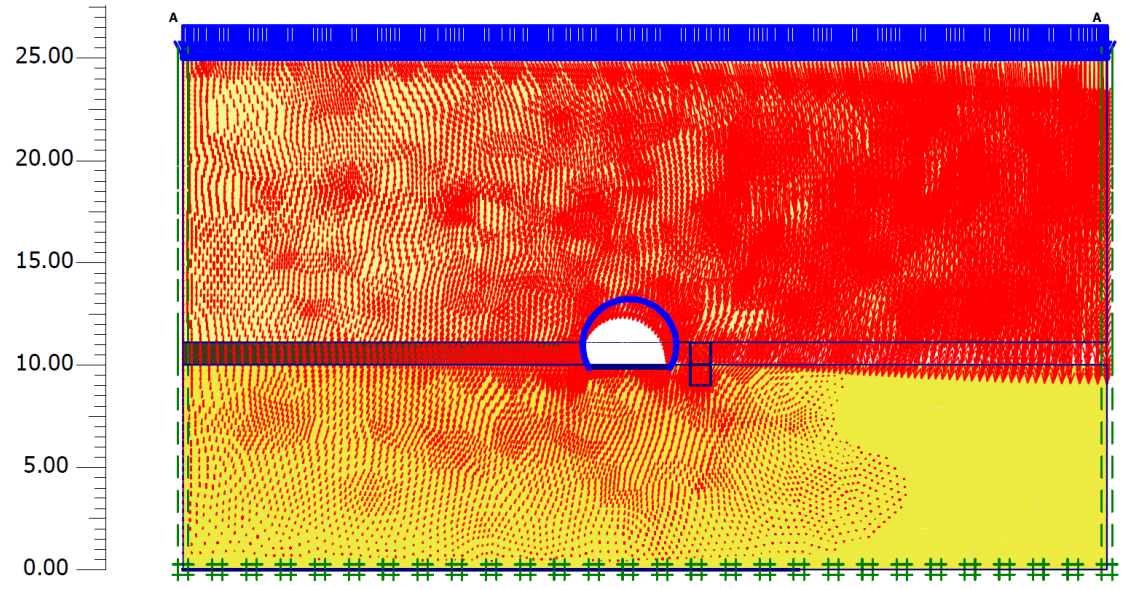


Рисунок 3.17 – Загальний вигляд чисельної моделі на етапі її побудови (а) та картина загальних зміщень всіх вузлів моделі (б)

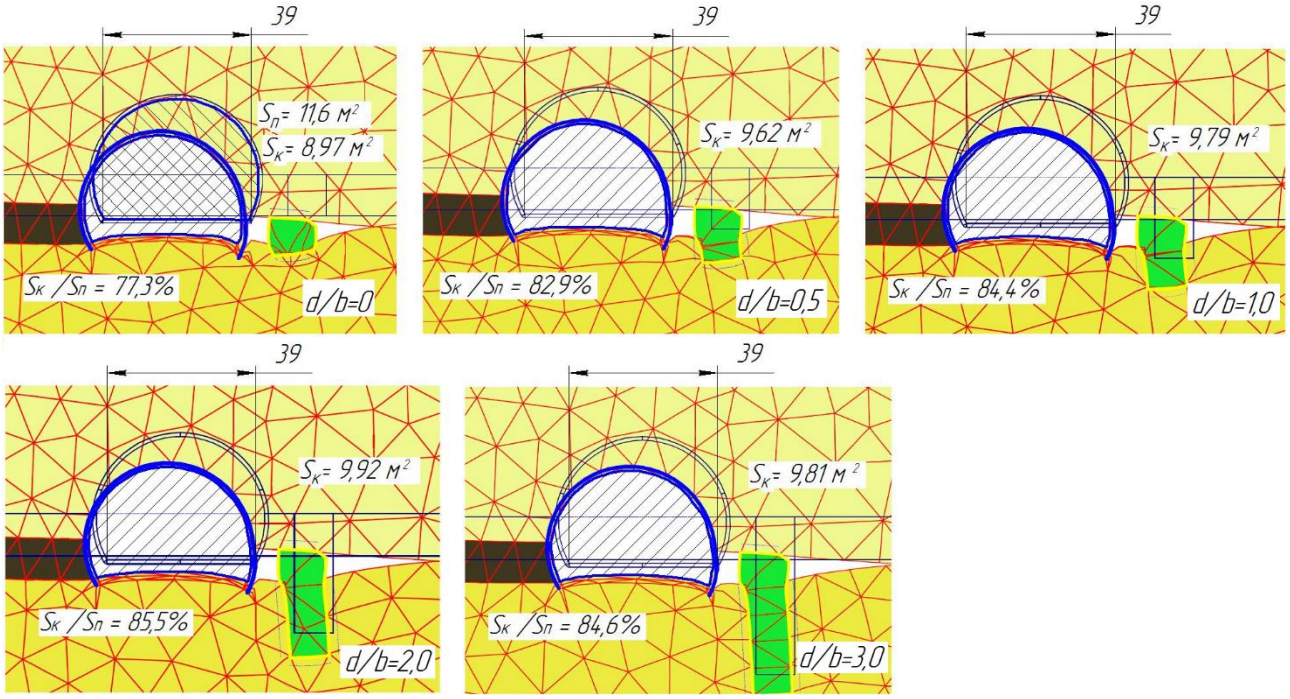


Рисунок 3.18 – Загальний вигляд деформованих сіток скінченно-елементних моделей при різній відносній величині заглиблення засобу охорони *d/b* (*d* – величина заглиблення, *b*- ширина засобу охорони) для визначення відносного залишкового перетину виробки $S_к/ S_п$ ($S_п$, $S_к$ – площі поперечного перетину виробки, відповідно, перед розрахунком моделей та після нього)

площу виробки більше ніж 82 % (рис. 3.18), а найкращий результат досягається при заглибленні конструкції на 0,8*b* (рис. 3.16). Значне заглиблення конструкції не доцільне, оскільки не призводить до істотного поліпшення стану виробки. Тому раціональною можна вважати середню глибину, згідно класифікації закладення фундаментів [302], але з коригуванням мінімальної глибини до величини 0,8*b*. Проте при великій ширині засобу охорони така величина може бути завеликою та недоцільною. Наприклад, у роботі [179] вказується, що глибина нагнітальних шпурів для скріплювальної суміші СКАТ не має перевищувати граничну зону руйнування порід і приймається до 5 м. Для фосфогіпсового в'яжучого вказується гранична глибина шпурів, яка дорівнює 1,5 м [123] та обумовлена швидкістю схоплювання розчину, а при цементних та цементно-піщаних розчинах глибина тампонування обмежується величиною

2,5 м [373]. Тому гранична глибина локальної укріпленої зони залежить від типу скріплюючого розчину.

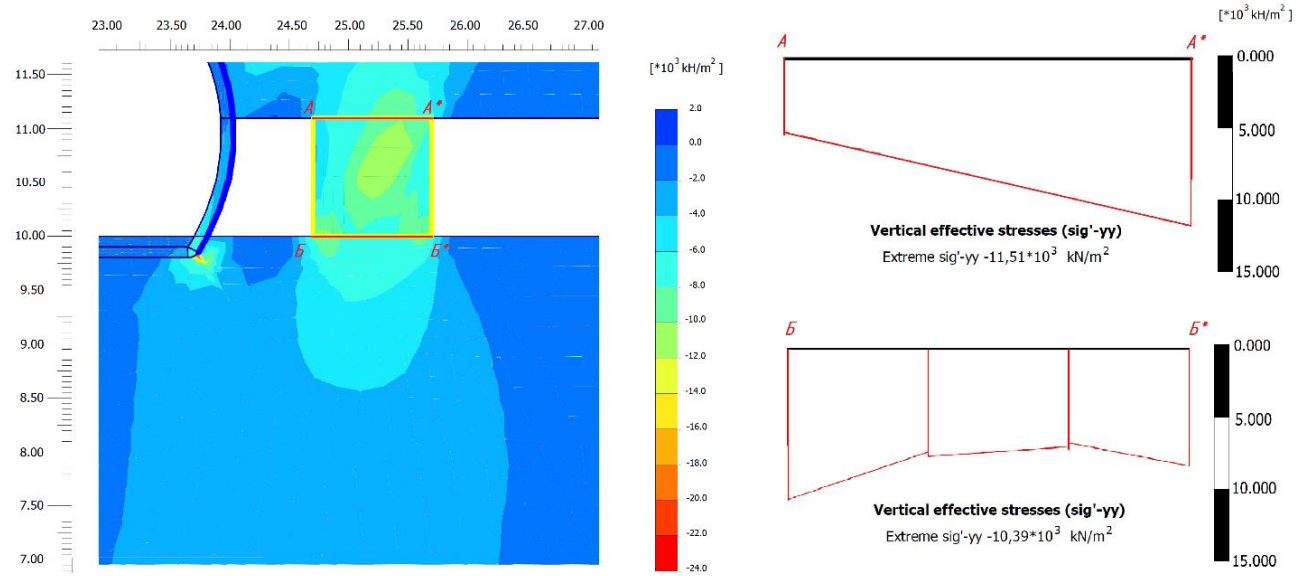
При відпрацюванні моделей була відмічена ще одна особливість, яка полягала у тому, що у результаті навантаження більшість засобів охорони завалювалися верхом у бік виробки, незалежно від величин піддатливості, ширини та заглиблення конструкції. Це пояснюється асиметричним навантаженням засобу в результаті радіального опускання шарів порід покрівлі відносно лінії відриву порід основної покрівлі.

Розгляд розподілу вертикальних напружень по лініям А-А* та Б-Б* в моделях без заглиблення (рис. 3.19 а) та з ним (рис. 3.19 б) показав, що навантаження на засіб охорони дійсно асиметричні, але на рівні поверхні підошви підстилаючих порід їх можна вважати рівномірними (особливо при заглибленні) та складають, відповідно, 90 та 92 % від максимального навантаження по лінії А-А*, що відповідає виразу (2.38). Як видно з рисунку 3.19, частини засобу охорони, які знаходиться вище та нижче рівня поверхні підстилаючих порід, деформуються по різному і найбільші зміщення мають місце у верхній частині. Тобто ці частини необхідно розглядати окремо, а не як цільну конструкцію.

Розбіжність результатів фізичного та чисельного моделювань склала від 5 до 22%. Це пояснюється тим, що при моделюваннях досліджувались охоронні споруди з різними піддатливостями, ширинами засобів охорони та потужностями пласта.

За отриманими результатами можна зробити висновок про те, що для отримання найбільш повної картини деформування порід навколо виробки необхідне врахування таких параметрів, як: піддатливість та ширина конструкції, віддаленість її від виробки та висота конструкції над рівнем підошви. Ці ж параметри були визначені у розділі 2 як такі, що впливають на стан виробки. Також пропонується врахування жорсткості підстилаючих порід, оскільки цей чинник є визначальним при оцінюванні їх стійкості.

а)



б)

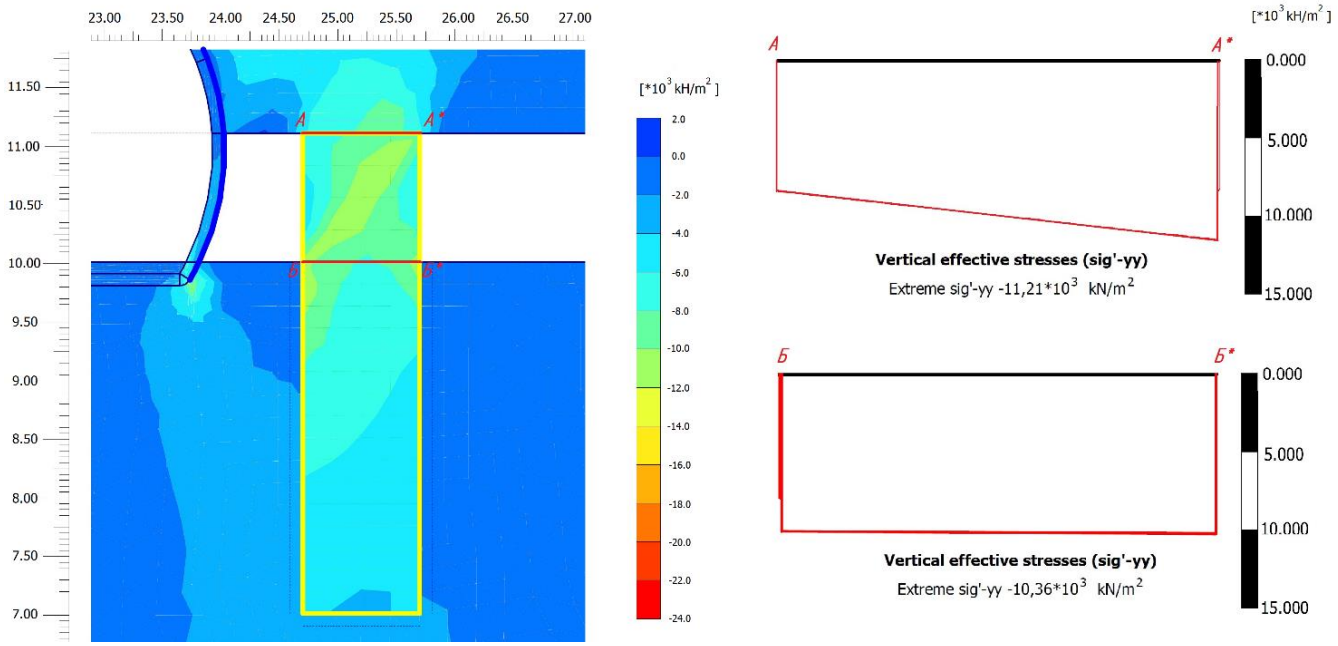


Рисунок 3.19 – Загальні картини розподілу вертикальних напружень навколо засобів охорони без заглиблення (а) та із заглибленням (б) у підстилаючі породи

За результатами розрахунку переміщень та напружень у охоронній споруді та породах підошви (рис. 3.19 а) встановлено, що величина та характер їх розподілу тотожні з результатами моделювання на спрощених чисельних моделях при встановлені величини вдавлювання засобу в підстилаючі породи (рис. 2.27-2.29). Це, у черговий раз, доводить тотожність механізмів осідання охоронної споруди та штампу відносно підстилаючого шару порід.

Оскільки технологічно складно спорудити цільну конструкцію з заглибленням у породи підошви, то доцільним може бути створення локальної укріпленої зони під основним засобом (рис. 3.9). Тоді при визначені величини заглиблення, форми та ширини зони необхідно враховувати її міцністні та деформаційні характеристики. Поєднання всіх цих параметрів дещо ускладнює розрахунки, тому пропонується їх поділити на дві групи: які впливають на напружений стан підстилаючих порід та які впливають на стійкість охоронної конструкції.

Також із результатів моделювання випливає, що: закладення охоронної конструкції нижче поверхні підошви дозволяє зменшити зміщення у виробці та зберегти її залишкову площу більше ніж 82 %; використання жорстких охоронних конструкцій без додаткових заходів щодо забезпечення стійкості слабких підстилаючих порід неефективне, оскільки засіб охорони не тільки вдавлюється у ці породи, а є причиною зминання порід покрівлі над ним; для визначення залишкової площі поперечного перерізу виробки, що охороняється необхідне врахування таких параметрів, як: міцністні та деформаційні характеристики охоронної конструкції, її ширина, віддаленість від виробки, висота, а також характеристики підстилаючих порід; для встановлення раціональних параметрів локальної укріпленої зони під засобом охорони достатньо обмежитись міцністними та деформаційними характеристиками цієї зони, її глибиною та шириною, а також характеристиками підстилаючих порід; ефективною є середня глибина закладення локальної укріпленої зони у діапазоні від $0{,}8b$ до $2b$; засоби

охорони сприймають від порід покрівлі асиметричне навантаження, яке перетворюється на рівномірне та на 90 % передається на підстилаючі породи або укріплену зону. Ці результати мають бути враховані при розробці технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

3.4 Встановлення параметрів локальних укріплених зон під засобом охорони

Для встановлення раціональних параметрів локальних укріплених зон під засобами охорони скористаємося результатами, які було отримано раніше при визначені зміщень бічних порід навколо цих засобів та ефективності закладання цих зон.

Локальне закріплення частково зруйнованого масиву та створення блоків більшою міцністю ніж навколишні породи дозволяє зберігати цілісність цього масиву та сприяє самозаклинюванню зруйнованих породних блоків в процесі переміщення [179]. В якості критерію щодо визначення ефективності створення локальної укріпленої зони під засобом охорони пропонується величина зміни просідань охоронної конструкції відносно поверхні підстилаючих порід. Цей критерій може бути показаний коефіцієнтом k_o. Тоді

$$k_o = \frac{U_в}{U_в^*}, \tag{3.26}$$

де $U_в$, $U^*_в$ – величина просідання поверхні підошви під засобом охорони, відповідно, без заходів та зі створенням локальної зони, м.

Величина $U_в$ може бути визначена з виразу (2.41) та залежить від величини навантаження з боку охоронної конструкції, її ширини, потужності слабкого шару порід підошви та їх властивості до стиснення. Просідання при створенні локальної зони також буде залежати від цих параметрів, але з іншими властивостями до стиснення, що потребує додаткового вивчення. Для

цього можна скористатися постановкою задачі та чисельними моделями, які були використані раніше.

Можна припустити, що величина $U^*_в$, крім вказаних вище факторів, залежить від форми локальної зони, її глибини та ширини, а також міцністних та деформаційних характеристик цієї зони та підстилаючих порід. Можливою формою локальної укріпленої зони може бути еліпсоподібна (рис. 3.9 е, ж, з), тому її ширину та глибину можна ототожнити з діагоналями еліпсу, відповідно $b_з$ та $h_з$.

Встановлено, що глибина локальної укріпленої зони має бути не менше $0{,}8b$, але при значній ширині засобу охорони.

За аналогією з (2.31) і врахуванням (2.41) залежність величини просідання поверхні підошви під засобом охорони, при наявності локальної укріпленої зони, буде мати вигляд

$$\frac{U^*_в}{h_п} = \Phi\left(\sigma_o m_v; \frac{b_з}{b}; \frac{b_з}{h_з}; \mu_з; \frac{E_з}{E_п}\right), \tag{3.27}$$

де $E_з$ – модуль загальної деформації укріпленого масиву в локальній зоні, МПа.

Кінцева залежність включає дев’ять факторів та для її встановлення скористаємося планом експерименту В.М. Мордашева [311] з вісьмома варіантами для кожного фактора (табл. 3.3), який буде мати вигляд, показаний у таблиці И.2 (додаток И).

Статистична обробка результатів чисельного моделювання (рис. 3.20) дозволила встановити емпіричну залежність

$$U^*_в = 0{,}835\sigma_o m_v h_п \left(\frac{b^2}{h_з b_з}\right)^{0{,}163} \left(\frac{E_п}{E_з}\right)^{0{,}372}, \tag{3.28}$$

(R^2=0,896; $t>t_{кр}$ (23,1>2,0); $F>F_{кр}$ (51,7>2,06))

за якою можна визначити величину просідання засобу охорони, під яким розміщується локальна укріплена зона.

Таблиця 3.3

Вихідні дані для встановлення параметрів локальних укріплених зон

№ п/п	Найменування показників	Значення показників за варіантами							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Напруження на контакті засобу охорони та локально укріпленої зони $k'\gamma H$, МПа	4	8	10	15	20	25	30	38
2	Ширина засобу охорони b, м	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
3	Коефіцієнт відносної поперечної деформації порід підошви μ_n, од.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
4	Модуль загальної деформації порід підошви E_n, МПа	100	150	200	400	600	800	1000	1500
5	Потужність шару безпосередньої підошви h_n, м	1	2	3	4	5	6	7	8
6	Відносна ширина локальної укріпленої зони $b_з/b$, од.	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,3	1,4	1,5
7	Глибина локальної укріпленої зони $h_з$, м	0,25	0,5	1,0	1,5	2	3	4	5
8	Коефіцієнт поперечних деформацій локальної укріпленої зони $\mu_з$, од.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
9	Коефіцієнт укріплення локальної зони $E_з/E_n$, од.	1.1	1,5	2	3	5	6	8	10

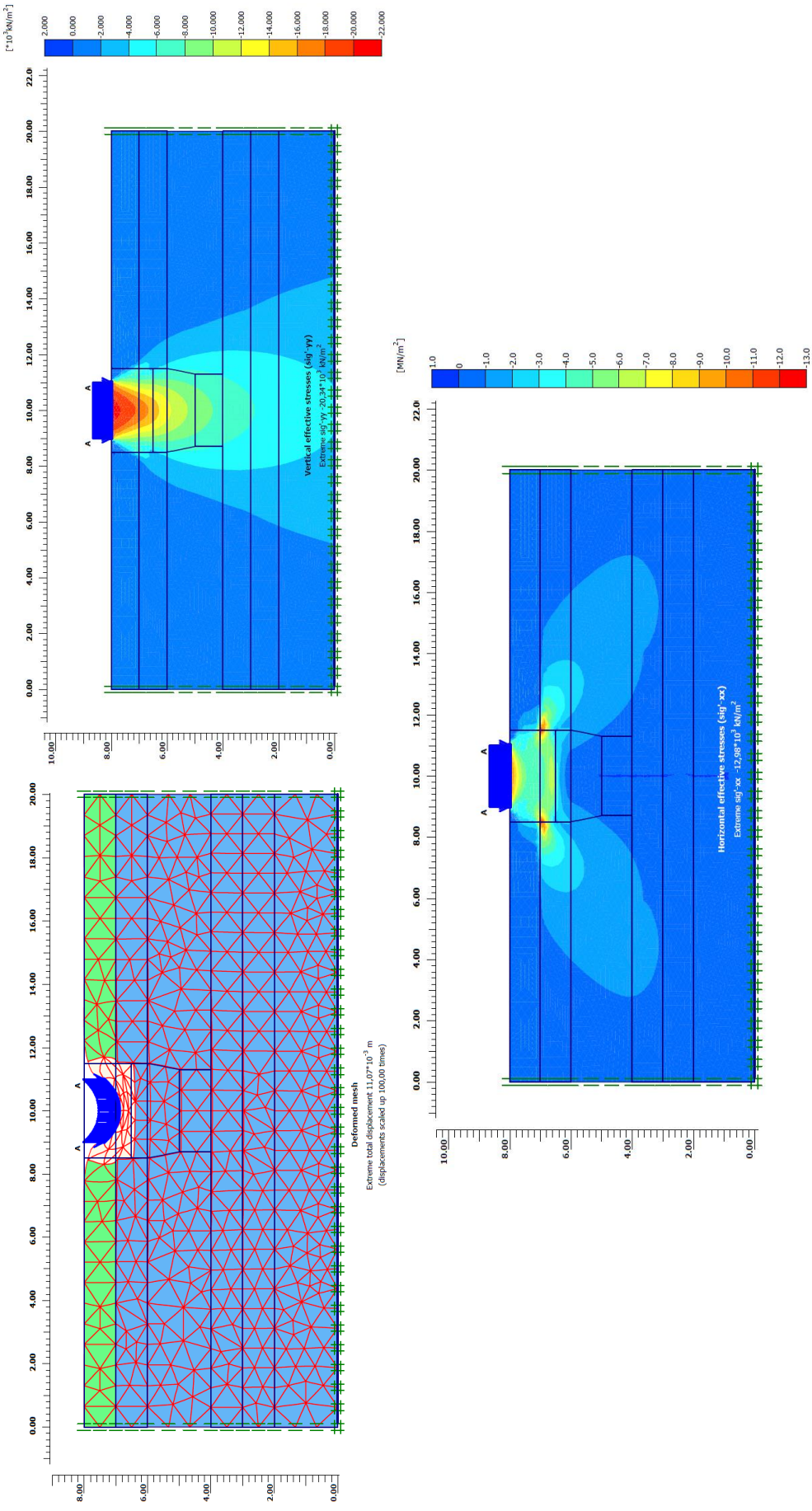


Рисунок 3.20 – Загальний вигляд чисельної моделі для дослідження деформаційних процесів в підстилаючих породах при наявності локальної укріпленої зони

Тоді з виразів (2.41), (3.26) та (3.28) можна визначити відносний показник ефективності локального укріплення порід підошви за формулою

$$k_o = \left(\frac{h_з b_з}{b^2}\right)^{0,163} \left(\frac{E_з}{E_n}\right)^{0,372}, \text{ (коли } b_з \geq b \text{ та } E_з > E_n) \qquad (3.29)$$

який показує у скільки разів змінюється просідання засобу охорони відносно поверхні підстилаючих порід при їх укріпленні. При неправильно підібраних параметрах локальної укріпленої зони ефект від її наявності може бути негативним. Тоді цей показник може бути менше, ніж 1.

3.5 Обґрунтування заходів щодо управління напружено-деформованим станом системи «засіб охорони-бічні породи»

У тих випадках, коли недоцільне зміцнення слабких підстилаючих порід, вирішити проблему можна за рахунок зміни напруженого стану в геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи».

У розділі 2, на основі чисельного моделювання, було обґрунтовано, що у в зоні тимчасового впливу очисних робіт напруження над засобами охорони можуть досягати величини (1,1...1,5)γH, за якими може бути визначене навантаження на 1 м цієї конструкції при відомій ширині. Також було описано механізм формування навантаження на засіб охорони, який показано на рисунку 2.24. У цілому це навантаження здебільшого формується за рахунок ваги породної консолі, яка нависає над виробкою та засобом охорони. Ширина консолі досягає величини 10÷25 м та визначається сумарною шириною виробки, берми та засобу охорони [106] або довжиною консолі основної покрівлі [121, 231], а її висота – величиною, яка за різними даними досягає 15 м [106] або 10m [121] (m – потужність пласта, м). Вона складається з шарів порід безпосередньої та основної покрівлі та чим міцніші будуть вміщуючи породи,

тим менше навантаження буде сприйматися охоронною конструкцією [363].

Основними заходами щодо зменшення навантаження на засіб охорони з боку порід покрівлі є способи локальних розвантажень на контурах виробок, які дозволяють перенести максимальні напруження вглиб масиву. Ці способи використовуються на важкообвалюваних покрівлях [326]. Але відомі способи, які в умовах слабких бічних порід передбачають віднесення від виробки максимуму опорного тиску над охоронною спорудою. До них можна віднести: підрублювання вугільних ціликів врубовою машиною [146]; спорудження бутових смуг складної конфігурації або трикутної форми [338], штучних споруд з розвантажувальною порожниною [205, 335] та клинових литих смуг [160]; використання приштрекових смуг різної піддатливості з різними коефіцієнтом форми та несучою здатністю [88] та дворядних литих смуг з розміщенням жорсткої частини з боку відпрацьованого простору і відділенням її від піддатливої органним рядом [206]. Також дієвим способом забезпечення стійкості виробки є створення над нею склепіння рівноваги спільним спорудженням охоронних смуг змінної жорсткості та розвантаженням масиву свердловинами [241]. Тобто існують технологічні рішення щодо зменшення або перерозподілу напружень над засобами охорони за рахунок спорудження останніх зі спеціальними конструктивними особливостями [285]. Але здебільшого ці способи передбачають використання в конструкції твердіючих сумішей [88, 160, 205, 206, 335], а способи охорони з використанням рядової породи, які розглянуті у роботі [338], взагалі розглядалися в одиночній виробці поза межами впливу очисних робіт.

Тому основною концепцією даного дослідження є розробка та використання ефективних ресурсозберігаючих засобів охорони підготовчих виробок позаду лави, у яких основним матеріалом є рядова порода, але їх ефективність досягається використанням спеціальних конструктивних особливостей.

Висновки до розділу 3

1. Підстилаючі породи підошви на момент спорудження засобу охорони знаходяться у стадії позамежних деформацій, їх стійкість визначається опором зруйнованих порід стисненню на межі залишкової міцності та величиною навантаження з боку засобу охорони.

2. Аналітично-експериментально уточнено кореляційний логарифмічний зв'язок між відносною залишковою міцністю осадових порід з їх граничною міцністю на стискання у зразку, що може бути використано для визначення опору зруйнованих порід стисканню на межі залишкової міцності з врахуванням їх обводненості, тріщинуватості та реологічних властивостей.

3. Просідання засобів охорони відносно поверхні слабких підстилаючих порід є циклічним і відбувається на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід, коли загальні поздовжні деформації шару гірських порід перевищать 12 ‰, а напруження від дії засобу охорони перевищать опір порід стисненню на межі залишкової міцності, що супроводжується порушенням структурних зв’язків у зруйнованому породному об’ємі з його подальшим ущільненням, внаслідок зсувів та провертань породних окремостей між собою.

4. Умовою стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» є забезпечення рівноваги між діючими напруженнями з боку порід покрівлі, несучою здатністю засобу охорони і опором підстилаючих порід, що дорівнює опору зруйнованих порід стисканню на межі залишкової міцності.

5. Технологічним рішенням щодо забезпечення стійкості порід під засобами охорони може бути створення локальних укріплених зон, які представляють собою породо-анкерні, породо-полімерні або породо-цементні конструкції, здатні витримувати навантаження від дії ваги нависаючих порід покрівлі. Ефективною глибиною таких зон є величина, яка знаходиться у діапазоні від 0,8 до 2 від ширини засобу охорони.

6. Встановлено емпіричну ступеневу залежність величини просідання поверхні підошви під засобом охорони, нижче якого розміщується локальна укріплена зона, у залежності від основних факторів, що впливають: навантаження з боку засобу охорони, деформаційних характеристик цієї зони та вміщуючих порід, ширини засобу охорони, потужності слабких підстилаючих порід та геометричних розмірів локальної укріпленої зони.

7. Встановлено відносний показник ефективності локального укріплення порід підошви, який доцільно використовувати для визначення раціональних параметрів даної зони та який враховує її геометричні розміри, ширину засобу охорони, міцністні й деформаційні характеристики зони та вміщуючих порід.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ З РЯДОВОЇ ПОРОДИ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ

4.1 Обґрунтування конструктивних рішень щодо створення ефективних засобів охорони

Аналіз існуючих засобів охорони підготовчих виробок (розділ 1) і заходів щодо зміни напруженого стану в охоронній споруді та навколо неї (розділ 3) показав, що в умовах слабких бічних порід є актуальною розробка засобів охорони, використання яких дозволить зменшити або перерозподілити напруження у приконтурному масиві. Цього можна досягнути за рахунок спеціальних конструктивних рішень у споруді, а саме: створення в них розвантажувальних порожнин, використання обмежуючих поверхонь, надання їм спеціальної форми, суміщення жорстких та піддатливих елементів у конструкції тощо. Всі ці рішення, так чи інакше, мали позитивний ефект при впровадженні в певних умовах. Здебільшого це стосувалося умов, коли охорона виробок здійснювалась цiликами вугілля або литими смугами, але є досвід, коли жорсткість бутової смуги досягалась нагнітанням ін'єкційного розчину та використанням обмежуючих поверхонь. Більш складною є ситуація з наданням конструкціям з рядової породи спеціальної форми, оскільки при незначних геометричних розмірах зберегти задану форму та досягти необхідної несучої здатності вкрай важко. Даний напрямок досліджень є перспективним і цілком може бути прийнятий як основний для досягнення мети даної роботи. При цьому не можна відкидати можливість використання відомих рішень, якщо вони дозволять забезпечити стійкість

підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід.

Застосуванням охоронних конструкцій зі спеціальними формами (трикутною, трапецієподібною, прямокутною тощо) переслідується декілька цілей: по-перше – це забезпечення виконання технологічних процесів, по друге – перерозподіл напружень у нависаючих або підстилаючих породах. Між цими конструкціями передбачається залишення порожнин (просіків або печей) через які забезпечується доступ у привибійний простір, транспортна логістика та вентиляція між лавою та примикаючими виробками. Також порожнини можуть бути використані для акумулювання породи від підривок порід підошви у виробці позаду лави або для реалізації в них видавлюючих зусиль з-під охоронних конструкцій.

Відомий досвід охорони підготовчих виробок технологічними вугільними ціликами у формі призм [109, 222], які в основі мають трикутник та трапецію (рис. 1.2). Застосуванням цих споруд забезпечуються технологічні процеси, але порожнини між ними не можна вважати за компенсаційні, оскільки більша частка видавлюючих зусиль реалізується у виробку, яка охороняється. Про це свідчать значні зміщення порід підошви, які мали місце при впровадженні цих технологій [371]. Якщо б ці зміщення реалізовувались не у бік виробки, а навпаки – у вироблений простір, то дані технології мали б ширшу область застосування. Тобто вони потребують вдосконалення та, бажано, щоб передбачали вилучення вугілля і використання дешевих матеріалів, зокрема, рядової породи.

Для спрямування видавлюючих зусиль від виробки було розроблено спосіб охорони окремо розташованими жорсткими опорами у формі прямокутних паралелепіпедів (рис. 1.7). У таких опорах використовувалась рядова порода, коли була заповнювачем у бетонній суміші для заливання цільної конструкції або її елементів (наприклад, напівблоків) [191]. Використання сипкої породи без попередньої підготовки в даних конструкціях не розглядалося, що потребує додаткового дослідження.

Застосування обмежуючих елементів у конструкціях з рядової породи є перспективним, оскільки має велику кількість рішень щодо зменшення розмірів засобів охорони та збільшення їх несучої здатності. За результатами аналізу засобів охорони (розділ 1), обмежуючими елементами у таких конструкціях можуть бути: автомобільні гумові шини, металеві листи, паперові або тканинні мішки з армуванням, опалубка з деревини, залізобетону або металу. Основною функцією цих елементів у породній конструкції, яка має обмежені розміри, є сприяння формуванню стійкого несучого ядра на початковому етапі її навантаження з боку порід покрівлі. Та не всі рішення можна вважати доцільними, оскільки більшість з них потребують на реалізацію значних фінансових коштів або вони нетехнологічні.

З метою мінімізації фінансових витрат на охорону підготовчих виробок було запропоновано спосіб охорони гірничих виробок породними стійками (рис. 1.4), який підтверджено патентом на корисну модель № 54012 [186]. Передбачається стрічкове розміщення охоронної споруди з мішків із породою вздовж виробки шириною, яка дорівнювала потужності пласта. На тонких пластах застосування даного способу виправдане, але при завеликій ширині споруди на пластах середньої потужності трудомісткість робіт із заповнення та переміщення мішків значно зростає. Тобто за таких умов даний спосіб потребує удосконалення.

Іншим напрямком збільшення несучої здатності бутових смуг є використання гнучких розділових прокладок. У лабораторних умовах було випробувано породні опори з прокладками із тканини та металевої сітки (рис. 1.6) [194]. Розглядалося стрічкове розміщення споруди вздовж виробки, яка мала обмежені розміри, але високу несучу здатність у порівнянні з бутовою смугою. За результатами структурного моделювання встановлено, що наявність розділових прокладок дозволила зменшити піддатливість породних смуг. Найбільш жорсткою була споруда з металевою сіткою. Але обмеженість отриманих результатів не дозволила обґрунтувати параметри

даного способу, особливо в умовах слабких бічних порід. Але ці результати можуть бути підставою для вдосконалення способу охорони.

Таким чином, основними напрямки для створення ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони є розробка та вдосконалення засобів охорони підготовчих виробок на основі використання рядової породи, які стрічково або окремо розташовуються вздовж виробки та які за рахунок спеціальних конструктивних рішень (залишення компенсаційних порожнин, використання обмежуючих елементів) дозволяють забезпечити стійкість виробок, в тому числі в умовах слабких бічних порід.

4.2 Дослідження особливостей процесу передачі навантажень в опорах з рядової породи

У попередніх розділах, на основі результатів аналітико-експериментальних та лабораторних досліджень, встановлено закономірності зміщень порід покрівлі виробки, що охороняється позаду лави, від параметрів кріплення кінцевої ділянки лави та засобу охорони, а також закономірності деформування порід під охоронною конструкцією. Це дозволило обґрунтувати технологічні принципи управління станом слабких бічних порід навколо засобів охорони та запропонувати технологічні рішення щодо створення локальних укріплених зон під охоронними конструкціями. Іншим напрямком охорони підготовчих виробок в таких умовах є використання ефективних ресурсозберігаючих засобів охорони. Також встановлено, що перспективною є розробка та вдосконалення засобів охорони з рядової породи зі спеціальними конструктивними особливостями.

Вивченню механічних процесів у конструкціях з рядової породи присвячені чисельні дослідження науковців, коли розглядалися породні опори для охорони підготовчих виробок [171, 189, 196] або управління покрівлею при частковому закладенні виробленого простору позаду лави [102, 105, 169, 324],

де визначалися параметри самозаклинювання породи при формуванні опор.

Вільна породна насипка складається з несучого ядра, периферійних зон та зон вільних укосів (рис. 4.1). В певних умовах насипки здатні утримувати діючі навантаження за рахунок утворення несучого ядра та периферійних зон, які замикають це ядро і протидіють його бічному розширенню [102]. У несучому ядрі частки матеріалу стискаються без центробіжних переміщень, а у периферійних зонах та зонах вільних укосів – зміщуються від ядра до країв. Встановлене оптимальне співвідношення ширини *B* до висоти *h* опори, яке дорівнює 6 і при якому забезпечується найменша величина стискуваності 42 %. Подальше збільшення *B/h* не доцільне, оскільки стискуваність залишається близько 40-41 %. Розмір несучого ядра також залежить від відношення *B/h* і чим воно більше, тим більше ядро. Також встановлено, що збільшення міцності матеріалу для спорудження опор майже не впливає на стисненість опори та розміри ядра, а крупність матеріалу мала вплив тільки на початковому етапі при *B/h*<3 і загальна усадка опори з матеріалів найбільшої крупності досягла 30 %.

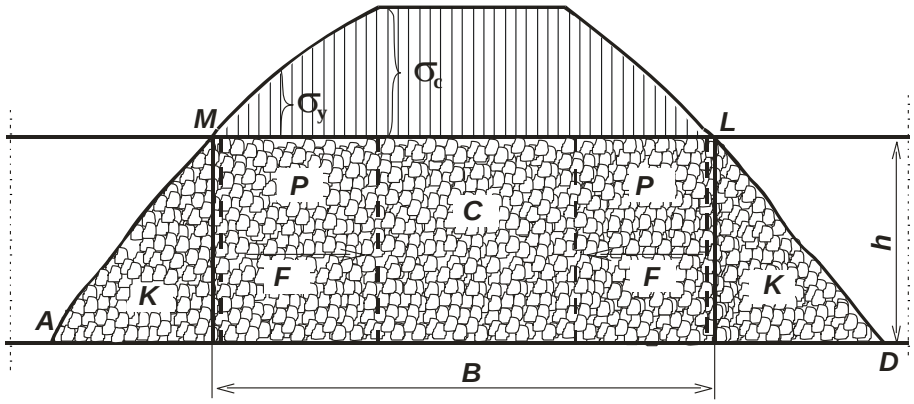


Рисунок 4.1 – Схема характерних зон вільної породної насипки *AMLD* [102]: *C*- центральна зона (несуче ядро), *P*- периферійні зони, *K* – зони вільних укосів, *h* та *B* – відповідно, висота та ширина опори, σ_c та σ_y – напруження, відповідно, у центральній та периферійній зонах

Оскільки основною несучою зоною породної насипки є центральна, а інші – допоміжні, які забезпечують рівновагу порід у ядрі, то цілком реальна ситуація, коли периферійні зони та зони вільних укосів можуть бути замінені

будь-якою конструкцією.

Отримані у роботі [102] результати дещо пояснюють механізм навантаження та усадки породної насипки. При вільній насипці, якою є бутова смуга у своєму поперечному перерізі, її усадка завелика для забезпечення стійкості виробки, що охороняється, навіть при оптимальному співвідношенні B/h=6. Таке співвідношення на вельми тонких пластах може вважатися доцільним [102], але на пластах тонких та середньої потужності його не можна вважати економічно обґрунтованим, оскільки передбачається великий обсяг породи. Крім того, керівним документом [348] регламентовано, що бутова смуга має бути шириною не менше, ніж 8m (де m– потужність відроблюваного вугільного пласта).

В умовах слабких бічних порід важливим є питання не тільки забезпечення стійкості охоронної конструкції та обмеження її усадки, але й передача навантаження на підстилаючі породи, в результаті чого може спостерігатися просідання конструкції та покрівлі разом з нею. Передача навантаження від порід покрівлі до підошви здійснюється через породну смугу. Величина та характер деформацій навколишніх порід будуть залежати від фізико-механічних властивостей дискретного (сипкого) середовища, яким є смуга. До фізико-механічних характеристик зруйнованого породного масиву відносяться: гранулометричний склад, щільність порід, їх вологість, гігроскопічність, кути природнього укосу та внутрішнього тертя, твердість часток, компресійні, когезійні та адгезійні показники, здатність до вібраційного ущільнення, деформаційні зсувні характеристики, коефіцієнт розподільної здатності [198]. З наведеного переліку, ґрунтуючись на дослідженнях [102, 105, 169, 171, 189, 196, 324], можна стверджувати, що найбільш впливовими на процес передачі навантажень є: гранулометричний склад, щільність та кут внутрішнього тертя порід. Встановлено, що зі збільшенням крупності фрагментів істотно зменшується ступінь передачі навантаження від фронту руйнування до контуру виробки [355], зменшення ж об'ємної маси порід в

межах зони зруйнованих порід і збільшення їх в об’ємі призводить до значних зсувів контуру виробки [388], величина кута внутрішнього тертя порід одна з основних характеристик сипкого середовища [198], тому її врахування необхідне. Також не можна виключати вплив розмірів насипки, оскільки висота та ширина засобу охорони відносяться до чинників, що впливають на стійкість виробки (розділ 2). Що стосується інших показників, то одні з них є менш значимими та практично не впливають на стан зруйнованих порід, а інші - істотно залежать від крупності частинок і кута внутрішнього тертя.

Механізм передачі навантаження від фронту зони зруйнованих порід на кріплення виробки досліджувався у роботі М.М. Касьяна [187], де розглядався вплив на цей процес гранулометричного складу та розміру зони зруйнованих порід. Передача навантаження через породний об’єм оцінювалась коефіцієнтом передачі навантаження k_n. Встановлено, що для умов, коли зруйновані породи представлені дрібною фракцією, коефіцієнт передачі навантаження наближається до одиниці, а при значних розмірах породних частинок – цей коефіцієнт наближається до нуля. У проміжних значеннях гранулометричного складу коефіцієнт k_n дорівнював 1,8÷2,5, тобто величина навантаження на контурі виробки в декілька разів перевищувала навантаження на фронті руйнування. Останнє явище було пояснене специфічною особливістю поведінки сипкого матеріалу під навантаженням та не було досліджено. У цілому, збільшення розмірів породних фрагментів призводить до зменшення коефіцієнта передачі навантаження, а при збільшенні ступеня стискання зруйнованих порід відбувається зменшення коефіцієнта в 1,6÷2 рази за рахунок зміни характеру взаємодії між породними фрагментами – від точкового контакту до контакту по поверхнях.

Всі ці результати були отримані при круговому додаванні зовнішніх сил, коли їх напрямки перетинаються, частки сипкого матеріалу стохастично перепаковуються та здатні тимчасово консолідуватися. Інша ситуація спостерігатися у породній насипці з вільними укосами [102], яка знаходиться

між паралельними поверхнями, коли навантаження на опору описується експоненційним законом. Передача його на нижню поверхню не досліджувалась. Також маловивченим залишається питання перерозподілу навантаження у породній опорі з бічним опором.

У продовження дослідження [187], для уточнення механізму передачі навантаження від фронту руйнування, було здійснене фізичне моделювання на структурних моделях [294], у результаті якого встановлено, що основними факторами, що впливають на цей процес, є гранулометричний склад порід, їх щільність, висота насипки та коефіцієнт внутрішнього тертя.

Від гранулометричного складу суттєво залежить усадка зруйнованих порід, а від усадки – їх об'ємна щільність. Згідно [383] усадка закладного породного масиву з середнім розміром кусків 0,02-0,03 м складає близько 30%, а при 0,1-0,14 м – 40-50%. Тоді об'ємна щільність γ_o (т/м^3), знаючи початкову насипну щільність матеріалу $\gamma_н$ (т/м^3), для різної крупності може бути розрахована за виразом [198]

$$\gamma_o = \gamma_н \frac{h_н}{h_н - \Delta h_i}, \tag{4.1}$$

де $h_н$– поточна висота породної насипки, м; Δh_i– абсолютна деформація насипки при і-тому навантаженні, м.

Тоді для закладного масиву з розміром кусків 0,02-0,03 м $\gamma_o = 1,43\gamma_н$, для 0,1-0,14 м – $\gamma_o = (1,67...2,0)\gamma_н$. Якщо закладний масив представлений однорідним гранулометричним складом, $\gamma_o = (1,15...1,2)\gamma_н$, а менш однорідним – $\gamma_o = (1,07...1,1)\gamma_н$ [383]. Таким чином, за рахунок зміни крупності породних фрагментів у насипці та прикладанням навантаження можна забезпечити збільшення її об'ємної щільності в 1,07-2,0 рази. Після того, як насипка ущільнилася, гранулометричний склад на процес передачі навантаження майже не впливає, а має місце перерозподіл напружень в цілісній породній конструкції

та навколо неї. Таке ущільнення можливе при відсутності бічних деформацій та жорсткій основі. На етапі ущільнення насипки передача навантаження на підстилаючі породи буде незначною, але після нього – навантаження від порід покрівлі та ваги насипки буде повністю або частково передаватися на підошву.

Таким чином, фактори, які можуть впливати на передачу навантаження на підстилаючі породи, будуть поєднані залежністю

$$q = f(P; \rho_n; \gamma_o; h_н; b_н), \tag{4.2}$$

де q та P – відповідно, навантаження, під породною насипкою (бутовою смугою) та над нею, МПа; ρ_n – кут внутрішнього тертя матеріалу; γ_o– об’ємна щільність матеріалу при даному навантаженні, т/м^3; $h_н$ та $b_н$ – відповідно, поточна висота бутової смуги та її ширина, м.

Напруження в бутовій смузі та на її контактах з примикаючими породами й обмежуючими поверхнями можуть бути визначені вирішенням задачі граничної рівноваги елементарного об’єму одиничної ширини. Для цього можна скористатись інженерною постановкою Х. Янсена, яку використовують у дослідженнях напружено-деформованого стану в гірському масиві [102, 137, 239].

Для визначення умов рівноваги елементарного об'єму (рис. 4.2) обмеженого контуром *abcdefik* опишемо сили, що діють на нього в рамках аналітичної моделі. На елементарний об’єм з боку покрівлі діє стискаюча сила $b_н k_o \sigma_y$, яка обумовлює усадку зруйнованої породи (де k_o – коефіцієнт концентрації напружень на контакті насипки та порід покрівлі), з боку підошви – $b_н k_o(\sigma_y + (\partial\sigma_y/\partial y)\, dy)$, вага елементарного об’єму $b_н \gamma_o \sin\alpha dy$ (де β – кут нахилу паралельних поверхонь покрівлі та підошви смуги, град.), а також поряд зі стінками діє сила тертя $\sigma_x f_c dy$ (де σ_x – бічний тиск, МПа; f_c – коефіцієнт тертя порід по стінці).

Диференціальне рівняння проекцій на вертикальну вісь сил, що діють

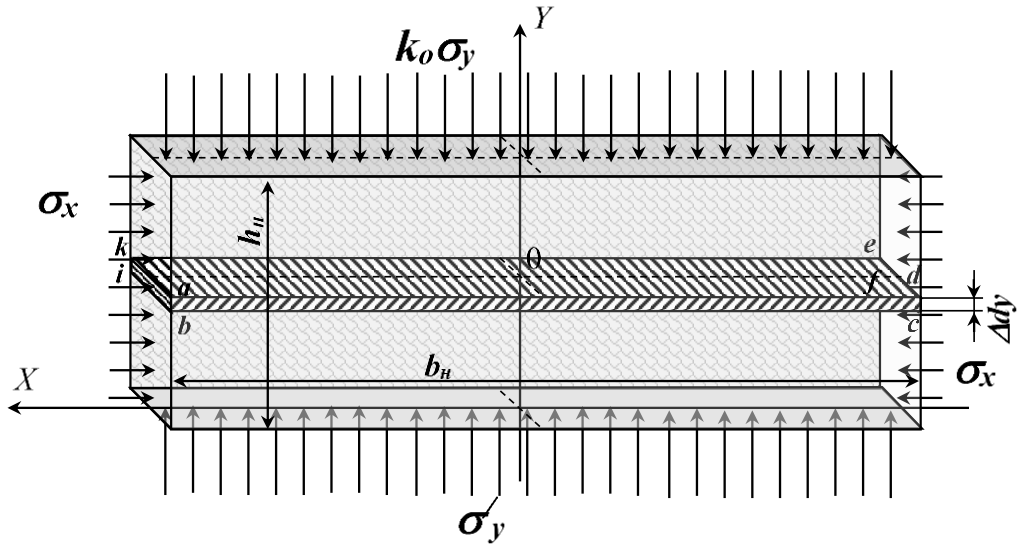


Рисунок 4.2 – Схема аналітичної моделі для складання рівняння граничної рівноваги елементарного об'єму по висоті бутової смуги з бічним опором

на елементарний об'єм, за умови граничної рівноваги, матиме вигляд

$$k_o b_н \sigma_y + b_н \gamma_o \cos\beta dy - 2\sigma_x f_c dy - k_o b_н (\sigma_y + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} dy) = 0. \qquad (4.3)$$

Оскільки $$\sigma_x = \lambda k_o \sigma_y, \qquad (4.4)$$

де λ– коефіцієнт бічного тиску

$$\lambda = tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_п}{2}\right), \qquad (4.5)$$

де $\rho_п$ – кут внутрішнього тертя порід, град.

$$b_н \gamma_o \cos\beta - 2tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_п}{2}\right) k_o f_c \sigma_y - k_o b_н \frac{d\sigma_y}{dy} = 0. \qquad (4.6)$$

Після перетворень отримаємо лінійне неоднорідне диференційне рівняння першого порядку

$$\frac{d\sigma_y}{dy} + \frac{2tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_п}{2}\right) f_c}{b_н} \sigma_y = \frac{\gamma_o \cos\beta}{k_o}.$$

Інтегруємо відповідне однорідне рівняння з поділом змінних:

$$\frac{d\sigma_y}{dy}+\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}\sigma_y=0,$$

$$\ln\sigma_y=\ln C_1-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y,\ \ln\frac{C_1}{\sigma_y}=\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y,$$

$$\sigma_y=C_1e^{-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y},\ \sigma_y=C_1(y)e^{-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y},$$

де $C_1(y)$– невідома функція.

Тоді: $\sigma_y'=C_1'(y)e^{-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y}-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}C_1(y)e^{-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y},$

$$C_1'(y)=\frac{\gamma_o\cos\beta}{k_o}e^{\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y},\ C_1(y)=\frac{\gamma_o\cos\beta}{k_o}\int e^{\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y}dy,$$

$$C_1(y)=\frac{\gamma_o b_н\cos\beta}{2k_o tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}e^{\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y}+C,$$

$$\sigma_y=\frac{\gamma_o b_н\cos\beta}{2k_o tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}+Ce^{-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}y}.$$

Для y=0 $\sigma_y=k_o\gamma H$: $C=k_o\gamma H-\frac{\gamma_o b_н\cos\beta}{2k_o tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}.$

При $y=h_н$

$$\sigma_y=\frac{\gamma_o b_н\cos\beta}{2k_o tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}+\left(k_o\gamma H-\frac{\gamma_o b_н\cos\beta}{2k_o tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}\right)e^{-\frac{2tg^2\left(45^\circ-\frac{\rho_n}{2}\right)f_c}{b_н}h_н}. \quad (4.7)$$

У виразі (4.7) доданок, що характеризує вплив ваги порід у смузі при зміні кута її нахилу, має частку від результату 0,2…2 %, тому для спрощення ним можна знехтувати. Отримаємо

$$\sigma_y = k_o \gamma H e^{-2tg^2\left(45^o - \frac{\rho_n}{2}\right) f_c \frac{h_н}{b_н}}. \qquad (4.8)$$

Виходячи з отриманого виразу випливає, що від покрівлі до підошви смуги величина навантаження експоненційно зменшується [278] (рис. 4.3). Такий характер зміни навантажень пояснюється дією ваги нависаючих порід покрівлі, а також зменшенням опору зруйнованих порід зі зменшенням ширини або збільшенням висоти смуги.

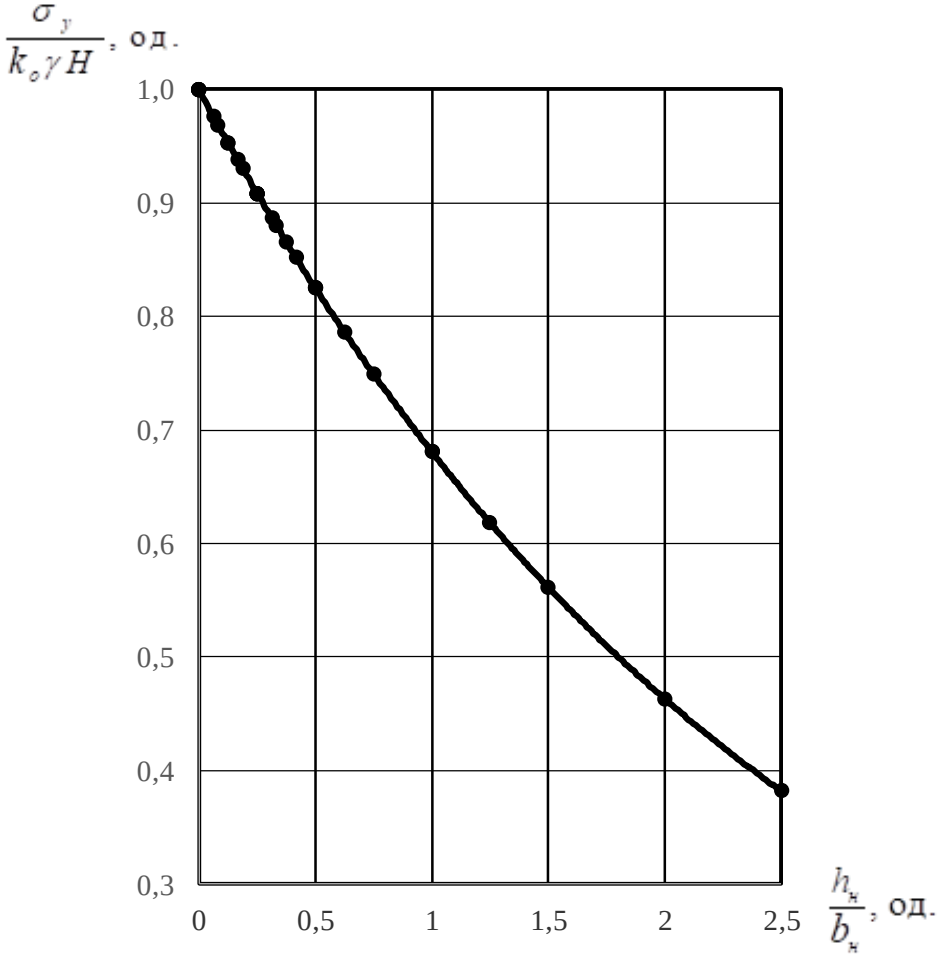


Рисунок 4.3 – Графік залежності співвідношення напружень $\sigma_y / k_o \gamma H$ від співвідношення геометричних розмірів смуги $h_н / b_н$ з бічним опором, яка знаходиться на абсолютно жорсткому шарі підстилаючих порід

Отриманий вираз показує загальну закономірність зменшення навантажень по висоті бутової смуги, але має такі допущення: вертикальний тиск на будь-якій глибині по висоті смуги приймається рівномірно розподіленим по всій площі горизонтального перетину; горизонтальний тиск в будь-якій точці сипучого тіла приймається пропорціональним вертикальному тиску; вплив порід підошви не враховується.

Треба відзначити, що розподіл навантаження по висоті смуги за залежністю (4.8) при збереженні рівноваги має місце, коли бічними стінками створено достатній опір породам, які переміщуються. При зменшенні бічного опору, за умови збереження рівноваги, необхідно одночасно збільшувати ширину насипки, тобто збільшувати ширину периферійних зон. Це призведе до зменшення напружень поряд зі стінками, але у ядрі навантаження не зміняться.

Якщо розглянути рівновагу елементарного об'єму по ширини смуги (рис. 4.4), то можна визначити зміни вертикальних навантажень від її стінок до центру при бічному опорі [269]. У цьому випадку диференціальне рівняння буде мати вигляд

$$h_н(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx) + h_н \gamma_o \sin\beta dx - 2\sigma_y f dx - h_н \sigma_x = 0. \qquad (4.9)$$

Рішення даного рівняння дозволило отримати залежність вертикальних напружень

$$\sigma_y = R_м e^{\frac{2 f_c}{h_н tg^2\left(45^o - \frac{\rho_п}{2}\right)} x} + \frac{\gamma_o h_н \sin\beta}{2 f_c}\left(1 - e^{\frac{2 f_c}{h_н tg^2\left(45^o - \frac{\rho_п}{2}\right)} x}\right),$$

де $R_м$ – реакція бічної стінки, МПа.

Оскільки в цьому виразі вага порід у смузі має несуттєвий вплив на результат, то отримаємо спрощений вираз, який буде мати вигляд

$$\sigma_y = R_м e^{\frac{2 f_c}{h_н tg^2\left(45^o - \frac{\rho_п}{2}\right)} x} \qquad (4.10)$$

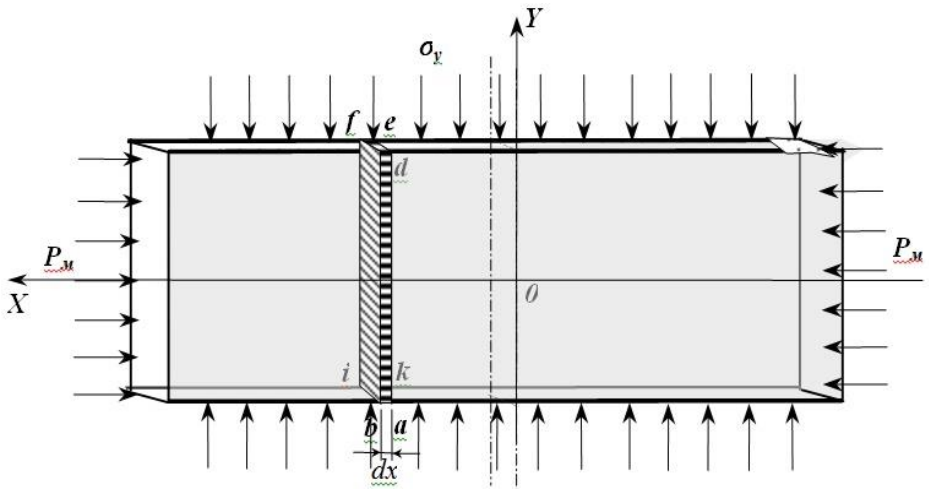


Рисунок 4.4 – Схема аналітичної моделі для складання рівняння граничної рівноваги елементарного об'єму по ширині бутової смуги з бічним опором

та при підстановці крайової умови, коли $x = b_н / 2$, реакція бічної стінки буде визначатися виразом

$$R_м = k_o \gamma H e^{-\frac{b_н}{h_н} \frac{f_c}{tg^2\left(45^o - \frac{\rho_n}{2}\right)}}, \tag{4.11}$$

звідки

$$b_н = h_н \frac{tg^2\left(45^o - \frac{\rho_n}{2}\right)}{f_c} \ln \frac{k_o \gamma H}{R_м}. \tag{4.12}$$

Аналогічним чином, з виразу (4.10), можна встановити залежність зміни горизонтальних напружень в породній смузі, яка буде мати вигляд

$$\sigma_x = P_м e^{\frac{b_н}{h_н} \frac{f_c}{tg^2\left(45^o - \frac{\rho_n}{2}\right)}} \tag{4.13}$$

де $P_м$ – необхідний бічний опір переміщенню порід у смузі, МПа.

Даний вираз показує зміну напружень у бутовій смузі в результаті докладання до неї бічного опору. Вираз (4.13) дозволяє отримати залежність величини бічного опору від основних чинників, що впливають, яка може бути використана для встановлення параметрів охоронної конструкції з рядової

породи з бічним опором, що буде здатна забезпечити рівновагу в геотехнічній системі «бічні породи-засіб охорони». Вона має вигляд

$$P_{м} = k_{o}\gamma H tg^{2}\left(45^{\circ} - \frac{\rho_{п}}{2}\right) e^{-\frac{b_{н}}{h_{н}} \frac{f_{c}}{tg^{2}\left(45^{\circ} - \frac{\rho_{п}}{2}\right)}}, \qquad (4.14)$$

звідки

$$b_{н} = h_{н} \frac{tg^{2}\left(45^{\circ} - \frac{\rho_{п}}{2}\right)}{f_{c}} \ln \frac{k_{o}\gamma H tg^{2}\left(45^{\circ} - \frac{\rho_{п}}{2}\right)}{P_{м}}. \qquad (4.15)$$

На прикладі умов пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», залежність може бути представлена тривимірним графіком (рис. 4.5), з якого випливає, що стійкість геотехнічної системи «бічні породи-засіб охорони» буде забезпечена відносно невеликими зусиллями по краях породної конструкції з обмеженими геометричними розмірами.

На рисунку 4.5 позначено відрізок *AB*, який показує межу, за якою напруження починають зростати. Координати точок на цьому відрізку показують граничне співвідношення ширини та висоти насипки ($b_{н} / h_{н} = 4,0$), при перевищені якого стійкість породної смуги може бути забезпечена опором її вільних укосів [278]. При співвідношенні $b_{н} / h_{н} < 4,0$ необхідне прикладання бічного опору по краям породної конструкції створенням штучних опор, що встановлюються замість периферійних зон насипок або поряд з ними. У якості штучних опор доцільне використання породних стійок [186].

Згідно із встановленою залежністю, несучою здатністю споруди з рядової породи можна управляти за рахунок зміни бічного опору та ширини споруди. Для збільшення її несучої здатності ці параметри мають збільшуватись, а висота насипки зменшуватись. Висотою породної насипки у постановці, яка наведена вище, не можливо управляти, оскільки споруда має розміщуватись на всю висоту між породами покрівлі та підошви. Але це можливо реалізувати поділом насипки на окремі шари спеціальними перегородками [102, 194].

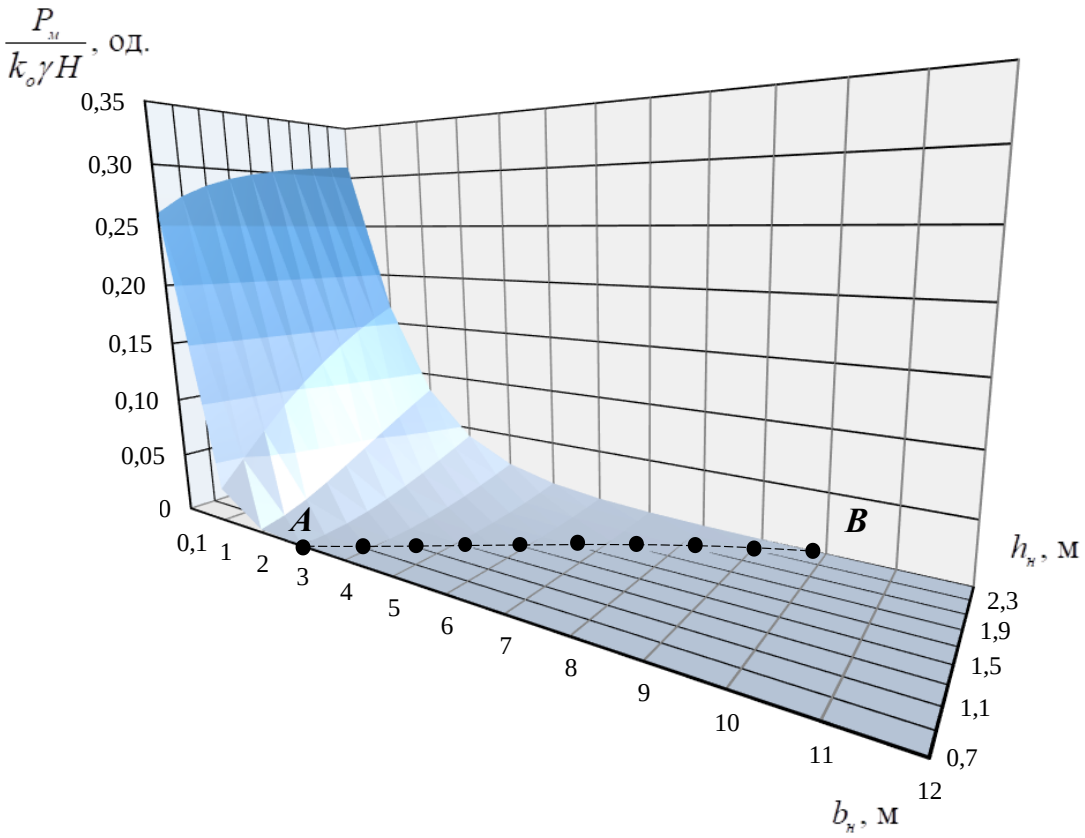


Рисунок 4.5 – Тривимірний графік залежності відносної величини необхідного бічного опору в бутовій смузі $P_м / (k_o \gamma H)$ від її ширини $b_н$ та висоти $h_н$ (при ρ_n= 30°) для забезпечення рівноваги в конструкції

4.3 Обґрунтування параметрів стрічкових породних конструкцій з сітчастими перегородками

Зі збільшенням висоти породної насипки вкрай важко забезпечити її стійкість за рахунок природніх властивостей закладного матеріалу, який є незв'язаним сипким середовищем та має властивість протистояти істотним стискаючим зусиллям і бути нестійким по відношенню до розтягуючих. Тому під дією вертикальних сил кожна частка поводиться як клин і виникають горизонтальні сили, які призводять до рухливості частинки породного об’єму в горизонтальній площині.

У будівництві широке застосування знаходять геосітки, які стійкі до розтягуючих і нестійкі до стискаючих напружень. Вони, по суті, є в

ущільнених ґрунтах доповненням для створення стійких конструкцій. У сипкому середовищі локальні розтягуючі напруження передаються на геосітки, в результаті чого відбувається їх перерозподіл на сусідні ділянки. Саме такий принцип покладений в основу породних охоронних конструкцій з горизонтальними перегородками, які ділять цю конструкцію на окремі шари, кожний з яких являє собою окрему насипку.

Перегородки в спорудах повинні мати такі властивості та розміри, при яких утворюється достатньо стійка породна конструкція, яка буде здатна запобігати інтенсивному розшаруванню порід покрівлі, збільшенню розмірів зони непружних деформацій навколо гірничої виробки та зростанню навантаження на її кріплення. Ефект від застосування перегородок має забезпечуватись збільшенням сил тертя та зчеплення між породними частинками, які будуть протистояти горизонтальним силам, що призводять до рухливості частинок у насипці. Перегородка має бути шорсткою, забезпечувати фіксацію породних частинок, які з нею контактують. Дієвим рішенням може бути використання сітчастих перегородок з металу, геосинтетиків тощо. Такі конструкції широко використовуються у будівництві при зміцненні слабких ґрунтів [43, 84, 243].

В умовах охорони гірничих виробок породна смуга споруджується пошарово між покрівлею і підошвою пласту, а між шарами укладають перегородки з сітчастих конструкцій, за рахунок властивостей яких забезпечується блокування породних частинок в охоронній споруді та зменшення їх рухливості. До таких властивостей відноситься шорсткість прокладок та їх здатності змінювати форму у залежності від нерівності поверхні породного об’єму зі збільшенням площі контакту з породними фракціями. Дане рішення склало основу патенту на корисну модель № 137375 [291].

Як правило, охоронні конструкції передбачають їх стрічкове розміщення вздовж виробки, що охороняється, але й не виключається можливість використання окремо розташованих опор для створення

компенсаційних порожнин, виходів для робітників, вікон для провітрювання очисних вибоїв, зменшення габаритів охоронних споруд тощо.

Несуча здатність бутової смуги залежить від її ширини та гранулометричного складу порід. При застосуванні ж перегородок з сітчастих конструкцій необхідно враховувати їх шорсткість, жорсткість, розмір чарунок й ін. При проектуванні жорстких перегородок враховувалась тільки межа їх міцності на одновісний стиск, яка порівнювалась з діючими в породній опорі напруженнями [102].

Для встановлення оптимальних параметрів породних стрічкових охоронних споруд, які були армовані металевими сітками, були проведені лабораторні випробовування [218, 259]. Ці дослідження включали підготовку структурних моделей породо-сітчастих конструкцій з різними параметрами, їх відпрацювання з фіксацією результатів, обробку останніх і встановлення кількісних залежностей несучої здатності та піддатливості армованих породних опор від факторів, що впливають. У моделях змінювалися такі параметри: гранулометричний склад, висота, ширина, кількість сітчастих перегородок.

Була підготовлена модель з масштабом моделювання 1:30, яка представляла собою зварену металеву конструкцію зі швелера [100 розмірами 0,55×0,4м, до якої кріпилася задня та прозора передня стінки (рис. 4.6). Всередині конструкції по черзі розміщувалися охоронні споруди з різною крупністю породних частинок без укладання та з укладанням сітчастих перегородок (рис. 4.7). Діаметр дроту в сітці становив 0,5 мм, що відповідало 0,015 м у натурі, а розмір чарунок – 6 мм×6 мм (0,18×0,18 м у натурі).

Була відпрацьована серія моделей при різних величинах навантаження на охоронну споруду, яке змінювалось у діапазоні від 0 до 15 кН. Відпрацювання кожної моделі проводилося поетапно з поступовим збільшенням навантаження та фіксацією величини усадки споруди.

В результаті відпрацювання моделей, при різних величинах навантаження на охоронну споруду були встановлені залежності її усадки та



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд моделі першого етапу структурного моделювання

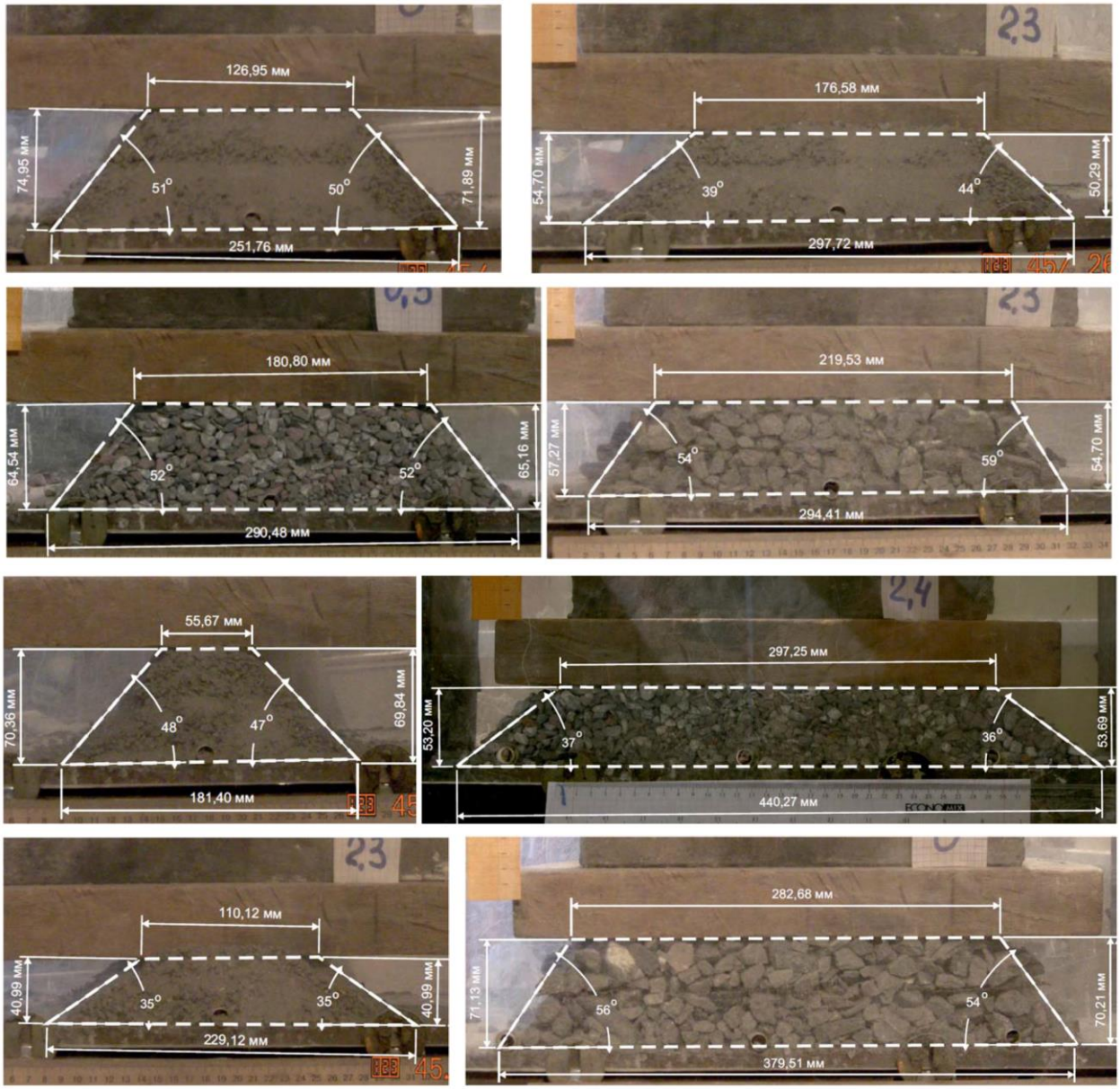


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд породних конструкцій при їх навантаженні

розширення від ряду факторів (рис. 4.8).

Піддатливість для опор шириною від $6h_н$ до $3h_н$ з різною крупністю породних частинок в моделях без перегородки становила від 16 до 65 %, а для моделей з перегородкою - від 13 до 42 %. При цьому мінімальні величини відносилися до опор шириною $6h_н$ з породними частинками максимального розміру, а максимальні - до опор шириною $3h_н$ з найменшою фракцією.

При ширині неармованих породних смуг $3h_н$ і $4h_н$ відзначалися істотні вертикальні деформації (відповідно, 65 і 62 %) (рис. 4.9), що супроводжувалися горизонтальними зсувами, які при навантаженні 15 кН складали 65...89 % від вертикальних (рис. 4.10). При цьому гранулометричний склад практично не впливав на результат. Для вільної насипки шириною $6h_н$ горизонтальні зміщення складали 13...25 % від вертикальних у залежності від крупності породних фракцій (рис. 4.10). Тобто, можна стверджувати, що при даній ширині бутова смуга забезпечує найменшу піддатливість, а вплив гранулометричного складу порід в ній є несуттєвим.

Для породних смуг шириною $3h_н$, які були розділені на два шари сітчастою перегородкою, піддатливість складала 42 %, а при $4h_н$ і $6h_н$, відповідно, 32 і 26 % (рис. 4.9). Співвідношення горизонтальних і вертикальних зсувів для ширини $3h_н$, $4h_н$ і $6h_н$ при навантаженні 15 кН змінюється для різних фракцій в діапазонах, відповідно, 54...62%, 36...60% і 16...18 % (рис. 4.10). Таким чином, наявність перегородки ефективна при ширині породної смуги менше $6h_н$. При однакових умовах піддатливість армованих споруд з шириною $4h_н$ відповідає піддатливості бутової смуги шириною $6h_н$, що споруджується за традиційною технологією, для армованих смуг з крупнофракційним заповнювачем ця ширина може бути зменшена до $3h_н$. Тому укладанням перегородки буде можливим у 1,5 та більше разів без втрати несучої здатності зменшити ширину смуги й обсяг породи, що закладається. Зміна гранулометричного складу в армованих спорудах різної ширини дозволяє змінити піддатливість на 8...16 %, в тому числі при ширині

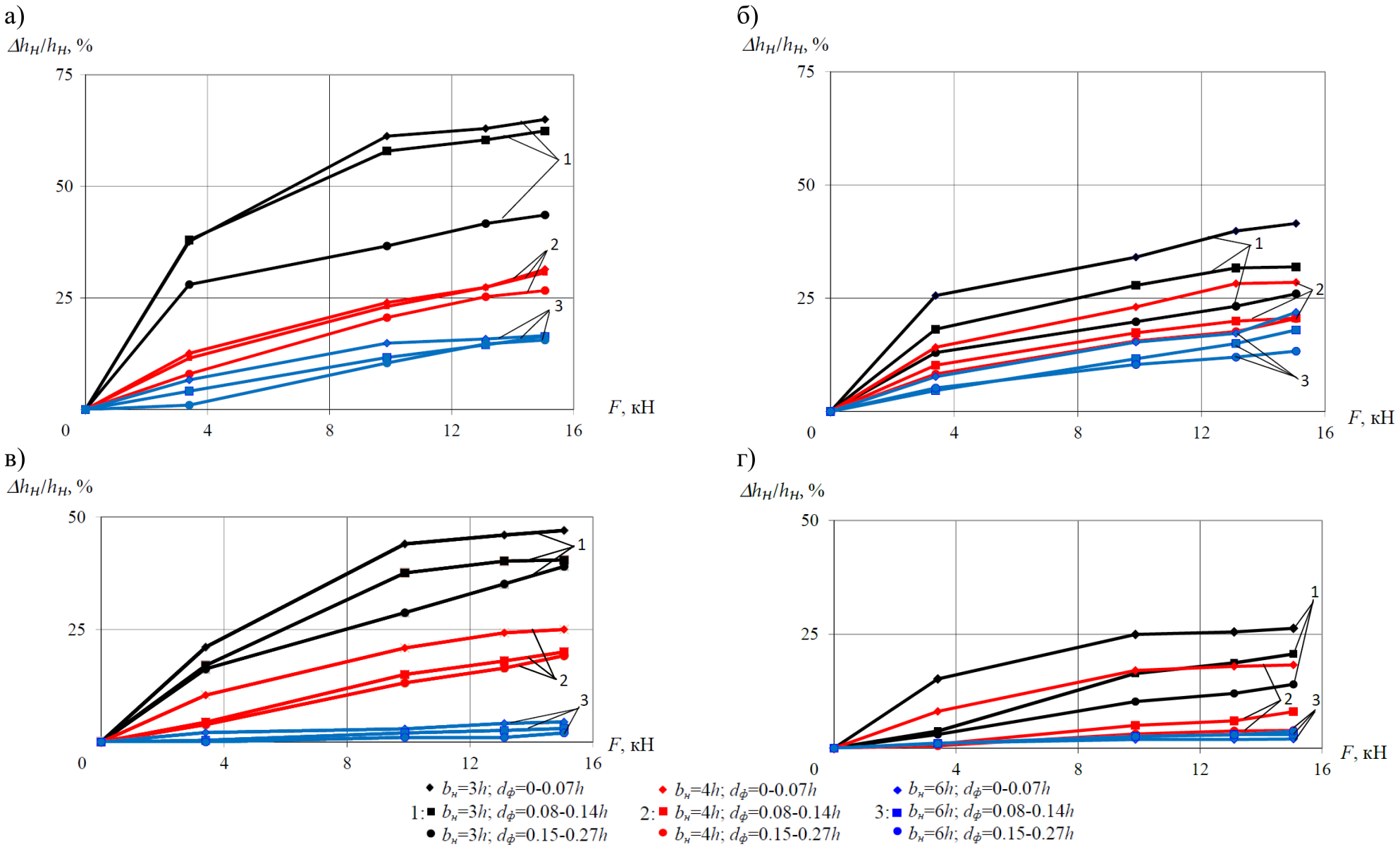


Рисунок 4.8 – Графіки зміни відносних величин усадки $\Delta h_н$ (а, б) та розширення $\Delta b_н$ (в, г) породних смуг зі збільшенням величини навантаження на них F (для моделей без перегородки (а, в) та з перегородкою (б, г); $h_н$ – ширина смуги; $d_ф$ – розмір фракцій)

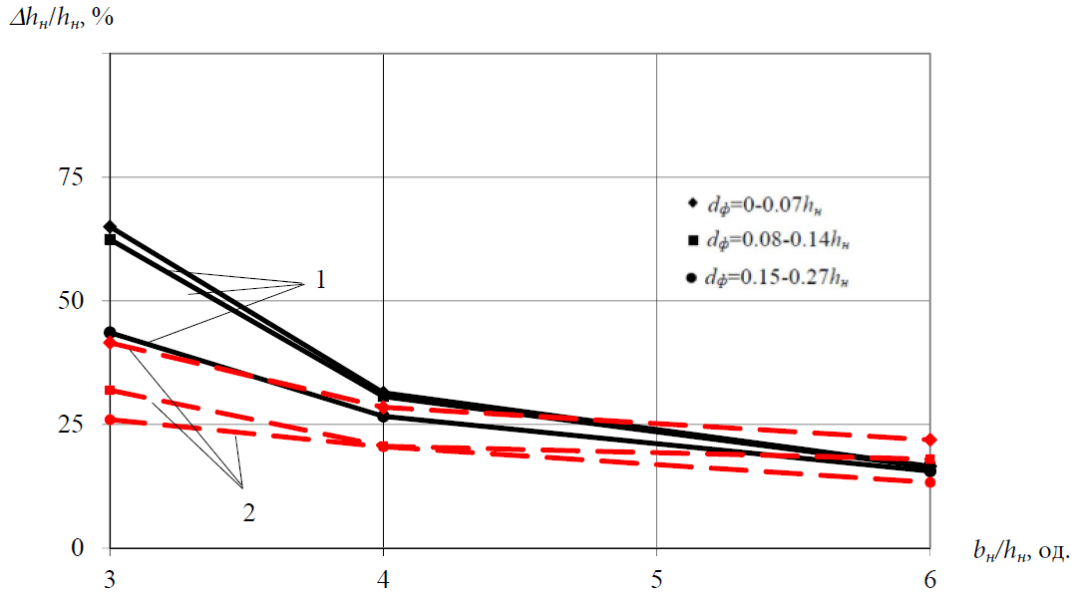


Рисунок 4.9 – Графіки зміни величини відносної усадки породної смуги $\Delta h_н/h_н$ зі зміною співвідношення її ширини та висоти $b_н/h_н$ при різному гранулометричному складі вміщуючих порід $d_ф$ (1, 2 – відповідно, неармовані та армовані смуги)

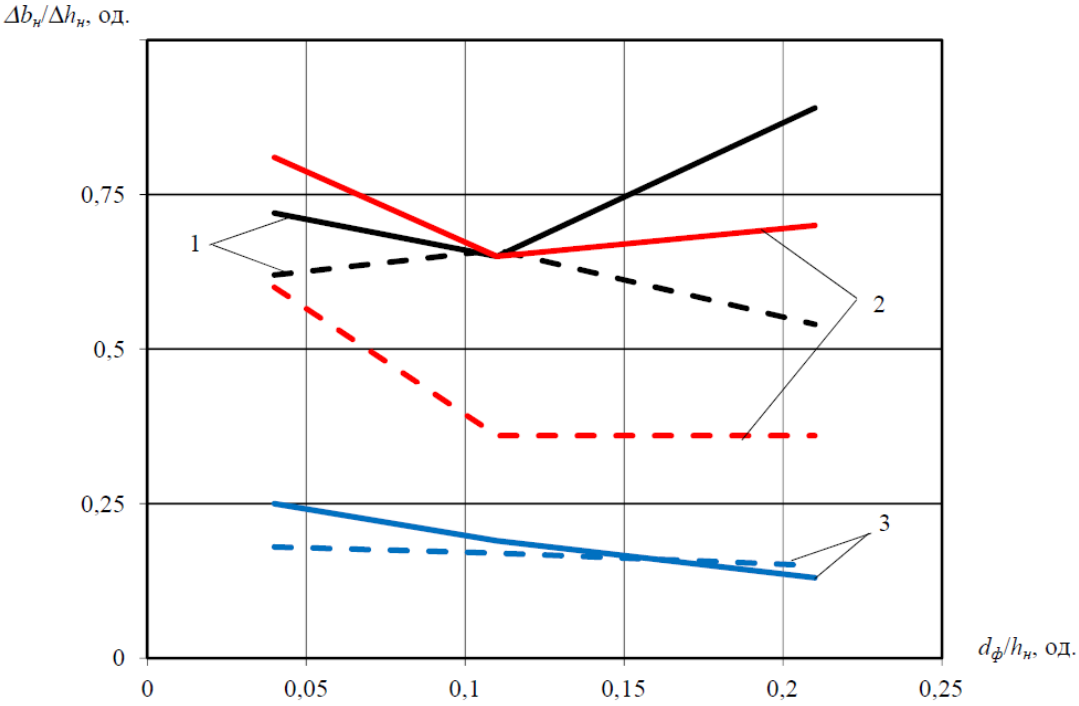


Рисунок 4.10 – Графіки залежності співвідношення горизонтальних і вертикальних зсувів породних смуг $\Delta b_н / \Delta h_н$ від відносного розміру породних частинок $d_ф / h_н$ для навантаження F= 15 кН (1, 2 і 3 – для ширини смуги, відповідно, $3h_н$, $4h_н$ і $6h_н$; суцільна і штрихова лінії - відповідно, неармовані й армовані смуги)

$6h_н$ – 8 %. При цьому при фракції $0{,}11h_н$ відзначається зменшення та стабілізація горизонтальних зсувів (рис. 4.10) і відбувається формування несучого ядра.

Отримані результати вказують на те, що переміщення породних частинок в неармованій стрічковій породній смузі мають більш інтенсивний характер і її несуче ядро формується із запізненням, а смуга з перегородкою – вже на ранньому етапі починає протистояти навантаженням, які діють. На відміну від породних смуг з жорсткими перегородками, стійкість яких забезпечується при ширині $5h_н$, сітчасті конструкції допускають ширину від $3h_н$. Гранулометричний склад порід у смузі може бути будь-який, але перевагу варто віддавати фракціям більше $0{,}11h_н$., при яких формуються стійкі несучі ядра в армопородних конструкціях.

В армованих охоронних смугах ключовими елементами є сітчасті конструкції, які в контактній зоні між породними шарами сприяють зниженню зсувних напружень у цих шарах. Завдяки спільній роботі сітки і дискретного матеріалу та зачеплення породних частинок у чарунках обмежуються переміщення сусідніх рухомих частинок, попереджається бічне розширення смуг і підвищується несуча здатність. Тому основна роль в даних конструкціях відводиться арматурі.

Як показують результати дослідників у механіці ґрунтів [84], найважливішим фактором в армуванні є наявність досить великого діаметра арматури чи досить часте її розташування для втягування в роботу більшої маси ґрунту. При цьому максимальна відстань між стержнями будь-якої арматури не має перевищувати 8 діаметрів стержнів. З цими положеннями варто погодиться, оскільки вони ґрунтуються на результатах численних досліджень.

Оскільки діаметр арматури визначає здатність сітки протистояти розривним навантаженням, а розмір чарунок – якість зачеплення породних частинок, то до основних характеристик сітчастих конструкцій в породній смузі, крім ширини її армування, необхідно віднести міцність арматури на розтягнення та розмір чарунок.

Оскільки арматура являє собою круглий стрижень та повинна мати достатню міцність на розтягування, то умова її міцності буде мати вигляд

$$\frac{4F}{\pi d^2} \le \left[\sigma_p\right] \tag{4.16}$$

де F – сила, що розтягує стрижень, Н; d – діаметр стрижня, м; $[\sigma_p]$ - допустиме напруження у стрижні при розтягуванні, МПа.

В розрахунках гнучку арматуру ототожнюють з ниткою, тому для визначення параметрів елементів армування (стрижнів) в сітчастих перегородках скористаємося положеннями теорії гнучких ниток, розвинутою Качуріним В.К. [199].

В армованій породній опорі, яка представлена дискретним середовищем, в результаті дії вертикальних сил та розповзання опори, стрижні з будь-якого напрямку зазнають вплив навантажень, що зменшуються з глибиною. Максимальним є вертикальне, що прикладається по верхній поверхні породної опори (рис. 4.11). У горизонтальній площині діють сили бічного тиску, які визначаються виразом (4.5). Оскільки розглядається міцність арматурних стрижнів на розтягування при максимальних навантаженнях, то у розрахунках необхідно приймати навантаження, яке діє на опору від порід покрівлі.

Стрижень арматури, який під дією навантаження q (Н/м) на обмеженому прольоті довжиною l (м) провисає на величину f (м). Дія навантаження буде супроводжуватися виникненням сили натягування стрижня F (Н) та його подовженням на величину Δl. Тоді натягування стрижня визначається виразом [199]

$$F = \frac{ql^2}{8f}, \tag{4.17}$$

а напруження усередині прольоту

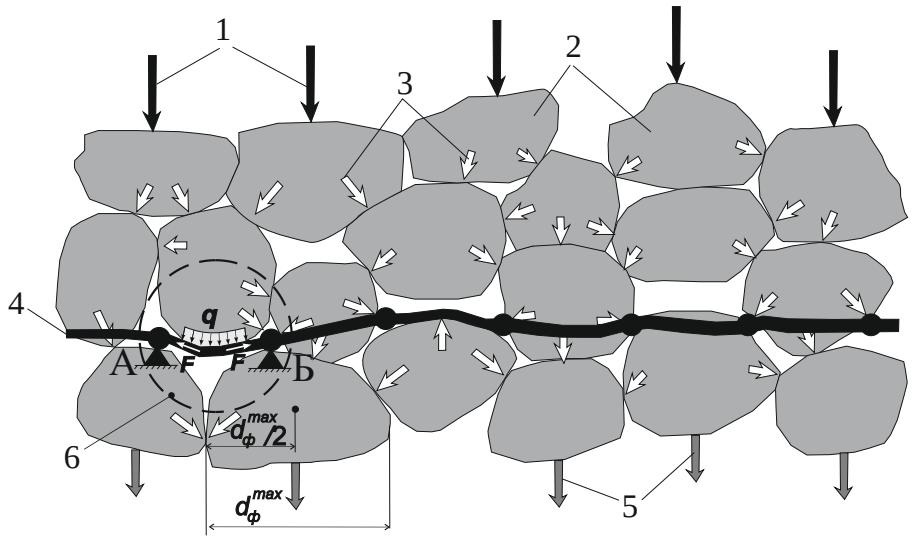


Рисунок 4.11 – Розрахункова схема визначення розподілу навантажень в армованій породній смузі (1 – вектори вертикальних навантажень на верхній поверхні опори, 2 – породні частинки, 3 – вектори сил між породними частинками, 4 – сітчаста конструкція, 5 – вектори сил, що передаються від опори на підстилаючі породи, 6 – вузол для розрахунку параметрів арматури, q – навантаження, яке впливає на провис стрижня на відрізку АБ, F – сили натягування стрижня, $d_ф$ – діаметр максимального шматка породи)

$$\sigma_1 = \frac{ql^2}{2f\pi d}, \tag{4.18}$$

Отримаємо умову міцності арматури на розтягнення

$$\frac{ql^2}{2f\pi d} \le \left[\sigma_p\right], \tag{4.19}$$

в якій невідомим є провис стрижня на відрізку довжиною l (рис. 4.12), яка при щільній закладці породи у найгіршій ситуації буде дорівнювати діаметру найбільшого шматка $d_ф$, а діюча сила буде прикладена по центру прольоту.

Згідно схеми (рис. 4.12), провис стрижня на відрізку АБ може бути розрахований виразом

$$f = \sqrt{\left(l/2 + \Delta l/2\right)^2 - \left(l/2\right)^2},$$

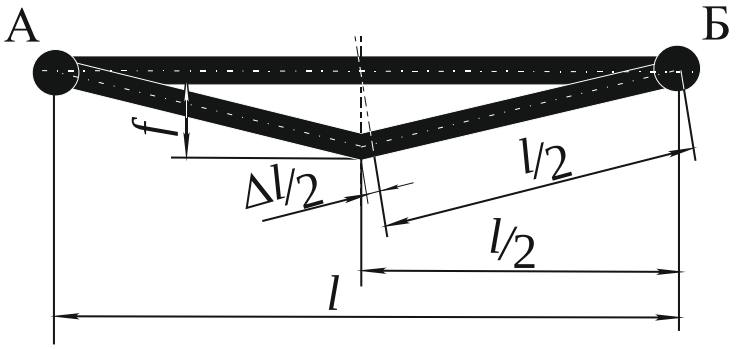


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема щодо визначення провису стрижня на відрізку АБ

де Δl – величина подовження стрижня під дією навантаження, що спричинило провис стрижня, м, яка дорівнює $\Delta l = \varepsilon_{ub} l$ (де ε_{ub} – гранична відносна деформація видовження арматури, після якої відбувається руйнування стрижня. Складає від 0,014 до 0,02 у відповідності з класом арматури [153]).

Тоді
$$f = \frac{l}{2}\sqrt{\varepsilon_{ub}\left(2+\varepsilon_{ub}\right)}. \qquad (4.20)$$

При $q = \sigma d$ (де σ – напруження від дії навантаження з боку порід покрівлі, МПа), умова міцності (4.19) прийме вигляд

$$\frac{d_{ф}}{\sqrt{\varepsilon_{ub}\left(2+\varepsilon_{ub}\right)\pi d}}\sigma \le \left[\sigma_{p}\right]. \qquad (4.21)$$

Наприклад, для сталевої арматури класу А600 (σ_p=630 МПа та ε_{ub}=0,02) при розмірі максимальних шматків 0,1 м, навантаженні на опору 15 МПа та діаметрі арматури 0,008 м ліва частина умови (4.21) буде дорівнювати 300 МПа для вертикальних напружень та 99 МПа – для горизонтальних. Тобто умова виконується та перегородка без руйнування витримає діючі навантаження.

У певних випадках перегородки на локальних ділянках можуть руйнуватися, коли діючі напруження будуть перевищувати $\left[\sigma_{p}\right]$. Таке явище

спостерігалося в породних опорах з жорсткими перегородками [102]. Руйнування сітчастих перегородок можливе у випадках дії завеликих навантажень, недостатнього діаметру та замалої відносної деформації арматури, а також великої крупності породних фракцій. Ситуацію руйнування сітчастих перегородок показано графічно на рисунку 4.13.

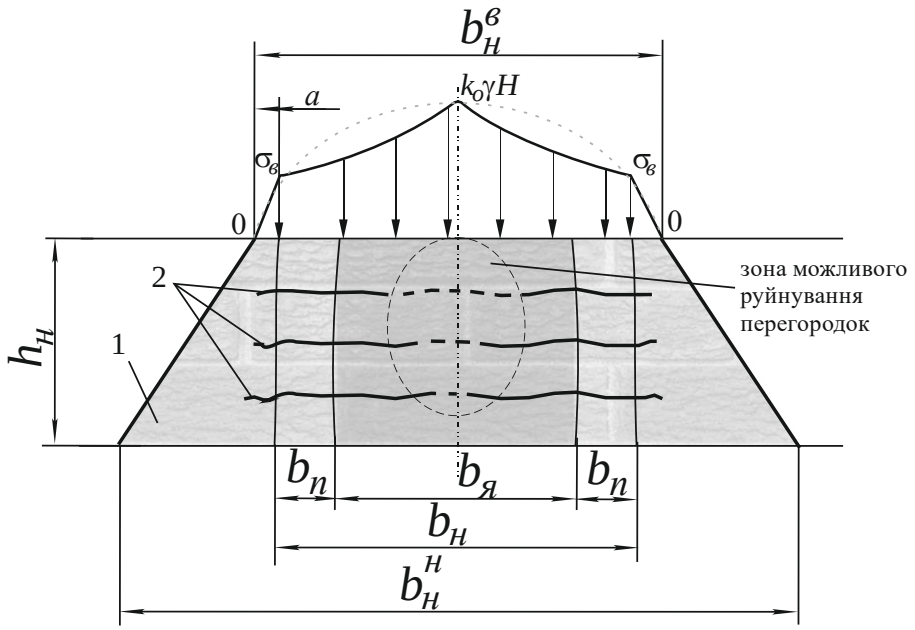


Рисунок 4.13 – Схема формування зон в породній опорі 1 з сітчастими перегородками 2 ($h_н$ – висота опори; $b_н^в$ та $b_н^н$ – ширина опори на контакті, відповідно, з покрівлею та підошвою; $b_я$, $b_п$ – відповідно, ширина ядра та периферійних зон; $b_н$ – активна ширина породної насипки; a – ширина зони з вільними укосами на контакті опори з покрівлею)

У першу чергу, будуть руйнуватися конструкції у центрі опори, оскільки напруження в породній опорі зменшуються від її центру до країв за експоненційним законом. Та на деякій відстані від центру напруження в опорі не будуть перевищувати міцність арматури. Тоді сітчасті конструкції не руйнуватимуться та будуть ефективними в крайових зонах (периферійних та з вільними укосами).

Оскільки породи підошви здатні стискатися, то максимальні напруження будуть на верхній перегородці й вона буде першою руйнуватися

після завантаження опори. Розподіл вертикальних напружень по ширині цієї опори буде описуватись виразом (4.10), в якому реакція $R_м$ буде дорівнювати реакції вільного укосу σ_o, яку в роботі [102] запропоновано визначати емпіричною залежністю

$$\sigma_o = 0,57 \cdot 10^{-3} h_н^{0,8} \gamma_н^{0,9} a^{1,42} \rho_п^{-0,96}, \text{ Па}, \tag{4.22}$$

де a – ширина зони з вільними укосами на контакті опори з покрівлею (м). Дорівнює від 0,01 до 0,1 м; $\gamma_н$ – щільність породи у насипці, кг/м^3.

Пропонується інший вираз щодо визначення реакції σ_o, який більш простий та дає тотожні з виразом (4.22) результати. Згідно керівного документу [348], ширина породної смуги в метрах має бути не менше, ніж $8h_н$, тоді з (4.12) при $a \to 0$, $b_н \approx 8h_н$ та $f_c = tg\rho_п$

$$\sigma_o = k_o \gamma H e^{-\frac{8tg\rho_п}{tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_п}{2}\right)}}. \tag{4.23}$$

З виразу (4.23) випливає, що σ_o будуть незначні у порівнянні з межею міцності арматури на розтягнення. Ширину зони можливого руйнування сітчастої перегородки $b_р$ (м) з (4.15) та (4.21) можна визначити за формулою

$$b_р = h_н \frac{tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_п}{2}\right)}{tg\rho_п} \ln\left(\frac{k_o \gamma H}{[\sigma_р]} \frac{d_ф}{\sqrt{\varepsilon_{ub}(2+\varepsilon_{ub})\pi d}}\right). \tag{4.24}$$

Розрахунки за цією формулою можуть показати як позитивні ($b_р$>0), так і негативні ($b_р$ <0) значення, які свідчать, відповідно, про руйнування та збереження цілісності конструкції.

Питання, яке стосується розмірів чарунок сітки добре досліджено науковцями при проектуванні армованих основ для споруд та будівель, тому у більш ретельному вивчення цього питання немає потреби. Доведено, що

рифлена арматура концентрує більшу силу тертя, ніж гладка, при цьому найбільшу ефективність контактної взаємодії гарантує геосітка [84]. Коефіцієнт тертя породних частинок по сіткам залежить від співвідношення розмірів їх чарунок $L_ч$ і середньозваженого діаметра частинок $\overline{d_ф}$. Ефективний розмір чарунок має визначатися умовою [84]

$$2,2\overline{d_ф} \le L_ч \le 5\overline{d_ф}, \qquad (4.25)$$

та, як вказувалося раніше, він має перевищувати 8 діаметрів арматури.

4.4 Обґрунтування параметрів окремо розташованих породних конструкцій з сітчастими перегородками

Дослідження, які були проведені для обґрунтування параметрів армованих породних смуг, що зводяться стрічково уздовж виробки, дозволили перейти до наступного етапу, у якому розглядалася можливість спорудження окремо розташованих породних опор з сітчастими перегородками. На цьому етапі здійснювалось структурне моделювання для обґрунтування параметрів окремо розташованих армованих породних (бутових) опор, які становили собою обмежений породний об’єм розмірами в плані до 2,0 м. На відміну від традиційної бутової смуги, для якої при даній ширині буде неможливим забезпечити необхідну несучу здатність та зберегти стійкість виробки, обмежити піддатливість породних опор можна їх армуванням за допомогою гнучких перегородок, що укладаються між породними шарами паралельно площині нашарування бічних порід. У даній охоронній споруді ключовим елементом є гнучкі перегородки, які армують порідну опору та дозволяють їй зберігати стійку конструкцію. Тому від параметрів перегородок та їх кількості, в більшій мірі, залежить несуча здатність всієї опори.

Для встановлення параметрів породних опор були підготовлені армовані

та неармовані породні об’єми розміром 0,1×0,1×0,1 м [257]. Армовані опори відрізнялися між собою кількістю перегородок, які укладалися по висоті опори. У всіх об’ємах застосовувалася порода з однаковим фракційним складом та розміром частинок від $0{,}08h_н$ до $0{,}27h_н$. Для армування застосовувалася металева сітка з діаметром дроту 0,5 мм і розміром чарунок 6 мм×6 мм.

При засипці породні об’єми поміщалися в спеціальні паперові опалубки, які перед початком випробувань вилучалися (рис. 4.14). Після знімання опалубок породні об’єми приймали форму усічених конусів, після чого проводилось вимірювання початкової висоти насипки перед навантаженням. Потім до насипки прикладалося вертикальне навантаження 6 кН з можливістю бічного розширення насипки. Після цього здійснювалося завершальне вимірювання кінцевої висоти опори (рис. 4.15).

При відпрацюванні моделей з перегородками картина деформування породного об’єму відрізнялася від неармованих моделей. Після зняття опалубки початкова висота армованих опор була істотно більшою, ніж неармованих, причому при трьох перегородках конструкція практично не розсипалася і її усадка перед навантаженням не перевищувала 2 %. Для неармованих опор усадка без навантаження досягала 49 % (рис. 4.16).

Додавання вертикальної сили до породних об’ємів спричиняли подальші усадки, величини яких для армованих і неармованих опор становили близько 20 % (рис. 4.16), але у підсумку показали піддатливість 21 і 75 %, відповідно, для трьох перегородок і без них. Таким чином, сітки в даних конструкціях найбільш ефективні на початковій стадії, коли формується несуче ядро. Після того, як сформувалися ядра, незалежно від щільності армування опор, вони стискаються однаково. Тобто функція сітчастих перегородок полягає в тому, щоб за рахунок їх шорсткості та здатності під навантаженням змінювати форму, сприяти самозаклинюванню породних частинок, недопускаючи розширення породного об’єму на момент формування несучих ядер.

За результатами замірів усадки опор з різною щільністю армування



Рисунок 4.14 – Загальний вигляд моделей перед випробуваннями

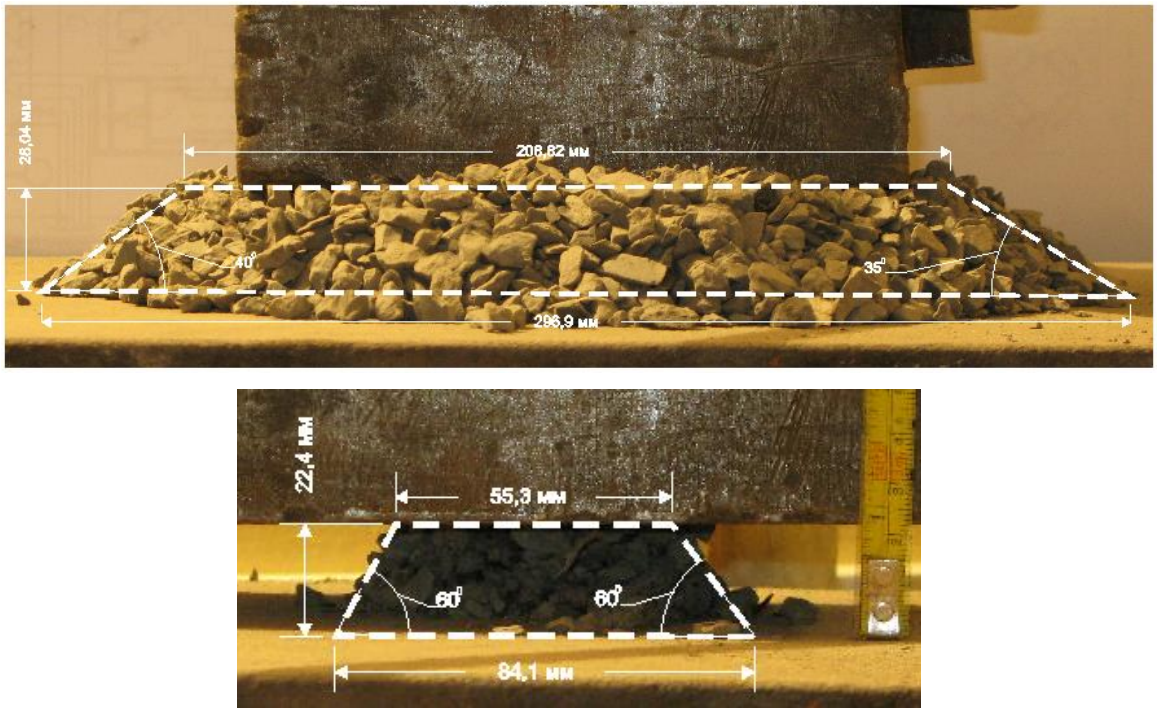


Рисунок 4.15 – Схема вимірів параметрів породних опор на етапі їх випробувань

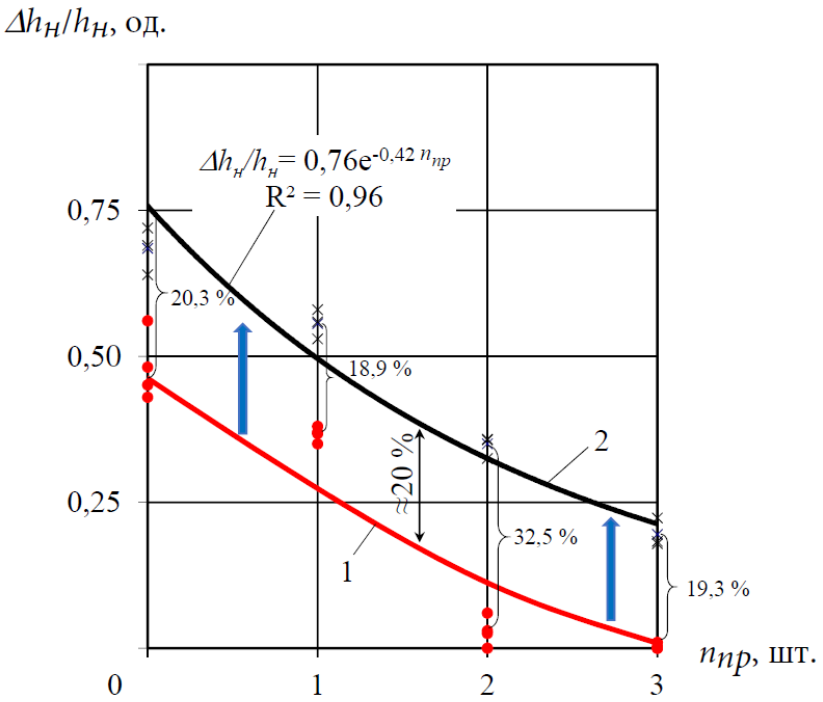


Рисунок 4.16 – Графіки залежності величини відносної усадки породних опор $\Delta h_н/h_н$ від кількості перегородок по висоті опори $n_{пр}$ на різних етапах їх тестування (1 і 2 – відповідно, до і після навантаження опор)

була отримана експоненційна залежність відносної усадки $\Delta h_н/h_н$ від кількості перегородок в опорі $n_{пр}$, яка має вигляд

$$\frac{\Delta h_н}{h_н} = 0,76e^{-0,42n_{пр}}, \qquad (4.26)$$

(R^2=0,96; $t>t_{кр}$ (122,3>2,16); $F>F_{кр}$ (156,0>3,81))

Надалі, без знімання навантаження з опори, здійснювалося прибирання породи, яка перебувала у вільній насипці (не була затиснена у ядрі). Це дозволило оконтурити несучі ядра у різних опорах і визначити їх параметри в залежності від щільності армування конструкцій (рис. 4.17-4.19). Для неармованих опор прибирання вільної породи призводило до порушення рівноваги в них з подальшою усадкою, а для армованих – воно в меншій мірі вплинуло на їх загальну усадку.

Встановлено, що розміри несучих ядер істотно менші за розміри самих

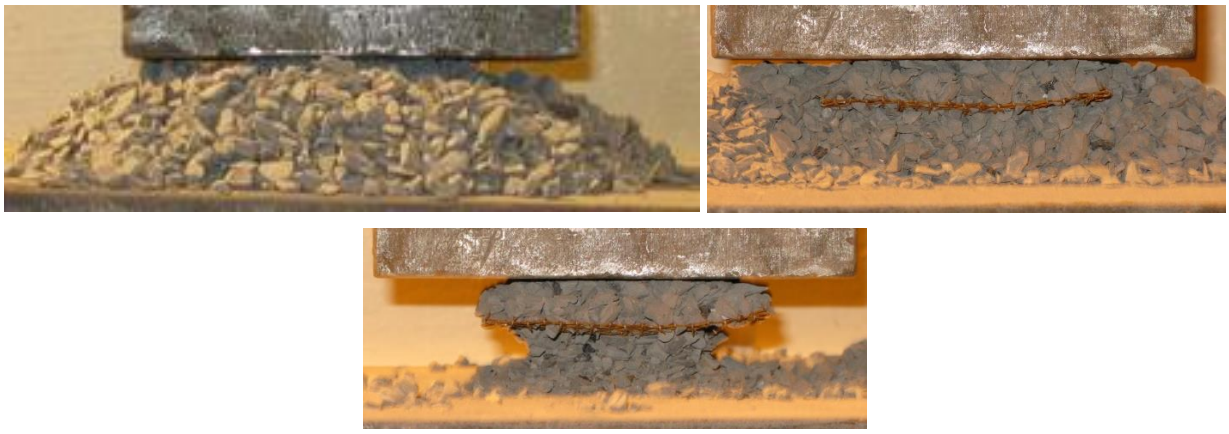


Рисунок 4.17 – Загальний вигляд породної опори з однією гнучкою перегородкою на різних стадіях її випробування



Рисунок 4.18 – Загальний вигляд породної опори з двома гнучкими перегородками на різних стадіях її випробування

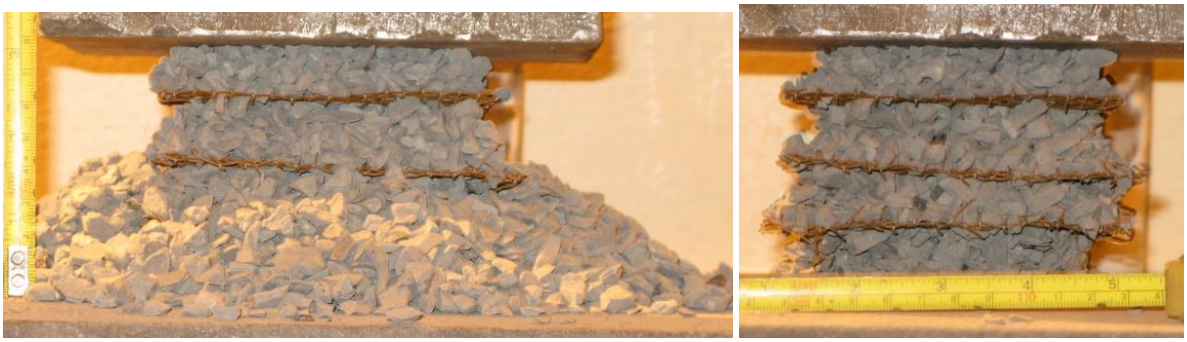


Рисунок 4.19 – Загальний вигляд породної опори з трьома гнучкими перегородками на різних стадіях її випробування

опор. Їх ширина становила близько 54-69% від ширини основи опори, причому мінімальна величина припадала на неармовані опори, а максимальна - на опори з трьома перегородками. Це пояснюється тим, що в неармованій насипці породний об'єм розміщується на більшій площі, внаслідок значних усадки та розповзання. В цілому ширина ядер в моделях з обмежуючими поверхнями становила близько 90% від ширини перегородки. В об'ємі без перегородок ядра були в 1,5 рази ширше, ніж з ними.

З огляду на те, що перегородки можуть використовуватись не по всій своїй площі, на другому етапі були проведені випробовування на породних опорах з різними розмірами перегородок у плані та різними фракціями (рис. 4.20-4.23) [264]. Були прийняті фракції від 0,01 до 0,1 м і від 0,11 до 0,2 м, кількість перегородок - від 1 до 3-х, а їх розміри: 0,05×0,05, 0,07×0,07, 0,09×0,09 та 0,11× 0,11 м.

При збільшенні крупності породного матеріалу в опорах усадка останніх зменшувалася, причому зі збільшенням розміру прокладок до ширини ядра вона також зменшувалася. Перевищення розмірів сітки над параметрами несучого ядра не принесло істотного ефекту. При розмірах сіток 50 і 70% від початкової ширини опори істотного ефекту від армування також не було отримано (рис. 4.20, 4.21, 4.24), а при 90 і 110 % – забезпечувалася стійкість опор (рис. 4.22, 4.23), але в останньому випадку завищений розмір перегородок був зайвими, оскільки він перевищував ширину ядер і їх краї не брали участь у формуванні ядер. При замалих розмірах перегородок ((0,5…0,7)$b_н$, де $b_н$ - ширина породної опори) піддатливість опор може бути зменшена не більше ніж на 10 %, а при їх ширині не менше 0,9$b_н$ – на 30…48 %, в залежності від кількості перегородок та гранулометричного складу породних частинок в опорі (рис. 4.24). З рисунку 4.24 випливає, що збільшення ширини прокладок до 1,1$b_н$ доцільне при закладанні порід з фракціями від 0,11 до 0,2 м, але враховуючи, що в реальних умовах складно забезпечити таке сортування й опори складаються зі змішаних фракцій, то ефективною та технологічною є ширина (0,9…1,0)$b_н$. Тобто

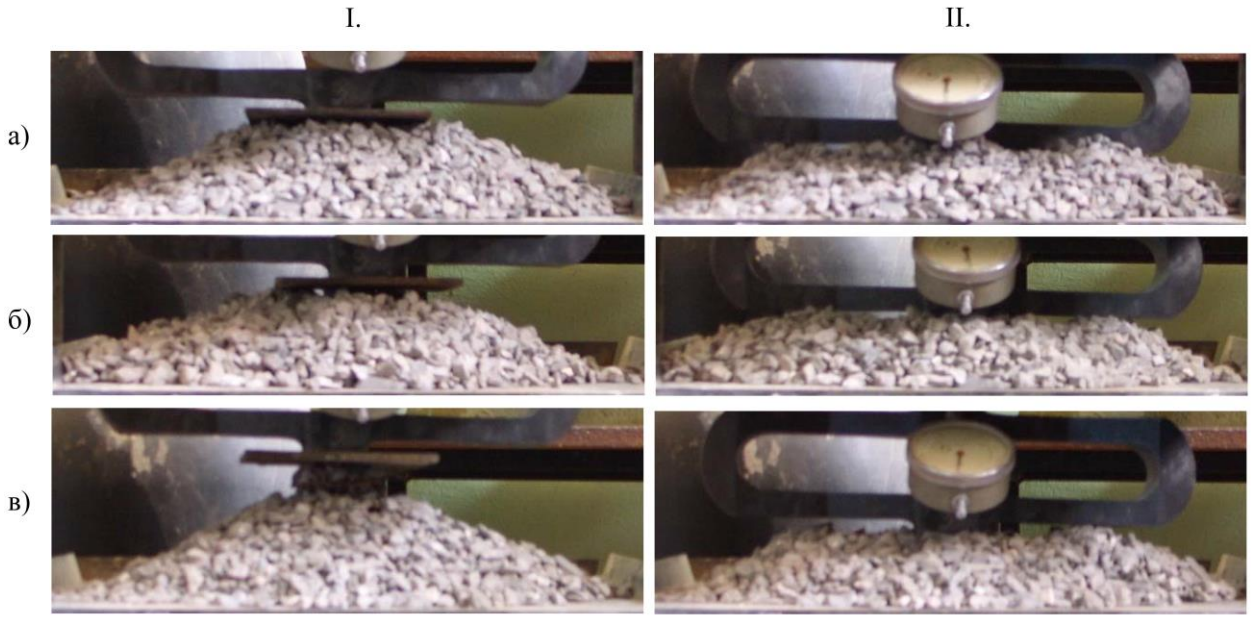


Рисунок 4.20 – Загальний вигляд породних опор з розміром перегородок 0,05×0,05 м (1, 2 – відповідно, опори до навантаження та після нього з однією (а), двома (б) і трьома (в) перегородками по висоті)

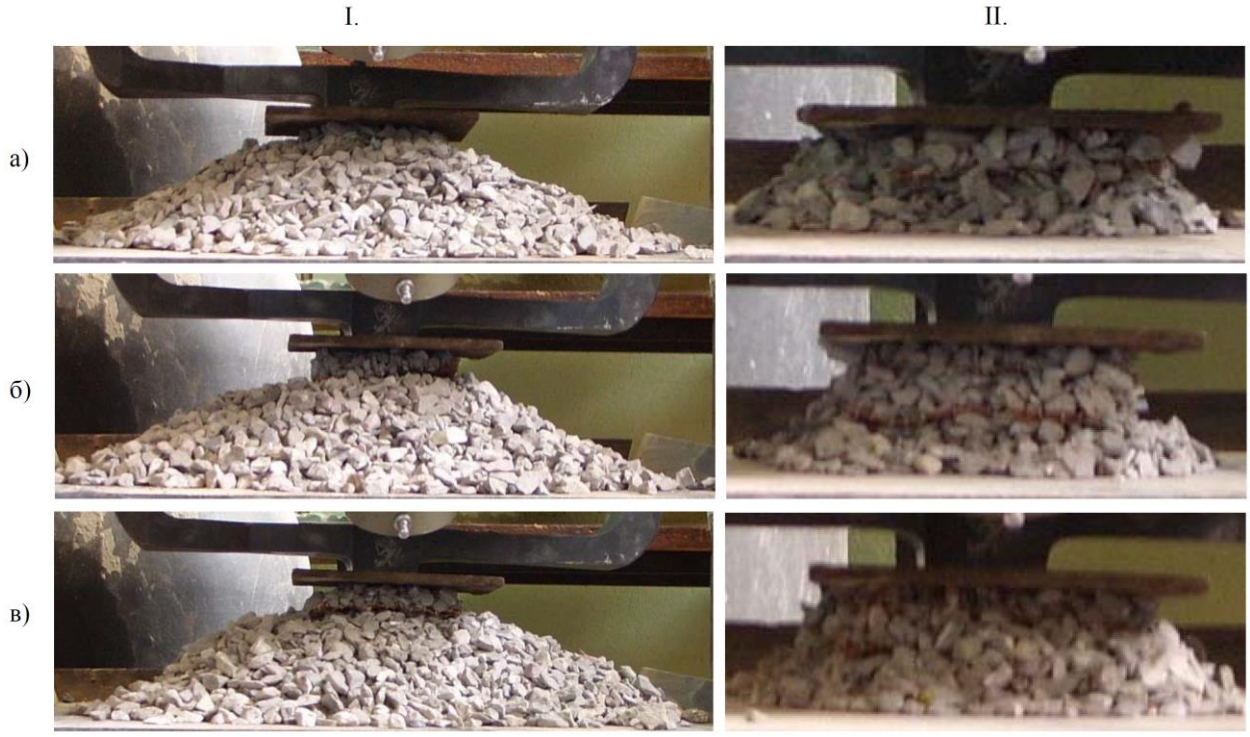


Рисунок 4.21 – Загальний вигляд породних опор з розміром перегородок 0,07×0,07 м (1, 2 – відповідно, опори до навантаження та після нього з однією (а), двома (б) і трьома (в) перегородками по висоті)

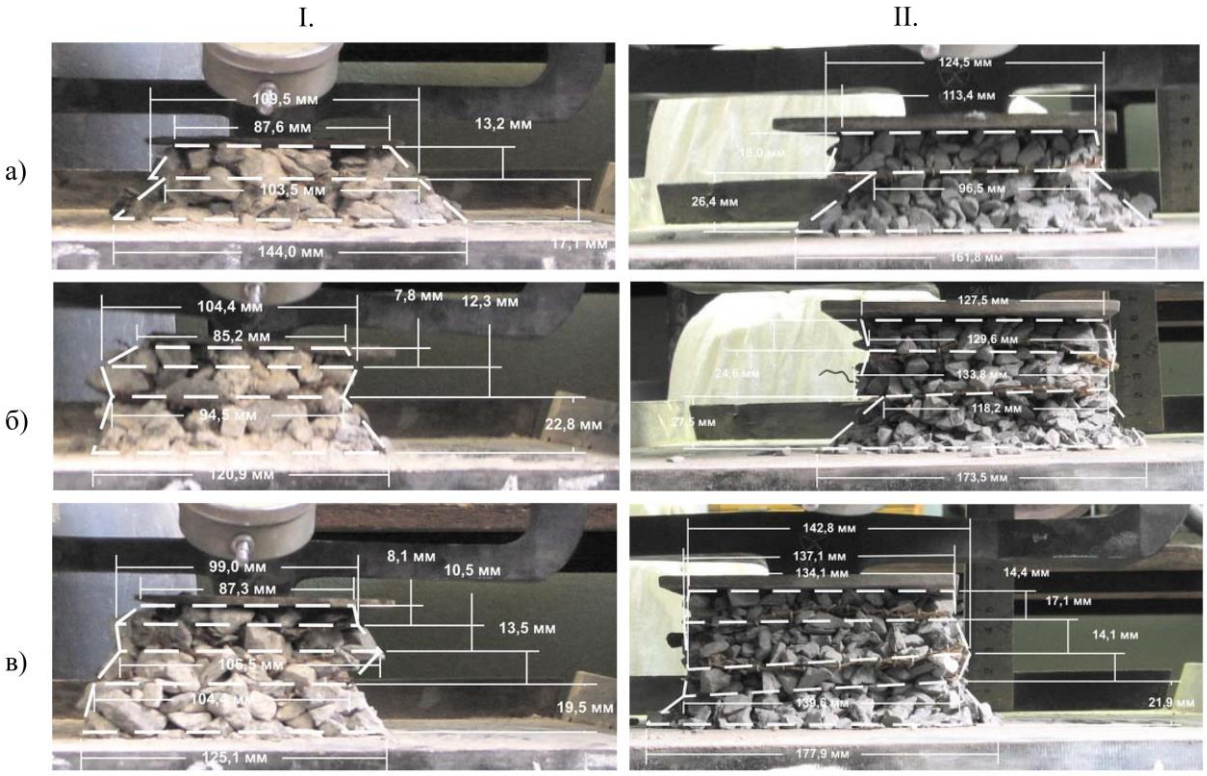


Рисунок 4.22 – Загальний вигляд несучих ядер у навантажених породних опорах з розміром перегородок 0,09×0,09 м (1, 2 – відповідно, опори з фракціями від 0,01 до 0,1 м і від 0,11 до 0,2 м з однією (а), двома (б) і трьома (в) перегородками по висоті)

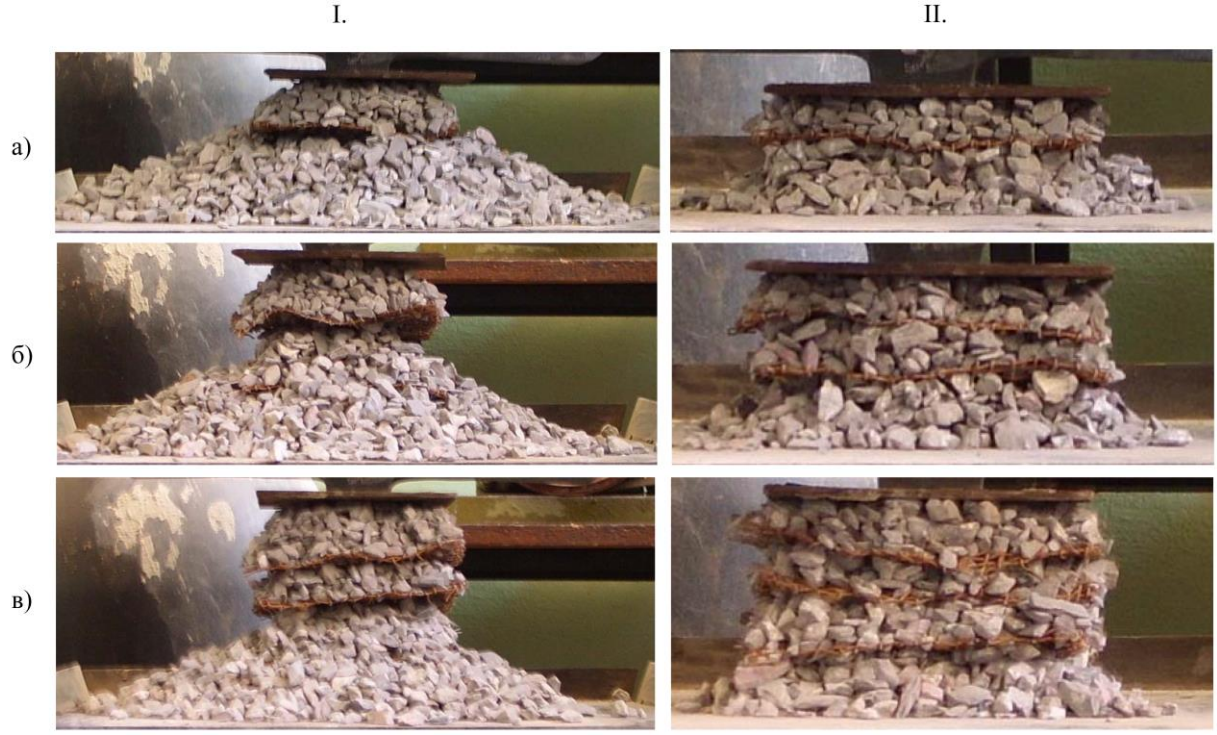


Рисунок 4.23 – Загальний вигляд породних опор з розміром перегородок 0,11×0,11 м (1, 2 – відповідно, опори до навантаження та після нього з однією (а), двома (б) і трьома (в) перегородками по висоті)

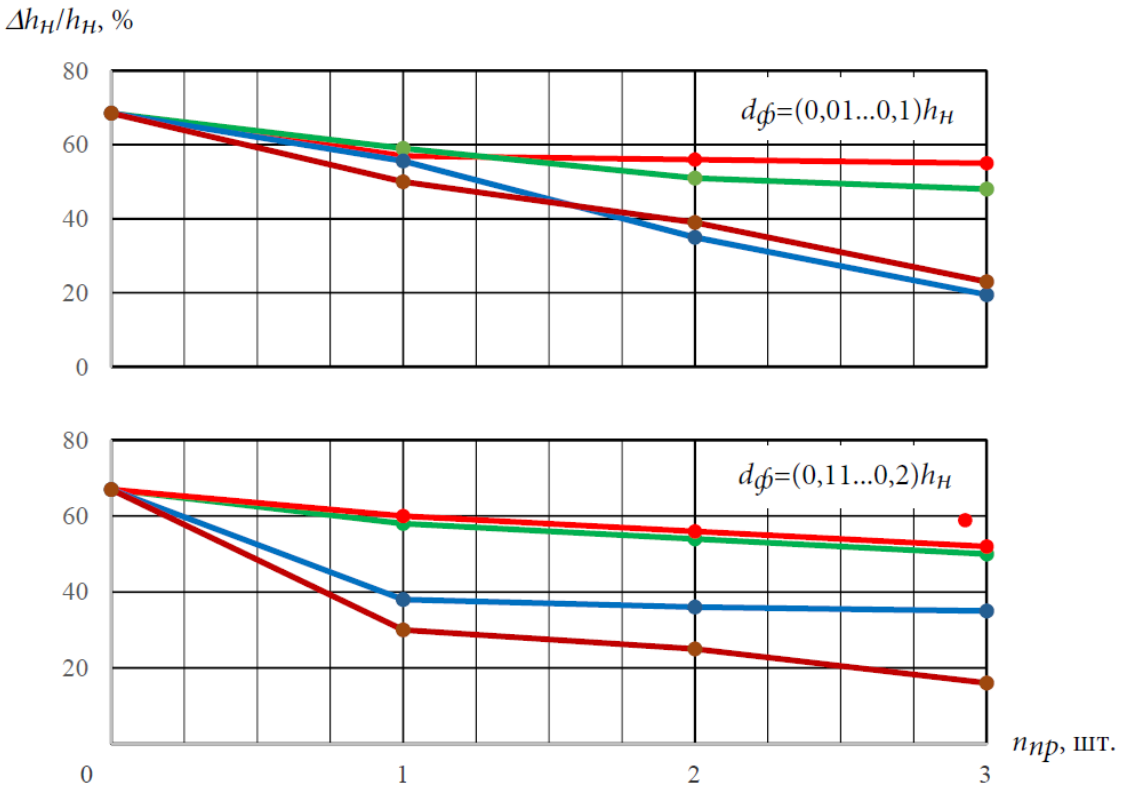


Рисунок 4.24 – Графіки залежності величини усадки породних опор $\Delta h_н$, які були заповнені різними фракціями, від кількості перегородок по висоті $n_{пр}$, що мали розміри у плані 0,05×0,05 (1), 0,07×0,07 (2), 0,09×0,09 (3) та 0,11×0,11 м (4)

рекомендовані розміри перегородок, які складають 90-100 % від довжини кожної сторони у плані (для опор з окремим розташуванням) або від ширини породної смуги (при стрічковому розташуванні).

Також обробка результатів вимірів несучих ядер породних опор з різною кількістю перегородок $n_{пр}$ дозволила встановити співвідношення їх ширини $b_я$ до висоти $h_я$ та визначити експоненційну залежність цього співвідношення від $n_{пр}$, яка має вигляд

$$\frac{b_я}{h_я} = 2,29e^{-0,28n_{пр}}, \qquad (4.27)$$

(R^2=0,96; $t>t_{кр}$ (122,3>2,26); $F>F_{кр}$ (108,0>4,26))

а порівняння ширини ядер $b_я$ з початковою шириною породної насипки на

контакті з покрівлею $b_н^в$ під навантаженням до моменту прибирання вільної породи дозволило встановити експоненційну залежність співвідношення $b_н^в / b_я$ від $n_{пр}$ (рис. 4.25)

$$\frac{b_н^в}{b_я} = 2,25e^{-0,28n_{пр}}. \qquad (4.28)$$

(R^2=0,96; $t>t_{кр}$ (61,9>2,26); $F>F_{кр}$ (27,6>4,26))

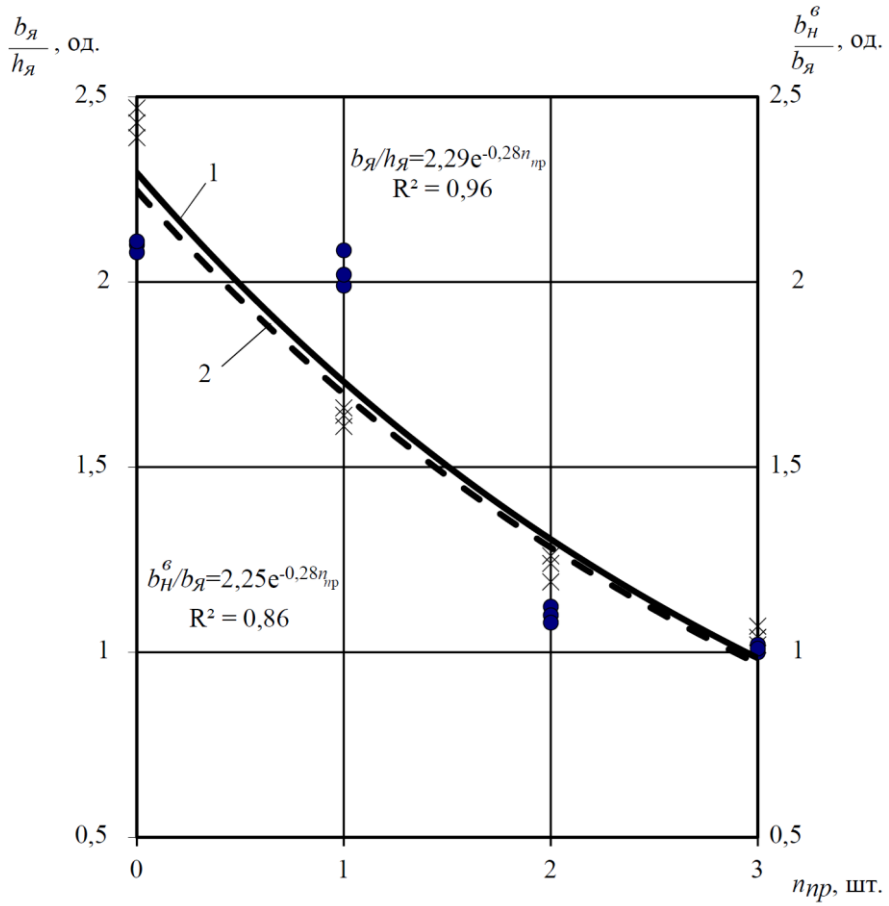


Рисунок 4.25 – Графіки залежностей відношень ширини до висоти несучих ядер (1) та ширин опор (по покрівлі) та їх ядер (2) від кількості перегородок по висоті $n_{пр}$ (× та ● – маркери до лініям тренду, відповідно, 1 та 2)

Зі встановлених залежностей випливає, що при збільшенні кількості сітчастих перегородок зменшується величина усадки опор за рахунок утворення несучих ядер, ширина яких складає в середньому 1,0$h_я$, 1,2$h_я$ та 1,6$h_я$ для числа перегородок, відповідно, 3, 2 та 1 та 2,4$h_я$– для опор без армування.

При цьому висота ядра $h_я$ дорівнює кінцевій висоті опори після навантаження. За рахунок зменшення щільності армування опор та збільшення рухливості породних частинок вздовж площин покрівлі та підошви відбувається розширення опор у діапазоні від 1,0 до 2,1 від ширини ядер . У цьому діапазоні значення 1,0, 1,1 та 2,0 відповідають опорам, відповідно, з трьома, двома та однією перегородками, а 2,1 – неармованим опорам.

Отримані результати дозволяють обґрунтувати параметри відокремлених армованих опор використовуючи розрахункову схему, наведену на рисунку 4.26.

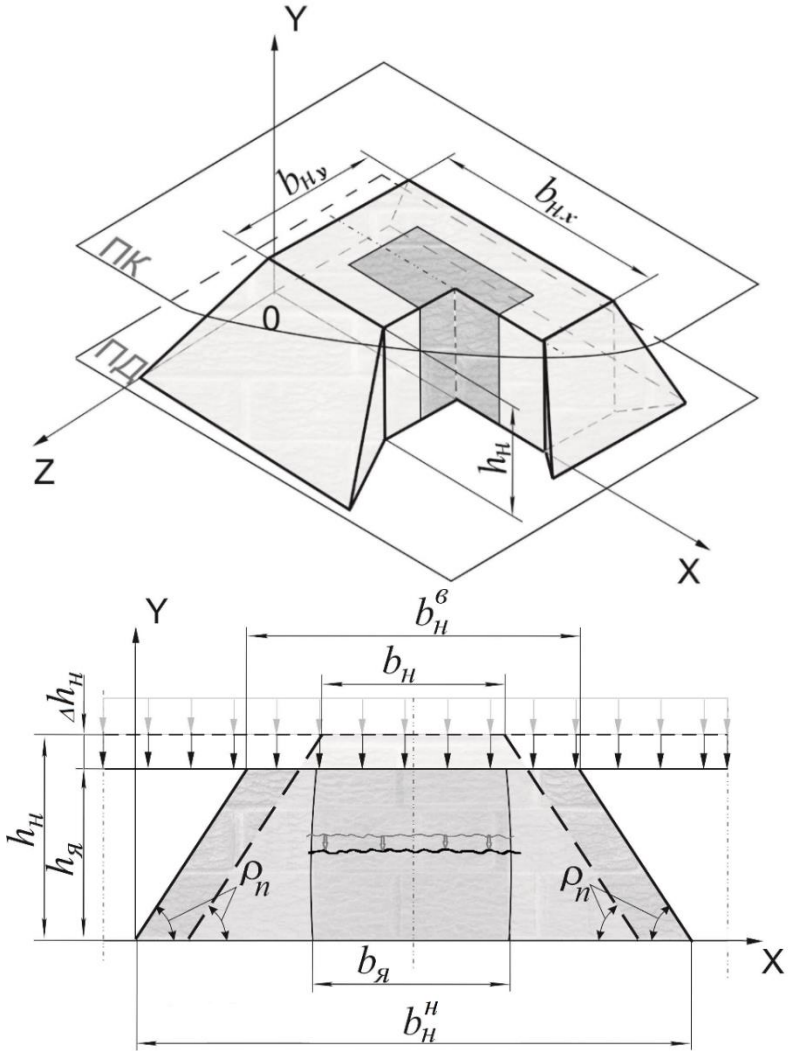


Рисунок 4.26 – Розрахункова схема параметрів армованої породної опори

Оскільки $\Delta h_н = h_н - h_я$ з (4.26), після перетворень з виразів (4.27) та (4.28) ширина армованої опори на контакті з покрівлею буде визначатися виразом

$$b_н^в = 5{,}15 h_н \left(\frac{e^{0{,}42 n_{пр}} - 0{,}76}{e^{0{,}98 n_{пр}}} \right), \qquad (4.29)$$

де $h_н$ – початкова висота опори на момент її спорудження, м; $n_{пр}$ – кількість перегородок по висоті опори.

Тоді ширина опори на контакті з підошвою, згідно рисунку 4.26, буде визначатися виразом

$$b_н^н = h_н \left(1 - \frac{0{,}76}{e^{0{,}42 n_{пр}}} \right) \left(\frac{5{,}15}{e^{0{,}56 n_{пр}}} + 2\operatorname{ctg}\rho_п \right), \qquad (4.30)$$

де $\rho_н$ – кут природного укосу порід у насипці, град. (дорівнює куту внутрішнього тертя).

Механізм деформування та розподілу напружень в армованих опорах, які розглядалися під час структурного моделювання, в залежності від щільності армування, був вивчений за результатами чисельного моделювання з використанням методу скінченних елементів [272, 257]. Був проведений розрахунок декількох плоских моделей, параметри яких відповідали параметрам породних опор розмірами 1×1×1 м без сіток та з однією, двома та трьома сітками. До моделей подавалося розподілене навантаження, після чого визначалися напруження та зміщення в опорах з різною кількістю армуючих перегородок (рис. 4.27-4.29).

Було встановлено, що застосування армуючих сіток істотно змінює навантажувально-деформаційну характеристику охоронної споруди, причому в армованих опорах виникають напруження, які у 1,1-1,5 рази більші, ніж у конструкціях без перегородок. Максимальні вертикальні напруження виникають у нижньому шарі та чим більше сіток, тим менш піддатливою та більш стійкою буде опора. У конструкції без сіток значна частка діючих напружень припадає на горизонтальну складову, причому зі збільшенням кількості сіток ця складова зменшується. Зворотна ситуація спостерігається з

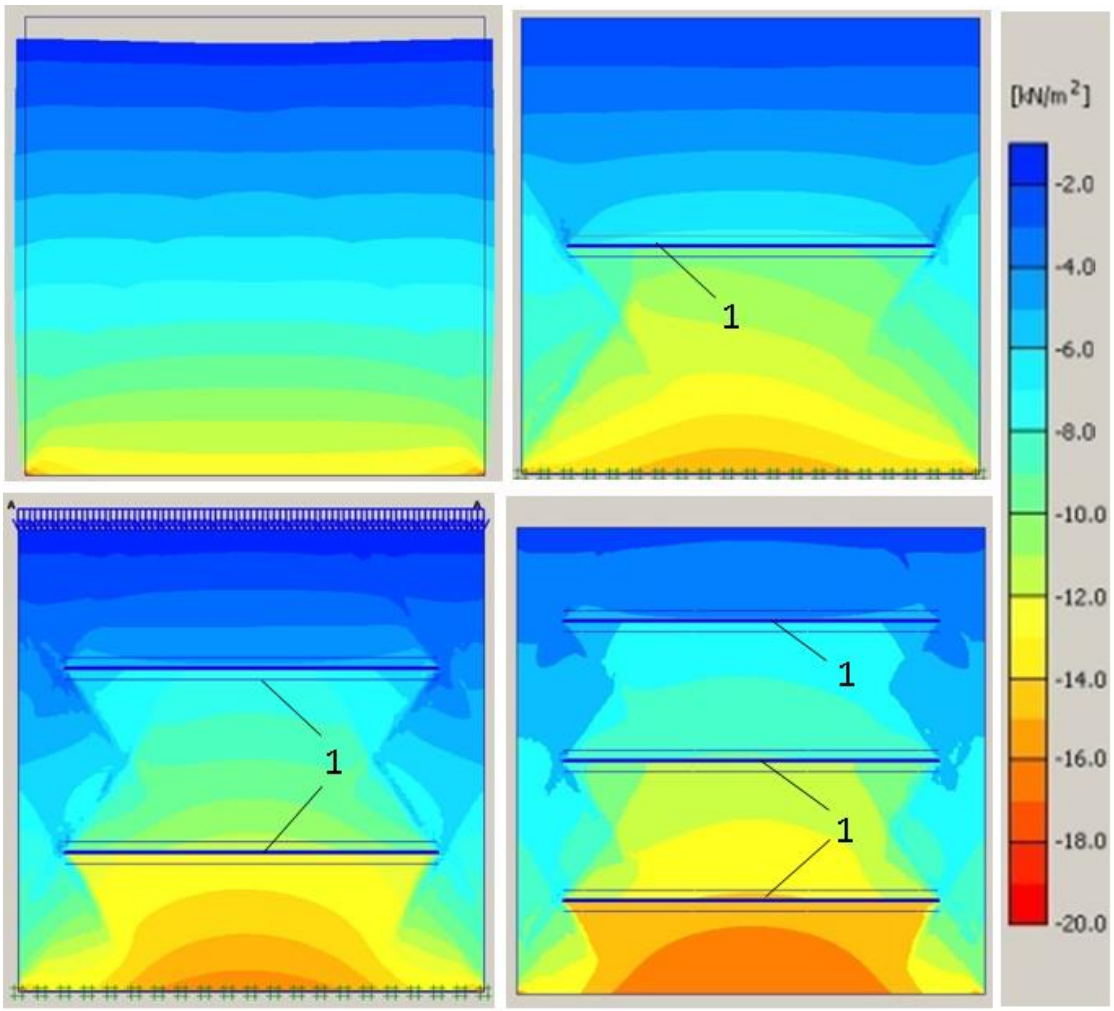


Рисунок 4.27 – Поле головних напружень в породних опорах з різною кількістю армуючих перегородок (1)

вертикальною складовою. Підсумком переходу горизонтальної складової у вертикальну є зменшення загальних зміщень породних частинок у конструкції з перегородками у 1,73 рази [272], що, в свою чергу, узгоджується з результатами лабораторних досліджень.

Оскільки при структурному та чисельному моделюваннях були деякі обмеження за параметрами породних опор, то отримані результати, в тому числі залежності (4.26)-(4.28), справедливі для армованих опор кубічної форми. Для інших форм необхідне уточнення параметрів.

Для встановлення параметрів опор з основами у формі прямокутників

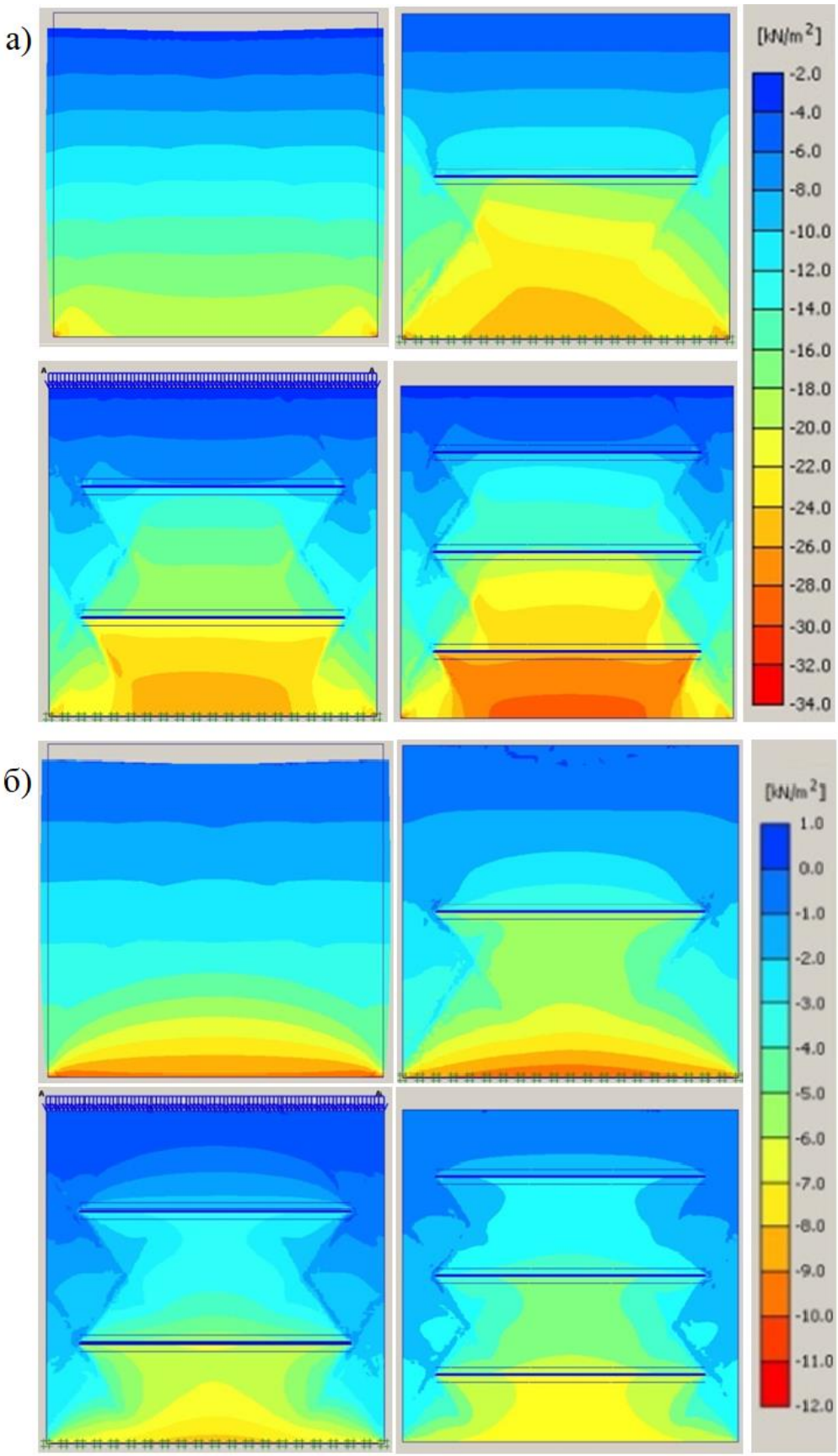


Рисунок 4.28 – Поля вертикальних (а) і горизонтальних (б) напружень в породних опорах з різною кількістю армуючих перегородок

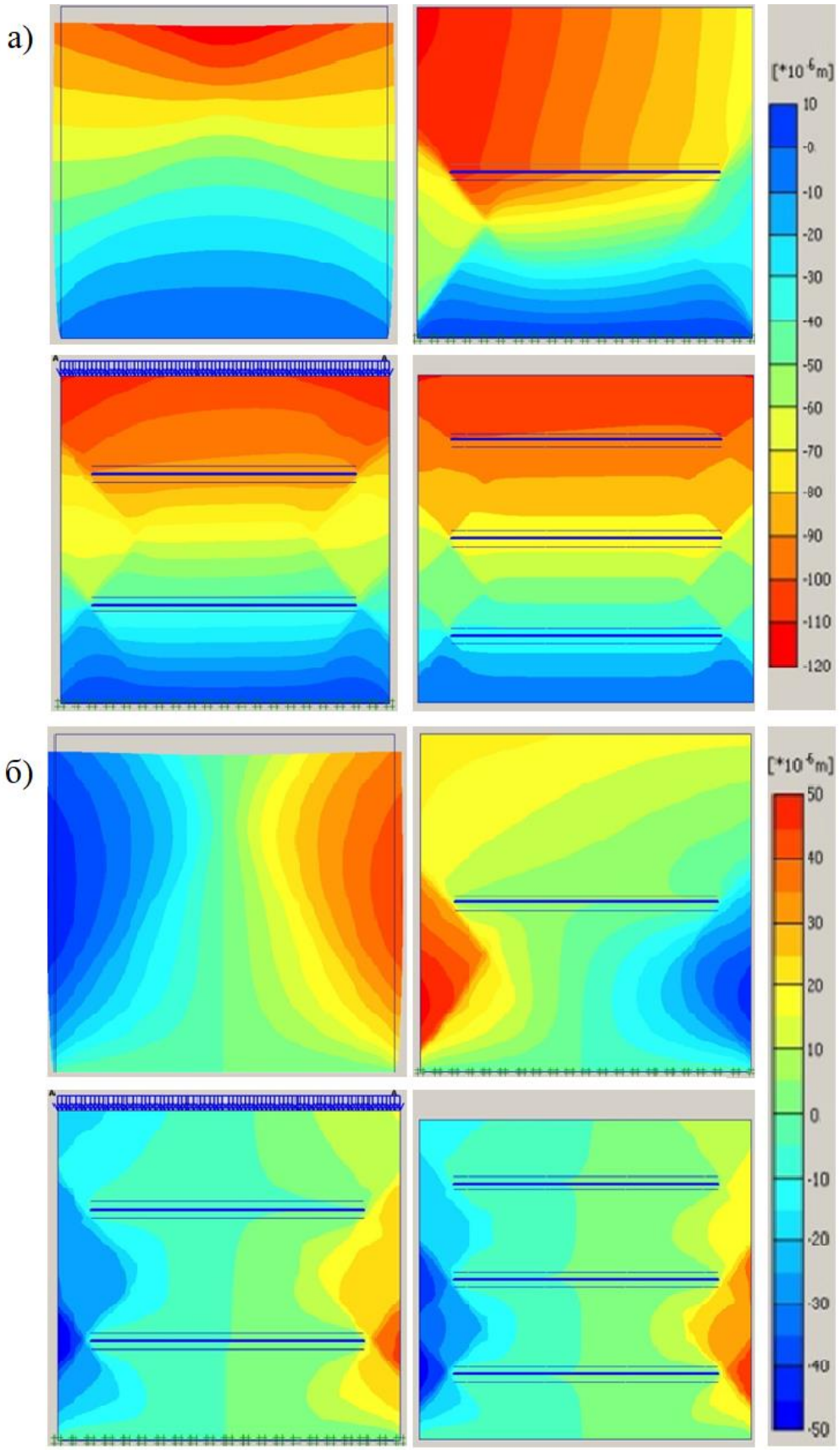


Рисунок 4.29 – Поля вертикальних (а) і горизонтальних (б) зміщень в породних опорах з різною кількістю армуючих перегородок

були випробувані структурні моделі в масштабі 1:10 [258]. Породним об'ємам з різною щільністю армування планувалося надати форму прямокутних паралелепіпедів з розмірами 0,1×0,1×0,15 і 0,1×0,1×0,2 м, тобто розглядалися опори з співвідношеннями ширини та довжини основ, як 1:2 і 2:3. Для цього, при засипці, закладний матеріал містився у паперові опалубки (рис. 4.30 а). Після вилучення опалубки та подальшого навантаження породні конструкції приймали різні форми залежно від кількості сітчастих перегородок в них (без армування, з однією, двома та трьома перегородками) і гранулометричного складу порід (0÷0,015, 0,016÷0,05 і 0,051÷0,1 м) (рис. 4.30 б, в). Крім того, для встановлення форми та параметрів несучих ядер фіксувалися відбитки від них. Для цього перед засипкою під кожну опору укладалися аркуші білого та копіювального паперу.

Після природного формування опор вони покроково навантажувались до 14 кН. Впродовж випробувань виконувалися проміжні виміри висоти опор і фіксація значень прикладеного навантаження, за результатами яких були отримані залежності величини усадки опор від величини навантаження при різних параметрах опор (рис. 4.31, 4.32). Також на паперових аркушах були отримані сліди від ядер, які мали різні форми (рис. 4.33, 4.34).

При застосуванні перегородок в опорах забезпечувалося більш ефективне збереження їх висоти, ніж в насипці без армування. Збільшення кількості перегородок позитивно впливало на стійкість опор, а зміна фракційного складу мала незначний вплив на їх піддатливість. Зміна співвідношення сторін паралелепіпеда при засипці не показала суттєвої різниці у величинах піддатливості опор з однаковими іншими параметрами (рис. 4.31, 4.32). Порівняння результатів моделювання опор зі співвідношеннями сторін при засипці 1:1, 2:1 і 2:3 при максимальних навантаженнях показало, що опори поводяться тотожно, причому величини відносних усадок цих опор при однаковій кількості перегородок відрізняються тільки на 6,1...9,5 % (рис. 4.35). Це вказує на те, що стійкість довгастих армованих опор залежить від довжини

а) б)



в)

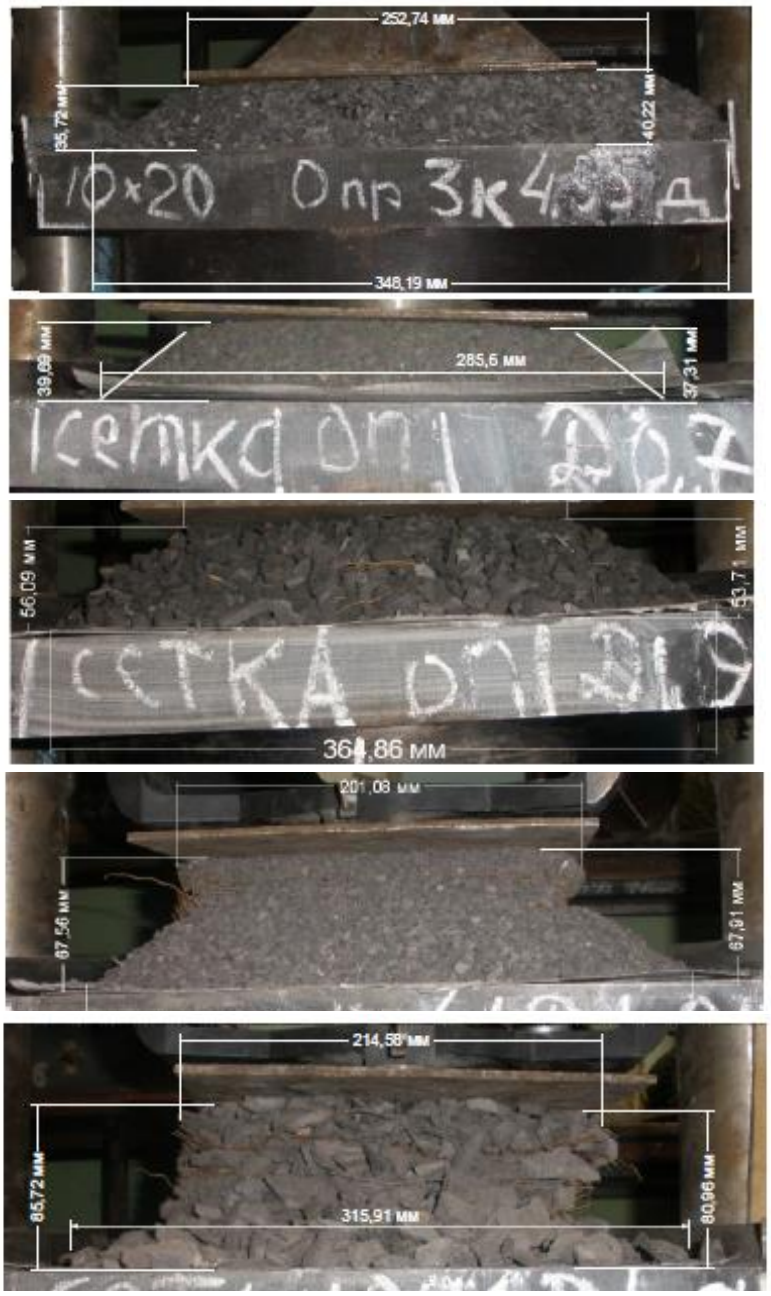


Рисунок 4.30 – Загальний вигляд випробовуваних породних об'ємів в опалубці (а), після її зняття (б) та під навантаженнями (в) з різними гранулометричним складом і кількостями перегородок

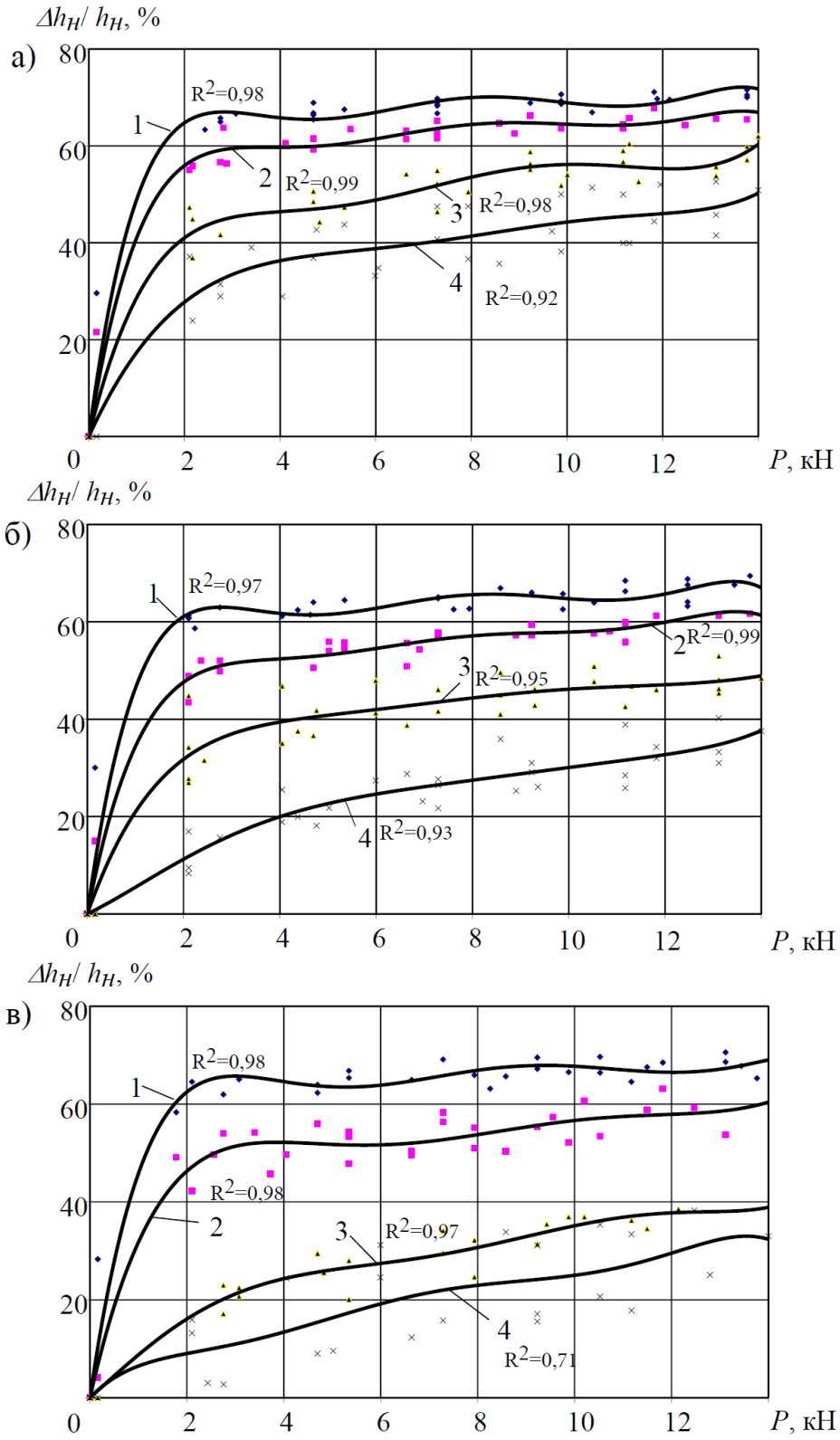


Рисунок 4.31 – Залежності величини відносної усадки опор від величини навантаження при різних щільності армування та фракційному складу $d_ф$ зі співвідношенням сторін основи опори при засипці, що дорівнює 2:3 (а, б і в – відповідно, при $d_ф$=(0÷0,015)$h_н$; (0,016÷0,05)$h_н$ і (0,05÷-0,1) $h_н$; 1, 2, 3 та 4 – лінії тренда (поліноми 6-го порядку), відповідно, неармована опора, з однією, двома та трьома перегородками)

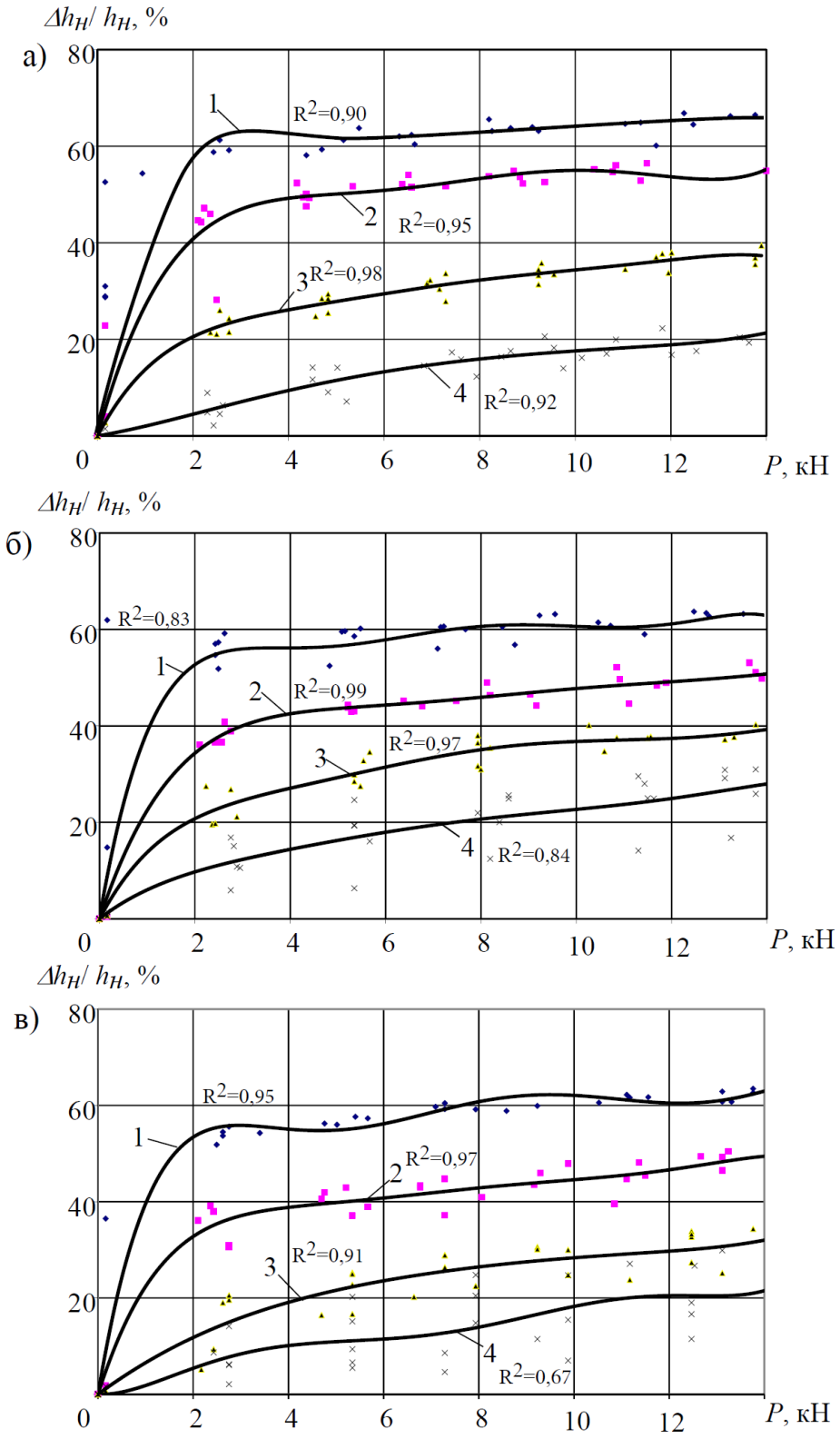


Рисунок 4.32 – Залежності величини відносної усадки опор від величини навантаження при різних щільності армування та фракційному складу $d_ф$ зі співвідношенням сторін основи опори при засипці, що дорівнює 1:2 (а, б і в – відповідно, при $d_ф$=(0÷0,015)$h_н$; (0,016÷0,05)$h_н$ і (0,05÷-0,1) $h_н$; 1, 2, 3 та 4 – лінії тренда (поліноми 6-го порядку), відповідно, неармована опора, з однією, двома та трьома перегородками)

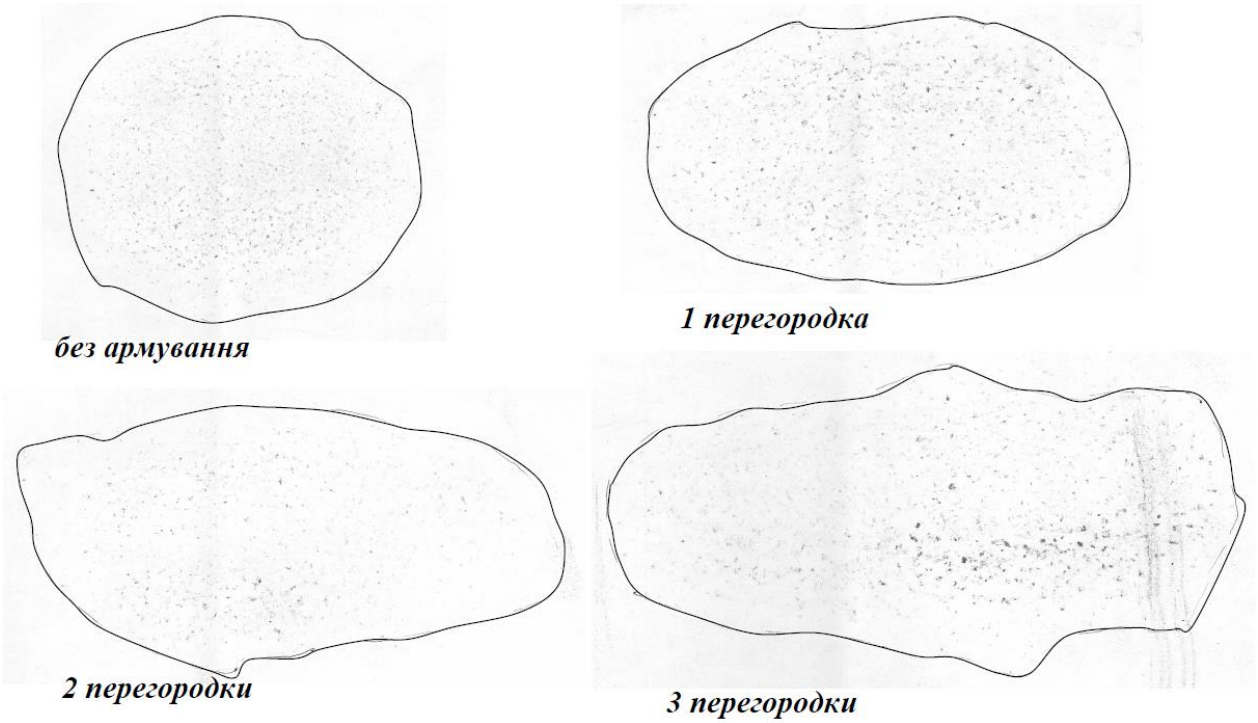


Рисунок 4.33 – Загальний вигляд відбитків ядер опор при різній щільності армування (фракція $d_ф$=(0÷0.015)$h_н$ та початковому розмірі основ опор 0,10×0,15м)

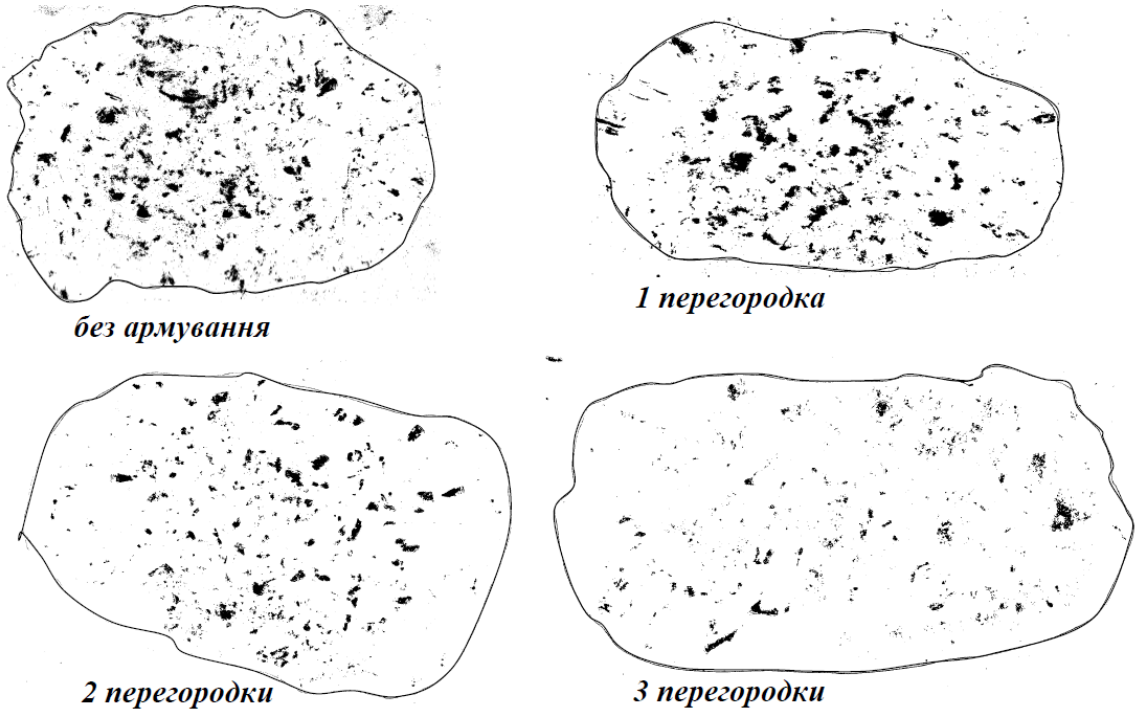


Рисунок 4.34 – Загальний вигляд відбитків ядер опор при різній щільності армування (фракція $d_ф$=(0,051÷0,15)h та початковому розмірі основ опор 0,10×0,15м)

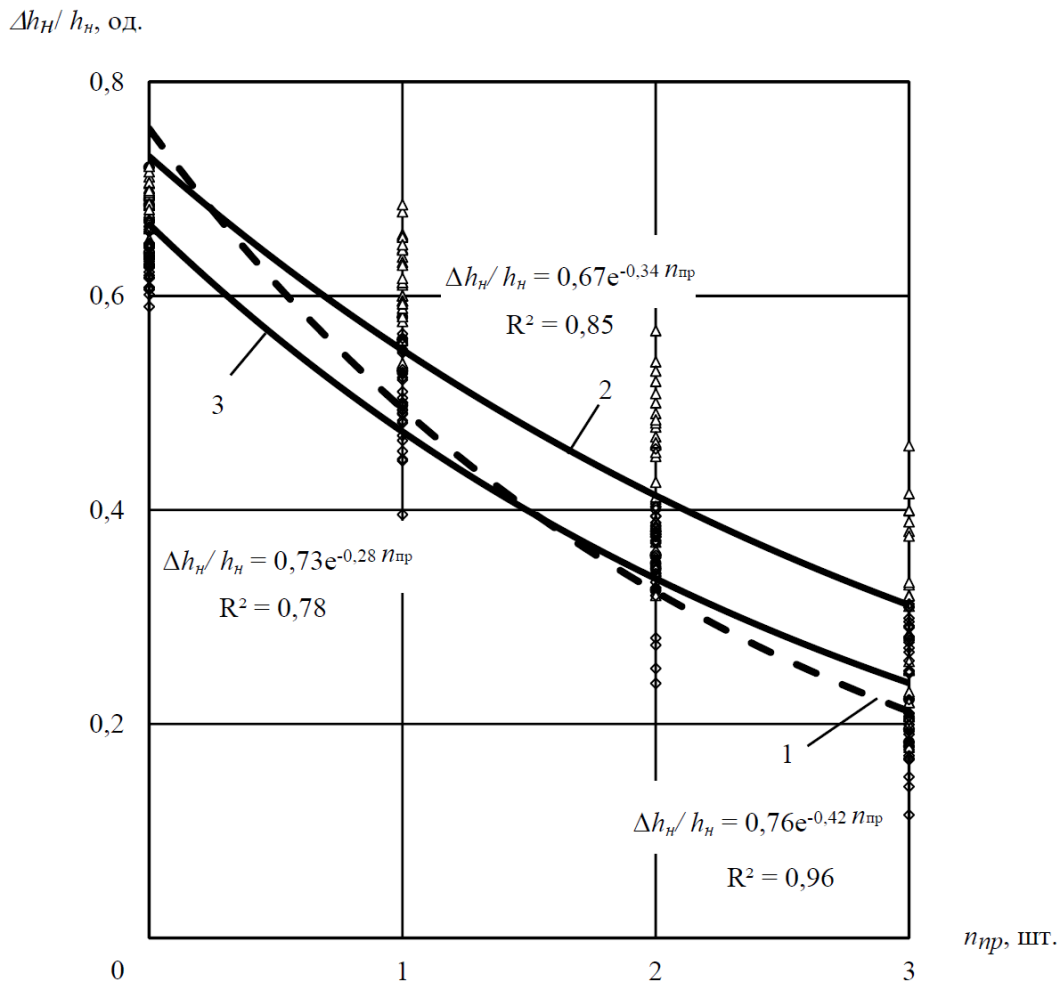


Рисунок 4.35– Графіки залежності величини відносної усадки породних опор $\Delta h_н/h_н$ від кількості перегородок по висоті опори $n_{пр}$ при різному співвідношенні сторін основи при засипці: 1:1 (1), 2:3 (2) і 2:1 (3)

меншої осі основи, в яких несучі ядра мають форму еліпса. У неармованих опорах ядра мали колоподібну форму. Для дрібних фракцій, залежно від щільності армування, співвідношення більшої та меншої осей основ (еліпсів) складали від 1,11 до 1,92 (найменше належало до неармованих опор, а найбільше – до опор з трьома перегородками), при цьому довжина меншої осі становила у середньому 80% від початкової ширини опори при засипці. Для великої фракції співвідношення осей становили 1,13 (для неармованої) і 1,54 (для трьох перегородок), а довжина меншої осі складала у середньому 88% від початкової ширини опори. Отримані цифри вказують на те, що зі збільшенням крупності закладного матеріалу та щільності армування можна досягти

збереження початкових розмірів таких опор і забезпечити достатній опір нависаючим породам.

4.5 Удосконалення технології охорони підготовчих виробок породними стійками

Завелика піддатливість породних стійок з мішків із породою (розділ 1) пояснюється тим, що розробці способу [186] не було приділено увагу якості наповнення мішків і самому породному наповнювачу, його щільності трамбування в мішки та фракційному складу. При недостатній щільності породи в мішках і щільності укладання мішків стінка буде розповзатися, що і було зафіксовано при випробуваннях способу. В таких умовах спорудження окремо розташованих опор з мішків з породою буде неможливим.

Для удосконалення технології охорони підготовчих виробок породними стійками, з урахуванням умов відпрацювання вугільних пластів зі слабкими бічними породами, були проведені лабораторні дослідження конструкцій з мішків, заповнених рядовою породою [281]. Визначалися: оптимальна схема викладення мішків, фракційний склад і щільність заповнення мішків породою. Для цього були підготовлені мішки з лляної тканини діаметром 40 мм і глибиною 100 мм (рис. 4.36). Вони заповнювались рядовою породою (алевролітом) з різним фракційним складом (від 0,01-1,5 до 5,1-10 мм). У переведенні на натуру діаметр та глибина мішків становили, відповідно, 0,4 та 1 м (при масштабі моделювання 1:10), а крупність породних частинок – (0,0001÷0,015), (0,015÷0,03), (0,031÷0,05) та (0,051÷0,1) м.

По черзі на прес укладалися одиничні мішки та декілька в один, два або три ряди з паралельним і перпендикулярним розміщенням у шарах. Потім вони поетапно навантажувалися силою від 0 до 45 кН, з фіксацією величини усадки конструкцій.

При моделюванні конструкцій із мішків з породою важливим є підбір



Рисунок 4.36 – Загальний вигляд випробовуваних мішків, які заповнені рядовою породою

матеріалу оболонки мішку. Незважаючи на те, що у дослідженні [378] було доведено, що міцність оболонки не впливає на вантажонесучу здатність споруди, для моделювання було використано лляну тканину з розривним навантаженням 135 Н, що у 7,1 та 6,0 разів менше, ніж матеріал фактичних мішків, відповідно, з поліпропілену (961 Н) та льно-джуто-кенафної тканини (804 Н).

Результатом моделювання було встановлення залежностей усадки конструкцій від величини навантаження, з урахуванням крупності породних частинок у мішках (рис. 4.37). Зі збільшенням кількості мішків в шарі піддатливість конструкції зменшувалася у 1,7-3 рази, в залежності від крупності фракцій. При чотирьох мішках у шарі діапазон варіювання піддатливості був вужчим, що пояснюється обмеженням горизонтальних деформацій в мішках, що знаходяться всередині конструкції [261].

Основна частка усадки конструкцій (до 53%) реалізовувалася при прикладанні навантаження до 10 кН, у подальшому швидкість усадки зменшувалася, що свідчить про інтенсивне ущільнення породного матеріалу на початковому етапі.

При випробуваннях встановлено, що укладання мішків впритул один до одного змінює ситуацію, при якій, внаслідок отримання бічного підпору, мішки з великими фракціями стають більш жорсткими, але при цьому відмінність від споруд з дрібними фракціями не перевищує 5 % (рис. 4.38 а).

Оскільки конструкції з мішків, як правило, багатошарові, то важливим параметром могла бути кількість шарів по висоті споруди. Тому, за аналогією з одношаровим укладанням мішків, випробовувалися споруди з укладанням мішків паралельно один до одного в декалька шарів та рядів. Також окремо випробовувалися конструкції з укладанням двох рядів мішків перпендикулярно один до одного. У таких конструкціях вплив крупності породного заповнювача також був несуттєвим (рис. 4.38 б) і кількість мішків по висоті конструкції також не мала істотного впливу на відносну величину її усадки (рис. 4.39 а). Збільшення ж кількості мішків у шарах (по ширині) істотно впливало на зменшення

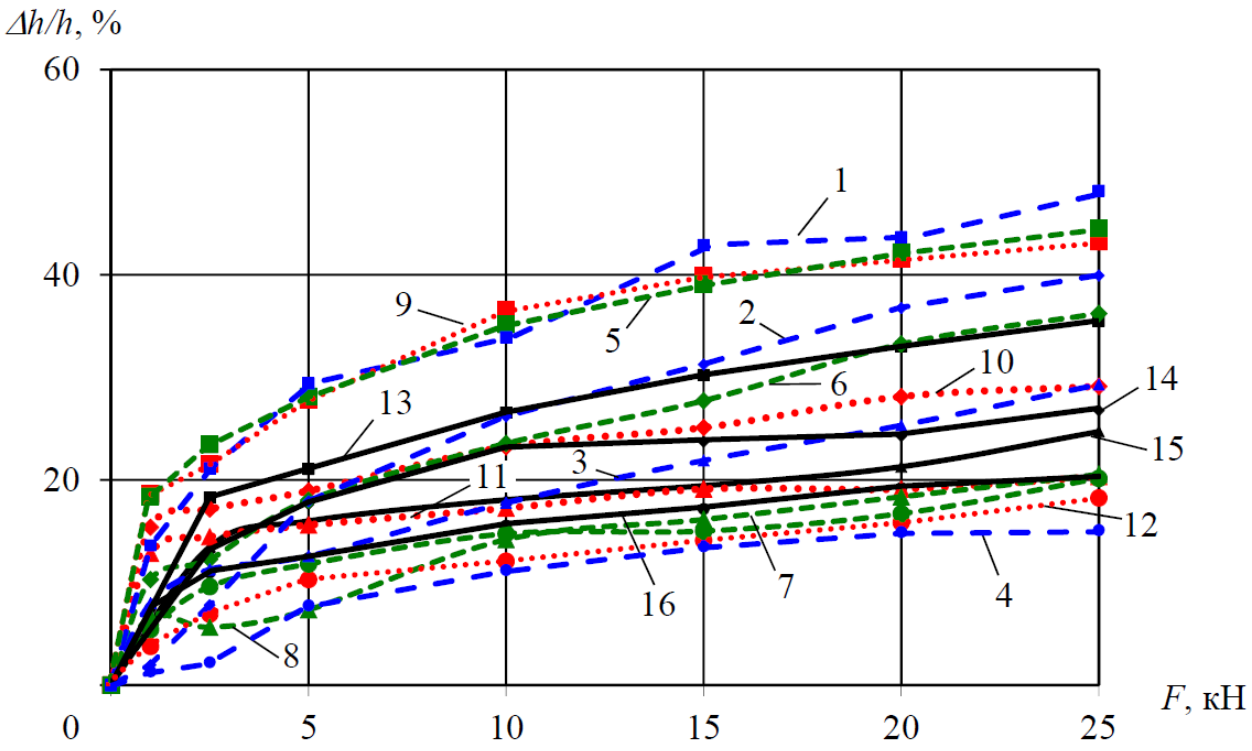


Рисунок 4.37 – Зведені графіки зміни величини відносної усадки мішків $\Delta h/h$ з різною кількістю у ряду $n_м$, які заповнені породою різних фракцій $d_ф$, від величини навантаження на них F (1 – $n_м$=1; $d_ф$ =0,051÷0,1 м; 2 – $n_м$=2; $d_ф$ =0,051÷0,1 м; 3 – $n_м$=3; $d_ф$ =0,051÷0,1 м; 4 – $n_м$=4; $d_ф$ =0,051÷0,1 м; 5 – $n_м$=1; $d_ф$ =0,031÷0,05 м; 6 – $n_м$=2; $d_ф$ =0,031÷0,05 м; 7 – $n_м$=3; $d_ф$ =0,031÷0,05 м; 8 – $n_м$=4; $d_ф$ =0,031÷0,05 м; 9 – $n_м$=1; $d_ф$ = 0,015÷0,03 м; 10 – $n_м$=2; $d_ф$ = 0,015÷0,03 м; 11 – $n_м$=3; $d_ф$ = 0,015÷0,03 м; 12 – $n_м$=4; $d_ф$ = 0,015÷0,03 м; 13 – $n_м$=1; $d_ф$ = 0,0001÷0,015 м; 14 – $n_м$=2; $d_ф$ = 0,0001÷0,015 м; 15 – $n_м$=3; $d_ф$ = 0,0001÷0,015 м; 16 – $n_м$=4; $d_ф$ = 0,0001÷0,015 м)

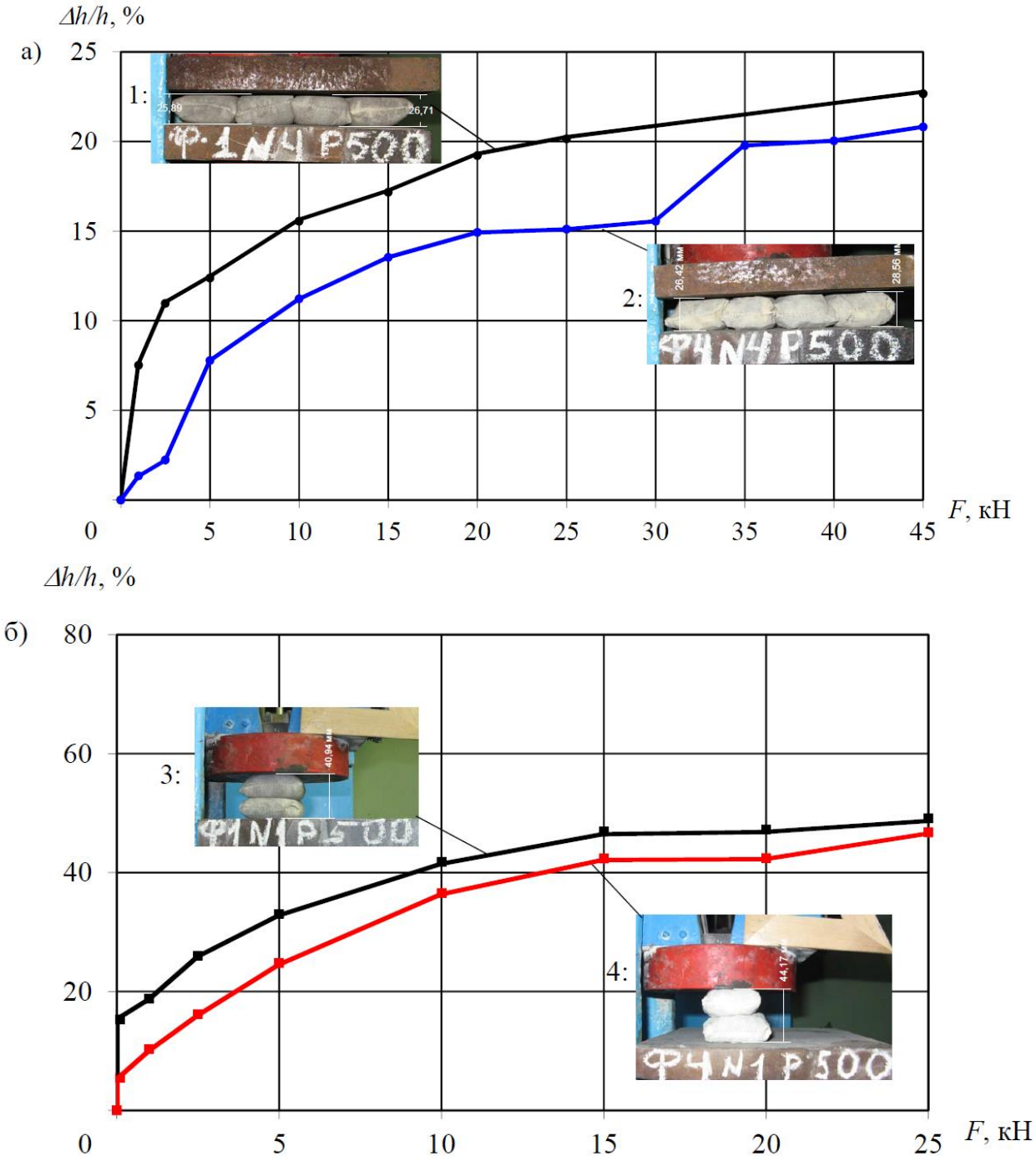


Рисунок 4.38 – Графіки зміни відносних величин усадки $\Delta h/h$ одношарових (а) і двошарових конструкцій з мішків із породою (б) від величини навантаження F при різних кількості мішків у ряду $n_м$ і фракційному складі породних фракцій $d_ф$ (1 – $n_м$=4; $d_ф$ = 0,0001÷0,015 м; 2 – $n_м$=4; $d_ф$ =0,051÷0,1 м; 3 – $n_м$=1; $d_ф$ = 0,0001÷0,015 м; 4 – $n_м$=1; $d_ф$ =0,051÷0,1 м)

усадки всієї конструкції (рис. 4.39 б), причому найкращий ефект при багатошаровому укладанні забезпечувався орієнтацією мішків в рядах перпендикулярно один до одного, хоча паралельна укладка їй поступалася несуттєво (близько 5 %). Крім того, в останньому випадку, ймовірність руйнування оболонки мішка менше, ніж при перпендикулярному укладанні, яке допускає більший об'єм порожнин між мішками.

Таким чином, за певних умов, піддатливість конструкцій з мішків із породою, в залежності від схем укладки мішків в них, може становити 22-48%. Дані конструкції можуть споруджуватися як стрічково, уздовж виробки, що охороняється, так і відокремлено, для забезпечення технологічних потреб і створення компенсаційних порожнин.

З отриманих залежностей (рис. 4.38, 4.39) також випливає, що інтенсивне ущільнення породного матеріалу в мішках відбувається на початковому етапі їх навантаження, після чого швидкість усадки істотно зменшується. Звідси випливає, що опори з мішків потрібно викладати з попередньо ущільненого матеріалу для забезпечення якнайшвидшого включення даних споруд у роботу. Це дозволить додатково зменшити податливість конструкції. Ущільнити рядову породу у мішках можна за рахунок стискання її на пресі або трамбування на спеціальній віброустановці тощо. Для підтвердження цього були додатково перевірені породні конструкції, але вже при різному ступені попереднього ущільнення мішків [260, 260].

Основними конструкційними елементами охоронної конструкції є мішки з породою, у проміжках між якими знаходиться повітря. Мішки заповнені сипким матеріалом, тому, для дослідження закономірностей формування вантажонесучих конструкцій, всередині мішків і в охоронній споруді, а також для визначення їх параметрів, правомірним буде використання положень механіки сипких тіл і механіки ґрунтів.

Щільність сипких тіл оцінюється за величиною коефіцієнта пустотності, що показує відношення об'єму порожнин (V_n) до об'єму твердої речовини (V_T) та

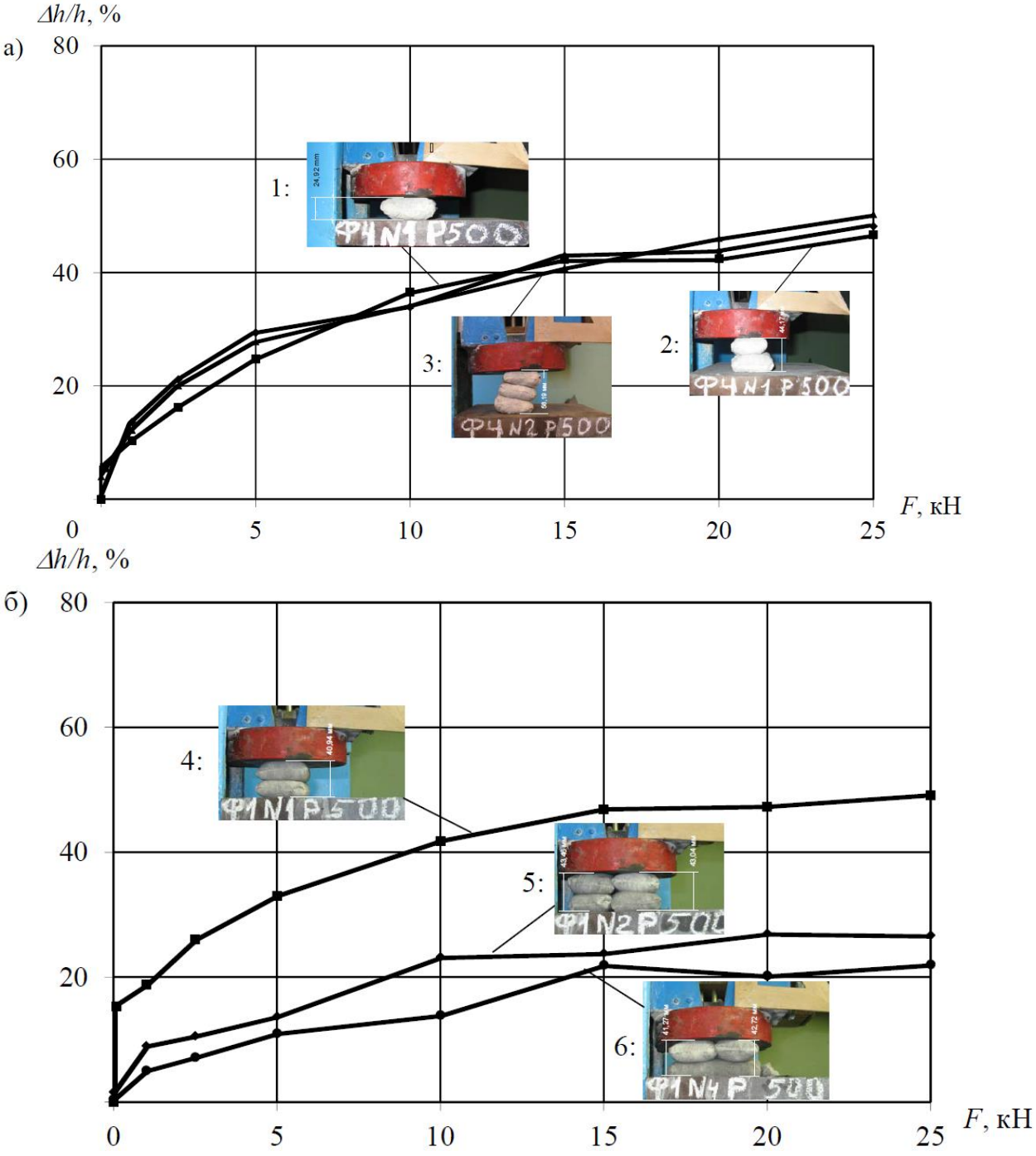


Рисунок 4.39 – Графіки зміни відносних величин усадки *Δh/h* конструкцій з мішків з породою від величини навантаження *F* при однорядній укладці мішків (а) з різною кількістю шарів (1, 2 і 3 – відповідно, один, два і три шари) і з різними схемами укладання мішків у двошарових конструкціях (4 - однорядна схема; 5, 6 - дворядні схеми, відповідно, з паралельним і перпендикулярним укладаннями мішків)

визначається виразом

$$\iota = \frac{V_n}{V_T}, \tag{4.31}$$

або

$$\iota = \frac{\rho_o - \rho}{\rho}, \tag{4.32}$$

де ρ_o і ρ – щільність (об'ємна маса), відповідно, матеріалу породних частинок і сипкого породного об'єму з пустотами, т/м^3.

Щільність породних частинок ρ_o, поміщених у мішки, визначали вимірами маси та об'єму великої кількості частинок. Для цього, після зважування породні шматки опускалися в заповнений водою мірний посуд об'ємом 0,003 м^3, в результаті чого, за рахунок витіснення, рівень рідини збільшувався. Об'єм витісненої рідини дорівнював об'єму твердої речовини у посудині. Було встановлено, що об'ємна маса породних частинок становила 2,44 т/м^3.

Об'ємну масу породного об'єму у мішку встановлювали зважуванням мішка на електронних вагах і визначенням його геометричних розмірів фотометричним способом з подальшим обчисленням його об'єму. В результаті серійності проведення достатньої кількості випробувань була визначена об'ємна маса породного об'єму в вільній насипці, яка склала 1,73 т/м^3.

Таким чином, з виразу (4.32) випливає, що коефіцієнт пустотності рядової породи в мішку у вільній насипці ι_o складає 0,41.

Процес ущільнення породи в мішках полягає в тому, що під дією зовнішніх сил відстань між породними частинками зменшується, внаслідок чого зменшується об'єм пустот і збільшується об'ємна вага породної конструкції, тобто вона здобуває більш щільну взаємну упаковку частинок.

Ущільнення породи можна досягти за допомогою статичних (стисненням на пресі), або динамічних навантажень (вібрацією). Було прийнято перший варіант через простоту реалізації. Попередньо навантажувались окремі мішки з

породою та встановлювалася ступінь їх ущільнення й об'ємна маса. В результаті стиснення була отримана залежність об'ємної маси кожного породного мішка від величини його попереднього стиснення (рис. 4.40), яка показувала, що при прикладанні навантаження до мішка його щільність збільшувалася.

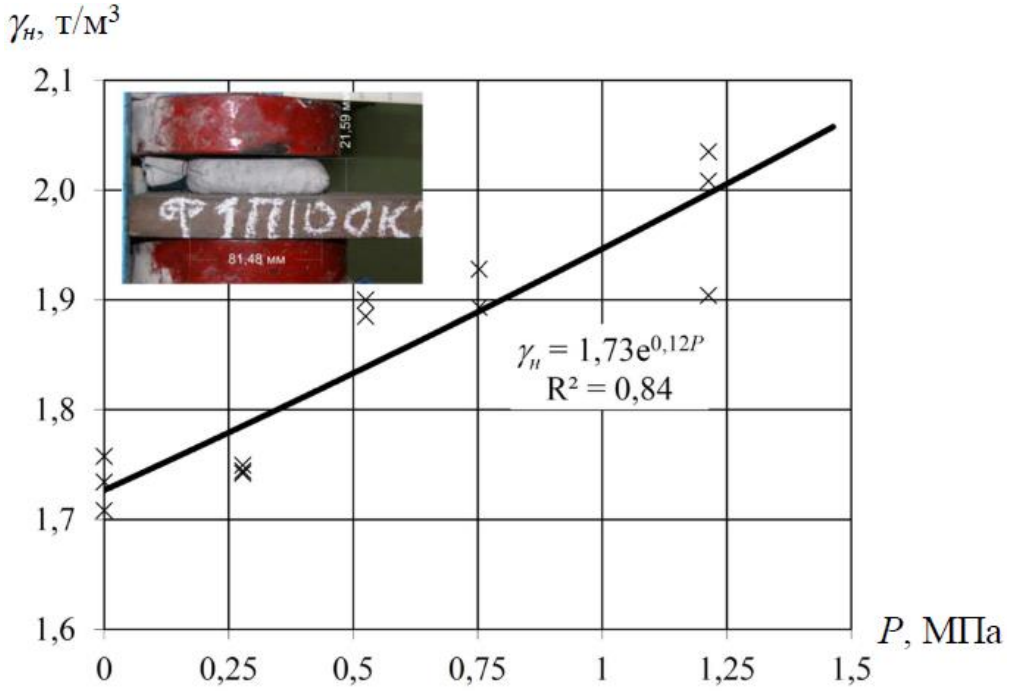


Рисунок 4.40 – Залежність об'ємної маси породи в мішку від величини діючого тиску P

Загальною залежністю, що характеризує стисливість ґрунтів при дії постійного зовнішнього навантаження, є залежність між тиском і коефіцієнтом пустотності - компресійна крива або крива ущільнення. Ця залежність встановлюється на підставі випробувань ґрунту в компресійному приладі без можливості бічного розширення. Породний об’єм був в оболонці, яка в певних умовах також протистояла розширенню, і тому стисливість досліджуваного об’єму з достатнім ступенем наближення також може бути описана кривою ущільнення. Тоді, для випробовуваних породних об’ємів, що укладені в оболонку, компресійна крива матиме вигляд, який показаний на рисунку 4.41, і може бути описана логарифмічною залежністю. З цієї залежності випливає, що коефіцієнт пустотності при прикладанні зовнішнього навантаження до породного об’єму в

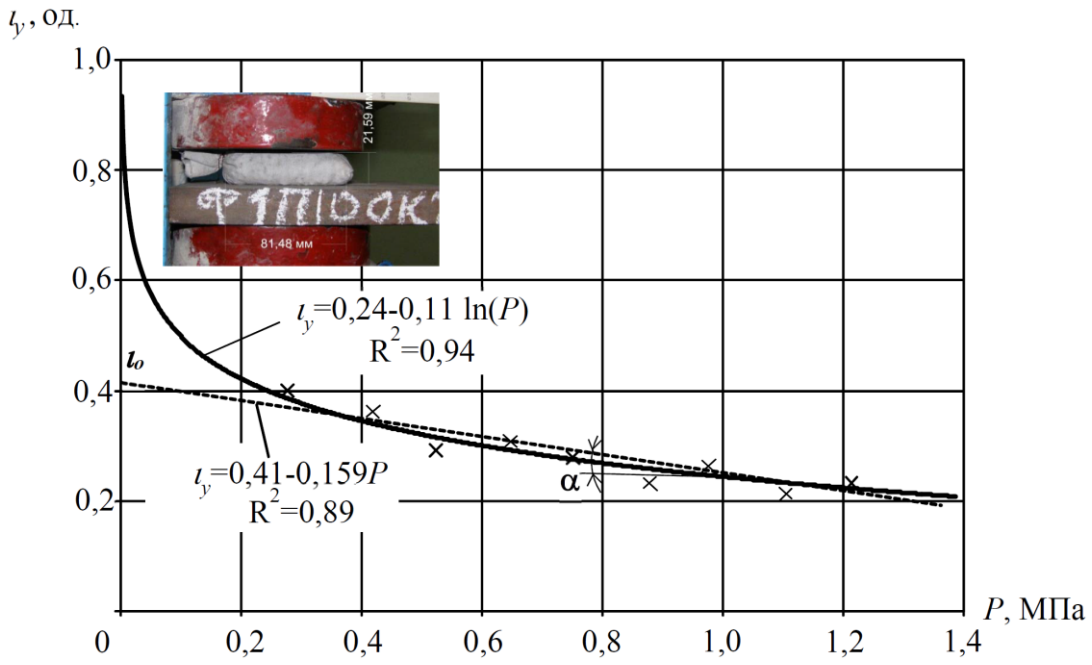


Рисунок 4.41 – Крива ущільнення (логарифмічна залежність) для рядової породи в оболонці та лінія тренду для пологого відрізка кривої (лінійна залежність)

оболонці в умовах експерименту змінюється від 0,4 до 0,2, що підтверджує перехід породних частинок від пухкої укладки до більш щільної [204].

Пологий відрізок кривої ущільнення можна прийняти за пряму (рис. 4.41), що дозволяє розглядати досліджувані породні об'єми як лінійно-деформовані тіла. Тоді, з достатньою для практичних цілей точністю, залежність між загальними деформаціями та напруженнями можна приймати лінійною.

Рівняння лініаризованого відрізка кривої ущільнення у загальному вигляді може бути представлене виразом

$$\iota_y = \iota_o - p_y tg\alpha \,, \tag{4.33}$$

де ι_o – початковий коефіцієнт пустотності породного об'єму; p_y – зовнішній тиск ущільнення породного об'єму, МПа; $tg\alpha$ – коефіцієнт ущільнення, МПа$^{-1}$.

З рисунку 4.42 випливає, що ι_o =0,41, коефіцієнт ущільнення $tg\alpha$=0,159 МПа$^{-1}$, а досліджуваний матеріал відноситься до сильностисливих. Проте

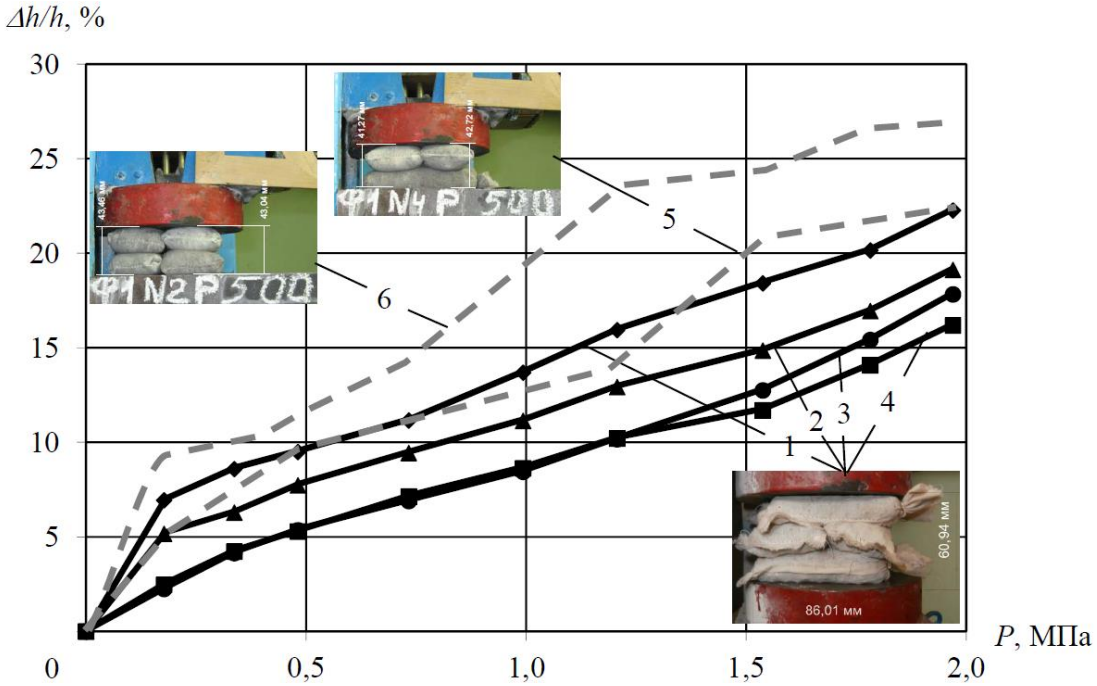


Рисунок 4.42 – Узагальнені графіки зміни відносної величини усадки опор з мішків із породою *Δh/h* від величини зовнішнього тиску *P* для попередньо ущільнених мішків з перпендикулярним укладанням їх в рядах (1,2,3 і 4 – при початковому коефіцієнті пустотності, відповідно, 0,41; 0,4; 0,29 і 0,28) і мішків без ущільнення з перпендикулярним (5) і паралельним(6) укладаннями

прикладання навантаження тиском 1,4 МПа дозволяє зменшити коефіцієнт пустотності у 2 рази.

Після попереднього стиснення мішків на пресі випробовувалися трьохрядні породні конструкції з мішків із різним ступенем ущільнення [260]. Таким чином, початковий коефіцієнт пустотності на момент укладання мішків у конструкцію становив у різних експериментах від 0,41 до 0,28. Мішки укладалися пошарово перпендикулярно один до одного. Потім на дані конструкції по всій площі передавалися поступово зростаючі навантаження (зовнішній тиск до 1,97 МПа), під дією яких опори зменшувалися по висоті на 16-25%, в залежності від величини попереднього ущільнення мішків (рис. 4.42). Більшій величині ущільнення відповідала найменша величина піддатливості.

Відзначалася пошарова вертикальна усадка мішків, а порожнини між мішками незначно «закривалися». Інтенсивність усадки зменшувалась від верхніх до нижніх шарів, що пояснювалось демпфуванням вертикальних зусиль, що прикладалися. Оскільки пошарова усадка мішків була різною, то поточний коефіцієнт пустотності у відповідних шарах також відрізнявся. За піддатливістю породного об'єму при ущільненні цей коефіцієнт може бути визначений з виразу

$$\iota_i = \iota_{y_i} - \left(1+\iota_{y_i}\right)\frac{\Delta h}{h}, \qquad (4.34)$$

де ι_{yi} – початковий коефіцієнт пустотності при відповідній щільності перед навантаженням і-го мішка; Δh– повна усадка при відповідному навантаженні, м; h– початкова висота породного об'єму, м.

Знаючи відносну усадку породних об'ємів у шарах і початковий коефіцієнт пустотності в них перед укладанням, з виразу (4.34) був визначений поточний коефіцієнт ι_i в різних шарах породної конструкції та різній величині попереднього ущільнення мішків ι_{yi} (рис. 4.43). З отриманої залежності випливає, що попереднє ущільнення одиничних мішків з породою та подальше навантаження опор з цих мішків дозволяє зменшити коефіцієнт пустотності в породних об'ємах. Зміна цього коефіцієнта при однакових початкових умовах в кожному вищележачому шарі більша, ніж в нижчележачому. Це підтверджує припущення про демпфування навантаження у шарах.

Таким чином, були проведені комплексні лабораторні дослідження щодо встановлення параметрів охоронних конструкцій, що споруджується з мішків з породою. Їх результати дозволили отримати масив даних, який дає можливість кількісно оцінити спільний вплив факторів на піддатливість цих конструкцій. Основними факторами, що впливають, є величина зовнішнього тиску та початковий коефіцієнт пустотності породного об'єму, що залежить від його щільності та розміру частинок в ньому. Для встановлення кількісної емпіричної залежності між цими показниками був використаний метод множинної кореляції.

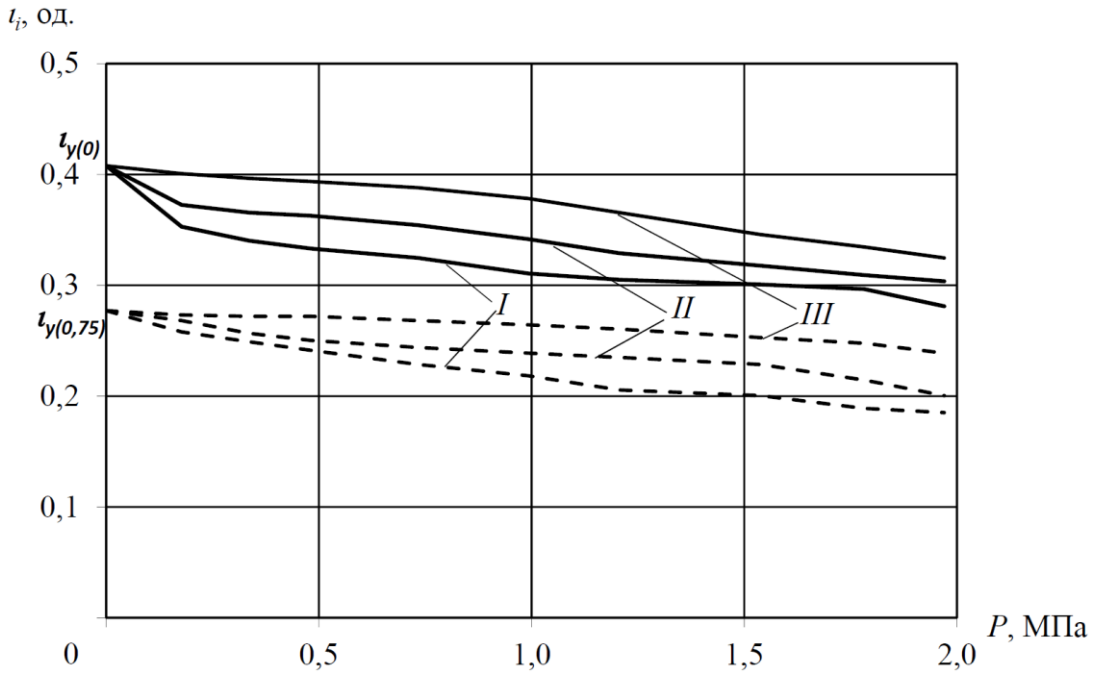


Рисунок 4.43 – Графіки залежності величини поточного коефіцієнта пустотності ι_i від величини зовнішнього тиску P в різних шарах породної опори (*I,II,III* – відповідно, номери шарів в опорі від підошви до покрівлі) без ущільнення мішків ($\iota_{y(0)}$) та з попередніми ущільненням 0,75 МПа ($\iota_{y(0,75)}$)

Найбільш тісний зв'язок показала лінійна залежність величини усадки охоронної конструкції від основних факторів, що впливають, яка має вигляд

$$\frac{\Delta h}{h}=8{,}405P+28{,}704\iota_y-7{,}768\text{, }(R^2=0{,}95), \qquad (4.35)$$

де P – зовнішній тиск на порідну опору, МПа, ι_y – коефіцієнт зовнішньої пустотності породних об'ємів в мішках перед їх укладанням в охоронну конструкцію; 8,405 – коефіцієнт рівняння регресії, МПа$^{-1}$; 28,704 і 7,768 – безрозмірні коефіцієнти рівняння регресії.

З отриманої залежності випливає: чим більше величина навантаження на охоронну конструкцію та чим більшу стисливість мають породні елементи в ній, тим більшою буде піддатливість споруди. Це обумовлено тим, що ущільнений об'єм менш рухливий, ніж при природній насипці. З виразу (4.35), задавшись

величиною тиску на мішок P (МПа) та його необхідною відносною усадкою $\Delta h / h$ (%), можна визначити коефіцієнт пустотності матеріалу в мішку перед його укладанням в конструкцію, тобто

$$\iota_y = 0{,}035\frac{\Delta h}{h} - 0{,}293P + 0{,}271 . \qquad (4.36)$$

Виходячи з розрахункового ι_y, стає можливим підбір матеріалу з необхідною пустотністю для заповнення мішків. Але не виключається використання матеріалу без попереднього ущільнення (ι_y=0,41), якщо він буде відноситись до малостисливих. Тоді піддатливість мішка складе від 22 %. Тобто вираз (4.36) має область допустимого значення при $\Delta h / h$<22%.

Варто відзначити, що при коефіцієнті пустотності 0,28-0,29 в охоронній конструкції з мішків з породою забезпечується піддатливість 16-17%, що рівнозначне застосуванню жорстких охоронних споруд. Таким чином, за рахунок попереднього ущільнення матеріалу в мішках можна регулювати піддатливість всієї конструкції з мішків. Для отримання найбільшого ефекту ущільнення мішків має проводитися поряд з місцем спорудження охоронної конструкції.

Невирішеним залишається питання щодо визначення розмірів мішків. У роботі [378] наводиться алгоритм розрахунку несучої здатності та піддатливості породних стінок. Запропоновані розміри мішків вагою до 40 кг для виконання допустимої норми з перенесення вантажів гірниками. Саме гранична маса мішку з породою $m_м$ (кг) є визначальним параметром для визначення діаметру $d_м$ (м) та довжини мішків $l_м$ (м) при відомій об'ємній масі породи $\gamma_н$ (кг/м^3). Тоді має виконуватись умова

$$l_м d_м^2 \gamma_н \le 50{,}9 \text{ кг}. \qquad (4.37)$$

4.6 Обґрунтування параметрів комбінованої конструкції з породної смуги та стінок з породних стійок

З метою зменшення об’єму породи в бутовій смузі та забезпечення її стійкості дієвим рішенням є створення бічного опору по краям цієї споруди. Підтвердженням цьому є досвід використання бутокострів, попереднього розпору бутової смуги анкерами, опорних тумб з породи в оболонці та інших засобів, які аналізувалися у розділі 1. Всі ці засоби передбачають обмеження горизонтальних переміщень породних об’ємів використанням спеціальних елементів. Охоронні конструкції можуть споруджуватись уздовж виробки, що охороняється, як стрічково, так і відокремлено одна від іншої. Здебільшого вони передбачають використання елементів з деревини, заліза та залізобетону, потребують значних витрат праці та часу на реалізацію. Ресурсозберігаючим та технологічним рішенням може бути спорудження комбінованої конструкції з породної смуги між стінками з мішків, які заповнюються рядовою породою [30].

Було проведено дослідження щодо обґрунтування параметрів даного засобу, при яких мала бути забезпечена ефективність його використання. Для цього планувалося проведення аналітичних та лабораторних досліджень з подальшою перевіркою в шахтних умовах.

Породна смуга зі стійками складається з частинок різної форми, що зумовило необхідність використання для опису деформування даної охоронної споруди моделей дискретного розпірного середовища, в якому масив представляється як сукупність окремих частинок, кожна з яких має певну форму та має властивості твердого тіла. У розглянутій конструкції, під дією вертикального навантаження, відбувається перепакування частинок та виникає горизонтальна складова. Розвитку горизонтальних зсувів протистоять породні стійки. Таким чином, усередині породного об’єму відбувається перепакування частинок з подальшим їх самозаклинюванням і формуванням вантажонесучого ядра внаслідок опору стійок.

Передбачається область порід, які беруть участь безпосередньо у процесі формування вантажонесучого ядра, умовно визначити такими межами (рис. 4.44): верхня поверхня, по якій діє вертикальне навантаження, що призводить до перепакування породних частинок і зміни параметрів охоронної споруди; нижня поверхня - обмежує площину на контакті з породною конструкцією, яка умовно не бере участі у процесі попереднього перепакування; бічні поверхні - поверхні, за якими відбувається опір породному об’єму, що переміщається. По верхній і нижній поверхням відбувається ковзання породних частинок області.

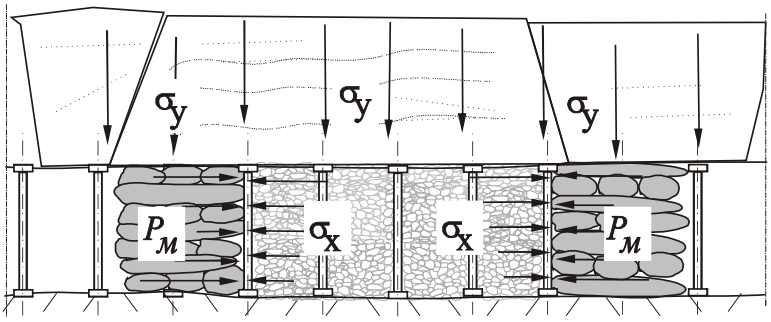


Рисунок 4.44 – Схема розподілу сил по ширині комбінованої охоронної конструкції

Ця схема тотожна зі схемою, що наведена на рисунку 4.4, у якій бічні стінки замінені силами бічного опору. Тоді рішенням рівняння граничної рівноваги елементарного об'єму в комбінованій породній конструкції буде вираз (4.12), з якого отримаємо залежність ширини породної смуги, яка оконтурена обмежуючими елементами

$$b_н = -\frac{h_н tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2}\right)}{tg\,\rho_n}\ln\psi\,, \qquad (4.38)$$

де ψ – відносний показник відношення реакції стінки $P_м$ до величини навантаження з боку порід покрівлі σ_y, тобто

$$\psi = \frac{P_м}{\sigma_y}. \qquad (4.39)$$

З виразу (4.38) були отримані графіки залежності співвідношення геометричних розмірів породної смуги у даній конструкції від кута внутрішнього тертя порід для різних значень показника ψ (рис. 4.45). Із залежності визначаються оптимальні розміри породної конструкції, при яких зберігається її стійкість, відбувається самозаклинювання матеріалу та забезпечується мінімальна піддатливість. У даному способі, на відміну від традиційної бутової смуги, відбувається «заміщення» периферійних зон та зон з вільними укосами (рис. 4.1) обмежуючими елементами (породними стійками). Тоді умовою для забезпечення стійкості такої конструкції буде

$$\frac{b_н}{h_н} \geq -\frac{tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_п}{2}\right)}{tg\rho_п}\ln\psi\,. \qquad (4.40)$$

У відповідності з виразом (4.38), для типових умов, мінімально необхідна ширина породної смуги може змінюватись від 0,4 до 6,0$h_н$ в залежності від опору породних стійок.

Запропонована конструкція комбінованої споруди передбачає зведення стінок з мішків та породної смуги, але з виразу (4.40) випливає, що при $\sigma_y = P_м$ немає необхідності в смузі, а дана конструкція буде подібна способу охорони породними стінками [186]. У тому випадку, коли $\sigma_y > P_м$, лише породних стінок буде недостатньо, тому необхідно між ними заповнювати простір рядовою породою. Ширина цієї смуги може бути від декількох десятків сантиметрів до декількох метрів в залежності від чинників впливу.

Для визначення реакції стінки $P_м$ з мішків скористаємося розрахунковою схемою перерозподілу сил по ширині охоронної конструкції (рис. 4.4), з якої видно, що під дією сил від ваги порід σ_y у породній смузі у бік стінок діють видавлюючі сили σ_x, яким протистоять сили $P_м$. У свою чергу, сили $P_м$ викликані дією сил тертя мішків між собою з породами покрівлі та підошви від дії сили σ_y

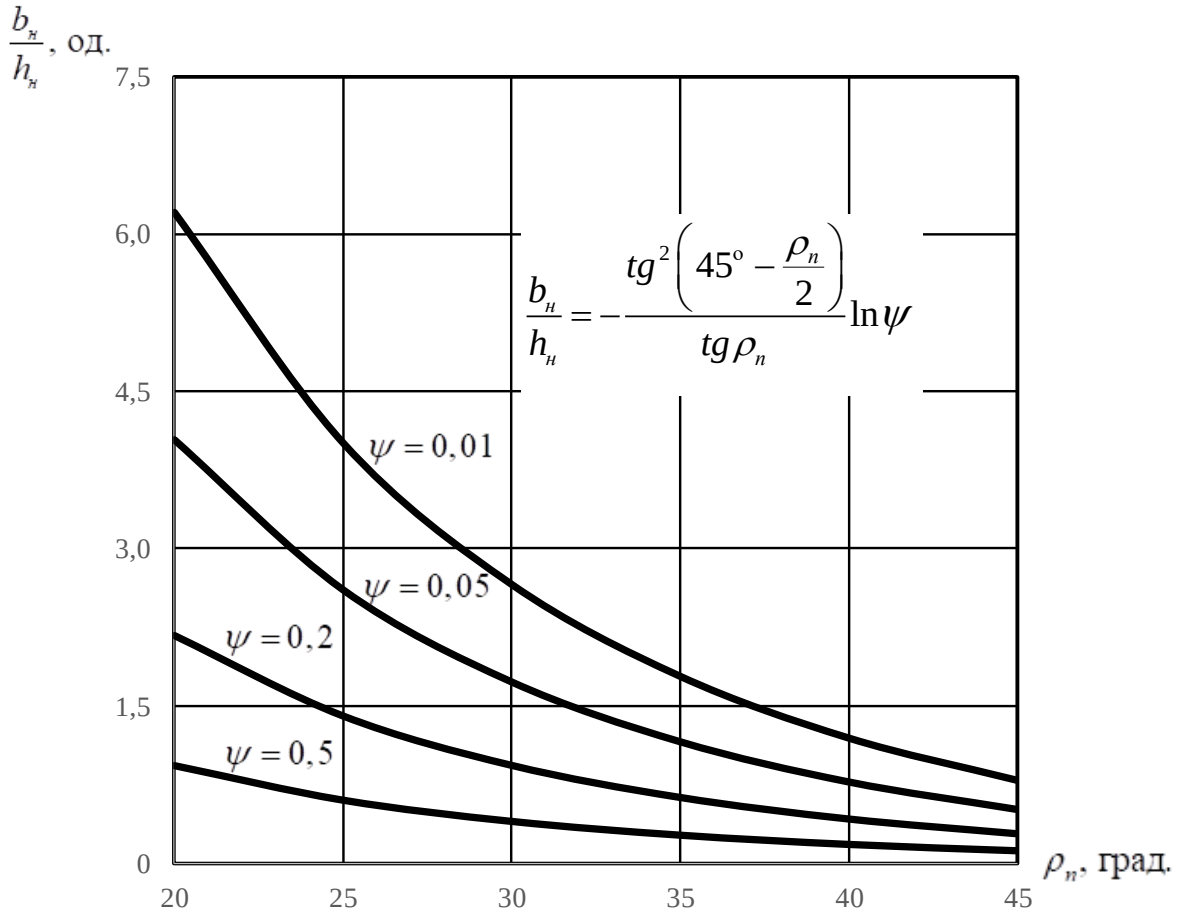


Рисунок 4.45 – Графіки залежності співвідношення геометричних розмірів породної смуги у даній конструкції $b_н / h_н$ від кута внутрішнього тертя порід $\rho_п$ для різних значень показника ψ

і ваги мішків. Таким чином, σ_y впливає як на роздавлювання породної конструкції, так і на її підтримання.

Визначити $P_м$ можна експериментальним шляхом при випробовуваннях відокремлених породних стінок з мішків на структурних моделях (рис. 4.46) [30]. Для цього в масштабі моделювання М 1:25, у відповідності з умовами подібності, було виготовлено мішки з бавовняної тканини, які заповнювались дрібною породою. Довжина мішків складала 45 мм, а діаметр 12,5 мм. У рядах стінок мішки укладались перпендикулярно один одному на необхідну висоту.

Ширина породних стінок була 45 мм, що в переведенні на натуру дорівнювало 1,13 м, їх довжина складала 120 мм (3,0 м в натурі), а висота залежала від кількості рядів з мішків у стінці та для 3-ьох, 5-ти та 7-ми рядів

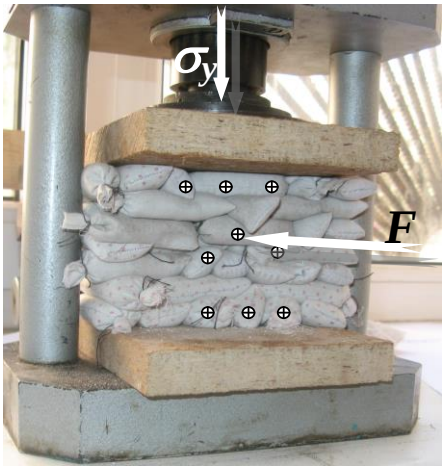


Рисунок 4.46 – Загальний вигляд породної стінки з мішків

складала, відповідно, 40 (1,0 м), 65 (1,63 м) та 90 мм (2,25 м).

Було підготовлено декілька моделей різної висоти, які по черзі випробовувалися на гідравлічному пресі. Для цього вони навантажувались на пресі силою 0,5 кН, після чого за допомогою металевого стрижня та динамометру здійснювалось горизонтальне проштовхування мішків у різних точках стінки (рис. 4.46).

В кожній стінці, при проштовхуванні мішка у визначеному місці, фіксувалося показання динамометра на момент зсуву мішка, після цього конструкція поверталась у початкове положення та вимір повторювався. Оскільки сила проштовхування F дорівнює максимальній реакції стінки $P_м$ у відповідному місці, то знаючи σ_y та F можна визначити відносний показник ψ з виразу (4.39).

Результати вимірів дозволили встановити залежність показника ψ від висоти конструкції (рис. 4.47), з якої випливає, що мінімальний показник належить до середнього ряду конструкції, а найбільший – до найнижчого. Якщо порівняти графіки при різних кількостях мішків по висоті, то величини показника ψ у середніх рядах різних моделей майже однакові та відрізняються не більше ніж на 5%. Для верхніх та нижніх рядів картина подібна і відхилення не перевищують, відповідно, 9 та 6%.

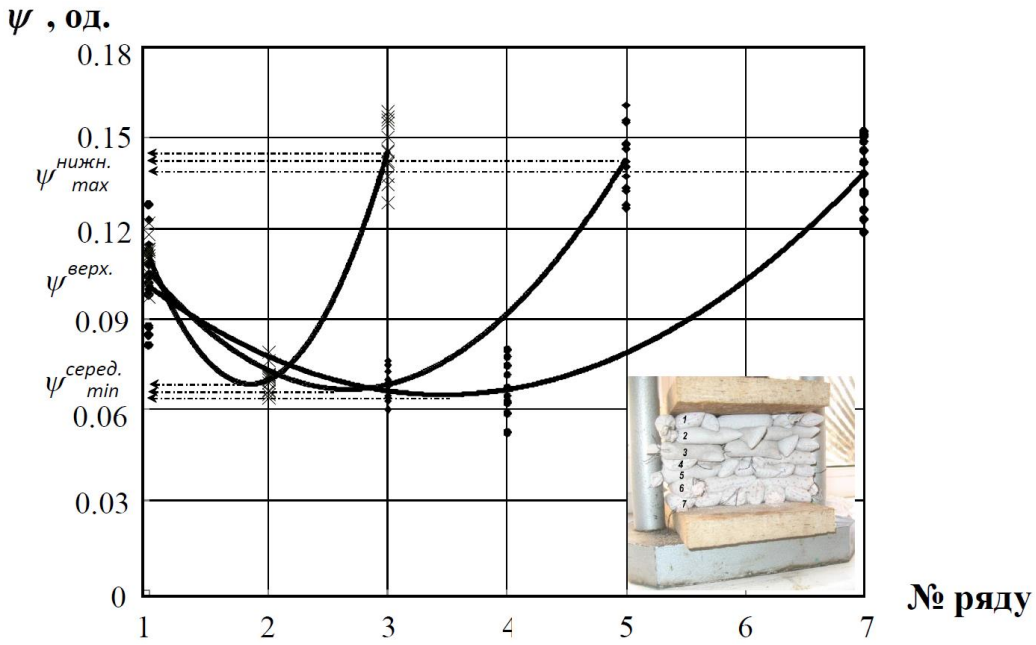


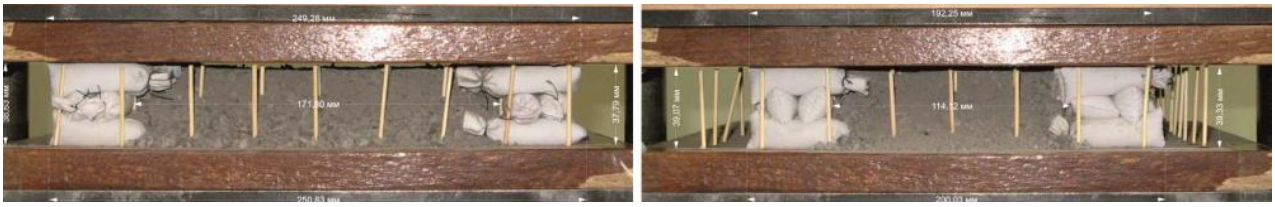
Рисунок 4.47 – Графіки зміни відносного показника ψ з висотою породної стінки, яка виражена кількістю рядів з мішків

У розрахунках, з метою забезпечення стійкості конструкції, необхідно приймати мінімальне значення показника ψ_{min}=0,065, яке отримано для середнього ряду незалежно від кількості мішків у ряду. Тоді умова (4.40) прийме вигляд

$$\frac{b_н}{h_н} \geq 2,73 \frac{tg^2\left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2}\right)}{tg\rho_n}. \qquad (4.41)$$

Для експериментального підтвердження отриманих результатів було підготовлено 19 структурних моделей у масштабі М 1:25, які відрізнялись одна від іншої шириною породної смуги між стінками з мішків (рис. 4.48). Мішки були пошиті з бавовняної тканини, заповнювались кварцовим піском. Для найвужчої моделі ширина смуги визначались з виразу (4.41) та склала 1,22$h_н$, тому було прийнято ширину цієї моделі 3,5$h_н$, у тому числі породна смуга шириною 1,3$h_н$. Додатково було підготовлено декілька моделей з бутовою смугою без мішків (рис. 4.49), а також моделі тільки з породною стінкою шириною 1,1$h_н$ та 2,2$h_н$ (де $h_н$– початкова висота моделі) (рис. 4.50).

а *б*



в



Рисунок 4.48 – Загальний вигляд моделей комбінованих споруд зі стінками з мішків та породною смугою (а, б, в – ширина смуги, відповідно, 4,3h, 2,8h та 1,3h)

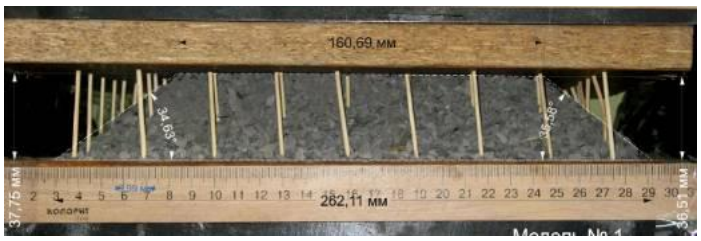


Рисунок 4.49 – Загальний вигляд моделі з бутовою смугою

а *б*

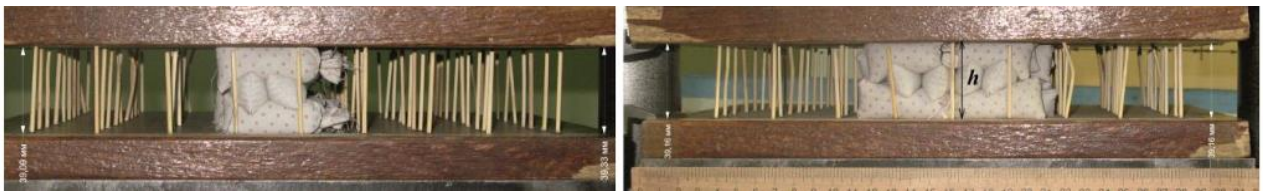


Рисунок 4.50 – Загальний вигляд моделей з породними стінками шириною 1,1h (а) та 2,2$h_н$ (б)

У породних смугах розміщувалась порода з однаковим фракційним складом. В конструкціях передбачалось встановлення дерев'яних стійок, укладання мішків та засипання породи (рис. 4.51).

Після підготовки моделей здійснювалось їх відпрацьовування. Для цього на гідравлічному пресі *П-50* по черзі навантажувались конструкції моделей та фіксувалась їх лінійні параметри електронним штангенциркулем *INTERTOOL MT-3006*. Також здійснювалась фотофіксація дій за допомогою цифрової камери *Canon PowerShot A710*. Фіксація навантажень на пресі здійснювалось за допомогою вбудованої універсальної вимірювальної системи *СІ-9v2 «Універсал»* з виводом на дисплей значень поточного навантаження та швидкості його докладання. Окремі фотографії етапів відпрацьовування моделей показані на рисунку 4.52.

За час випробувань моделей спостерігалися зміни у лінійних параметрах споруд. Зокрема, всі вони, в залежності від навантаження зменшувалися по висоті. В моделях без стінок відбувалося часткове розповзання смуги та збільшення ширини, а в моделях зі стінками – ущільнення мішків та локальні розриви окремих мішків.

Гранична величина навантаження розраховувалась за формулою [111]

$$g_м = g_м \frac{\gamma_м}{\gamma_н} \frac{l_м}{l_н} . \qquad (4.42)$$

де $g_н$ – величина тиску порід в натурі; ($\gamma_м/\gamma_н$)– співвідношення об'ємних ваг матеріалів натури і моделі; ($l_м/l_н$) – геометричний масштаб моделювання. При $\gamma_м/\gamma_н$= 1 та $l_м/l_н$=0,04 – $g_м$ =0,04$g_н$. Тоді для глибини 1000 м, приймаючи, що на контурі виробки напруження можуть в 2 рази перевищувати напруження в недоторканому масиві, $g_м$ мало скласти 2 МПа, а враховуючи площу опор величина навантаження мала бути 180 кН. Тому граничне навантаження було прийняте 200 кН.

За результатами вимірів усадки конструкцій у моделях було визначено їх

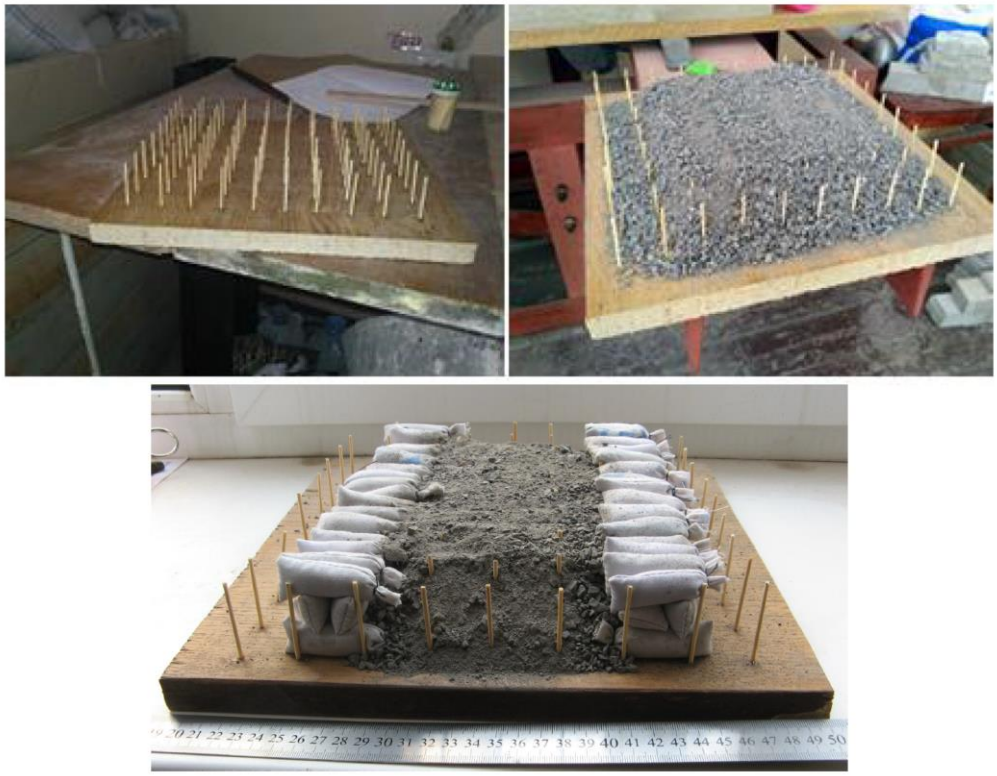


Рисунок 4.51 – Загальний вигляд моделей до та після відпрацювання

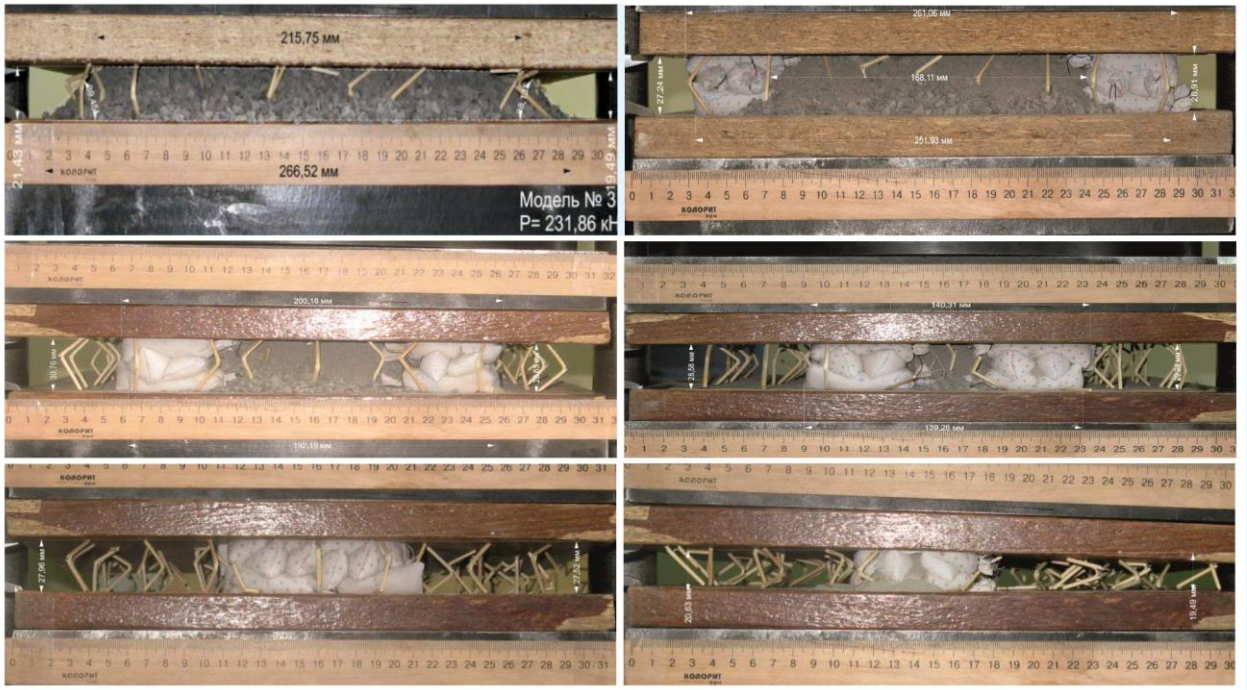


Рисунок 4.52 – Загальний вигляд моделей на останньому етапі відпрацювання

відносну піддатливість в залежності від величини навантаження (рис. 4.53). Взагалі піддатливість моделей при максимальному навантаженні була у діапазоні від 26 до 52 %, в залежності від прийнятої конструкції. Максимальна піддатливість відповідала породній стінці шириною 1,1$h_н$. Збільшення ширини породної стінки в 2 рази до 2,2$h_н$ дозволило забезпечити піддатливість 34-36%, що майже дорівнювало піддатливості бутової смуги шириною 7$h_н$ (38-40%). Було зроблено висновок, що використання тільки породних стійок є недостатньо ефективним.

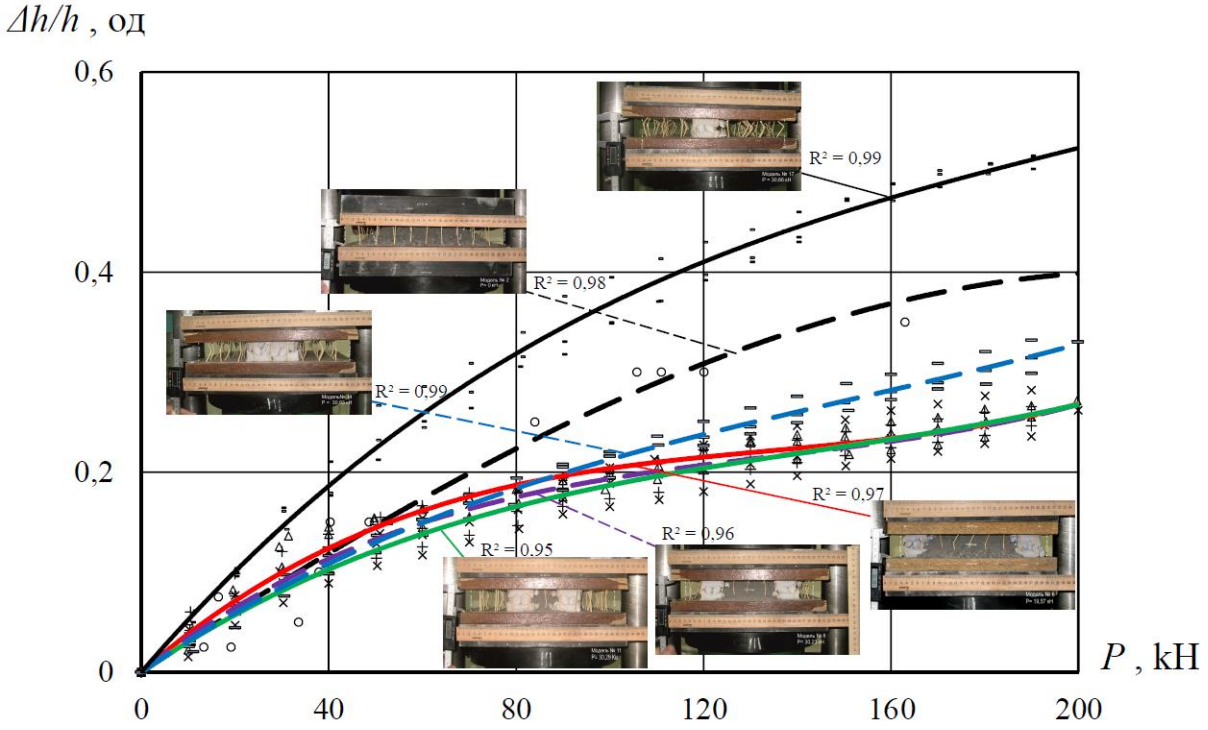


Рисунок 4.53 – Графіки залежності величини усадки охоронних споруд від величини навантаження при різних параметрах конструкцій

Випробовування комбінованих конструкцій з породних смуг та стінок з мішків показало, що для моделей з різною шириною величина піддатливості майже однакова та при максимальному навантаженні склала 26%, що майже на 40% менше ніж при охороні бутовою смугою та породною стінкою шириною 2,2$h_н$. Тобто збільшення ширини смуги більше ніж 1,3$h_н$ було не доцільним і достатньою шириною комбінованої конструкції була величина 3,5h, що цілком

узгоджується з результатами аналітичних досліджень та підтверджує правильність отриманої раніше залежності ширини породної смуги в комбінованій споруді від чинників впливу. Але вираз (4.41) передбачає умову збереження рівноважного стану сипких порід у смузі, тобто при розрахунковій ширині $1{,}3h_н$ не має бути осідання покрівлі, але фактично вони склали $0{,}26h_н$. Це пояснюється тим, що на початковому етапі навантаження у смузі несуче ядро відсутнє та конструкція інтенсивно змінює форму. Далі, коли вичерпано піддатливість та сформувалося ядро, смуга ефективно утримує навантаження, які на неї діють та забезпечує стійкість у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи», при умові відсутності її просідання.

Дана конструкція забезпечує зменшення піддатливості до 26 %, що менше ніж при охороні традиційними бутовими смугами та кострами з деревини, але перевищує цей показник при охороні тумбами з залізобетонних блоків та литою смугою. Також цей показник такий, як при охороні породними стінками з мішків (рис. 4.42), але при розміщенні додаткової породної смуги збільшується загальна ширина охоронної споруди, що позитивно вплине на стан виробки зменшенням зміщень її покрівлі. Використання в стінках мішків з попередньо ущільненим матеріалом (з коефіцієнтом пустотності 0,28) дозволить зменшити піддатливість до 16 % (рис. 4.42) з закладанням породної смуги необхідної ширини.

Як показали результати випробувань армованих породних смуг, їх піддатливість може бути суттєво зменшена (рис. 4.8), але при умові закладення смуги шириною $6h_н$. Тому поєднання комбінованої конструкції з пошаровим армуванням породної смуги всередині неї може наблизити піддатливість до литої смуги при заданій ширині конструкції. Для забезпечення зменшення піддатливості такої конструкції до 8-10 % було здійснено структурне моделювання за аналогією з тим, яке розглядалося раніше (рис. 4.52) [256]. Але до моделей було додано дві гнучкі горизонтальні перегородки з паперу, які поділяли породну конструкцію на три шари (рис. 4.54). Бічні стінки у конструкції споруджувались з мішків з

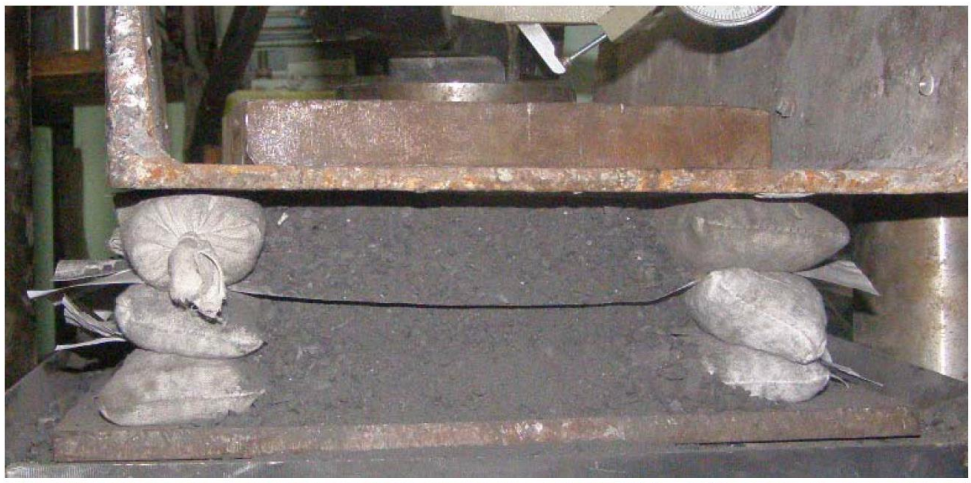


Рисунок 4.54 – Загальний вигляд комбінованих породних конструкцій з горизонтальними перегородками та двома рядами мішків у кожній стінці з різними крупністю породних фракцій та шириною смуги

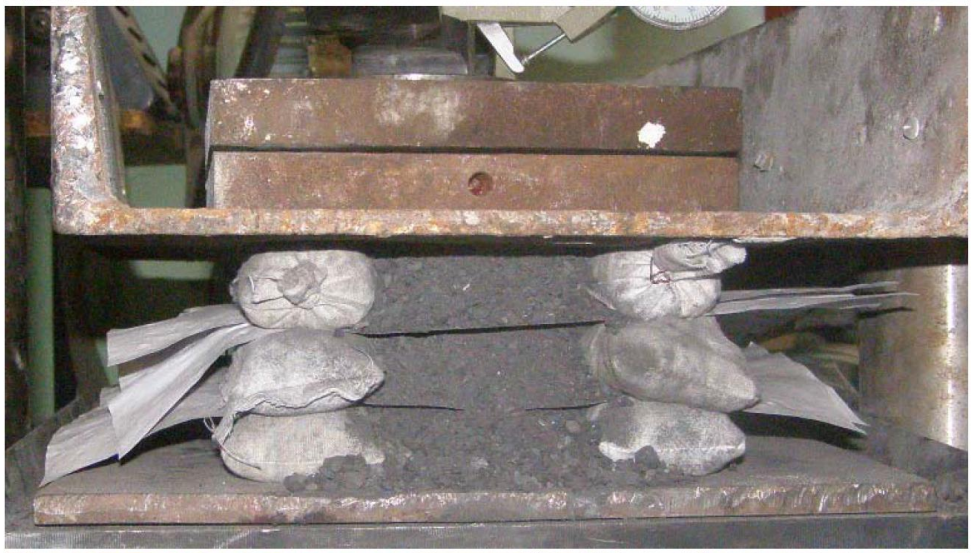
породою, які викладалися перпендикулярно один до іншого у рядах. Крім того, у смугах між цими стінками змінювався фракційний склад порід, а також ширина породної смуги (рис. 4.54) та розглядалася можливість зменшення мішків у стінці до одного ряду, в тому числі з вільною укладкою мішків по бічній грані породної насипки під кутом природнього нахилу до горизонтальної площини (рис. 4.55).

Відпрацювання підготовлених моделей дозволило отримати масив даних для встановлення залежностей, показаних на рисунках 4.56-4.58, з яких випливає, що збільшення фракційного складу породних частинок в охоронній конструкції впливає на зменшення її піддатливості, причому збільшення розміру частинок від 0,02 до 0,1 від висоти споруди призводить до зменшення піддатливості у 1,55 рази, хоча усадка охоронних споруд при всіх фракціях не перевищує 10 % (рис. 4.56). При однакових умовах збільшення ширини споруди від 2,0 до 2,7 від висоти конструкції несуттєво впливає на її стійкість, а зменшення піддатливості буде в межах 0,7 % (рис. 4.57). Варто зазначити, що піддатливість даних конструкцій становить 8,0-8,5%, що у 5-7 разів менше, ніж при застосуванні звичайної бутової смуги, яка у 3-4 рази ширша та вимагає більшої кількості породи. Збільшення ширини породних стінок у комбінованій конструкції за рахунок збільшення кількості мішків тягне за собою зменшення піддатливості (збільшення несучої здатності) на 1%, що вказує на можливість зменшення кількості мішків у стінці за умови армування породної смуги (рис. 4.57) та вертикального розміщення стінок. Піддатливість армованої конструкції з однорядними стінками зменшується у 3 рази в порівнянні зі звичайною бутовою смугою, а укладання породних мішків по площині бічної грані смуги, яка сформована в результаті її вільного насипання, дозволяє зменшити піддатливість у 1,33 рази (рис. 4.58). Найкращий результат забезпечується при викладенні по краях породної смуги стінок з двох рядів мішків, покладених перпендикулярно один до одного в рядах, але однорядні вертикальні стінки несуттєво поступаються дворядним.

а)



б)



в)



Рисунок 4.55 – Загальний вигляд комбінованих породних конструкцій з горизонтальними перегородками та одним рядом мішків у кожній стінці (а, б – з вертикальними стінками, в – з похилими стінками)

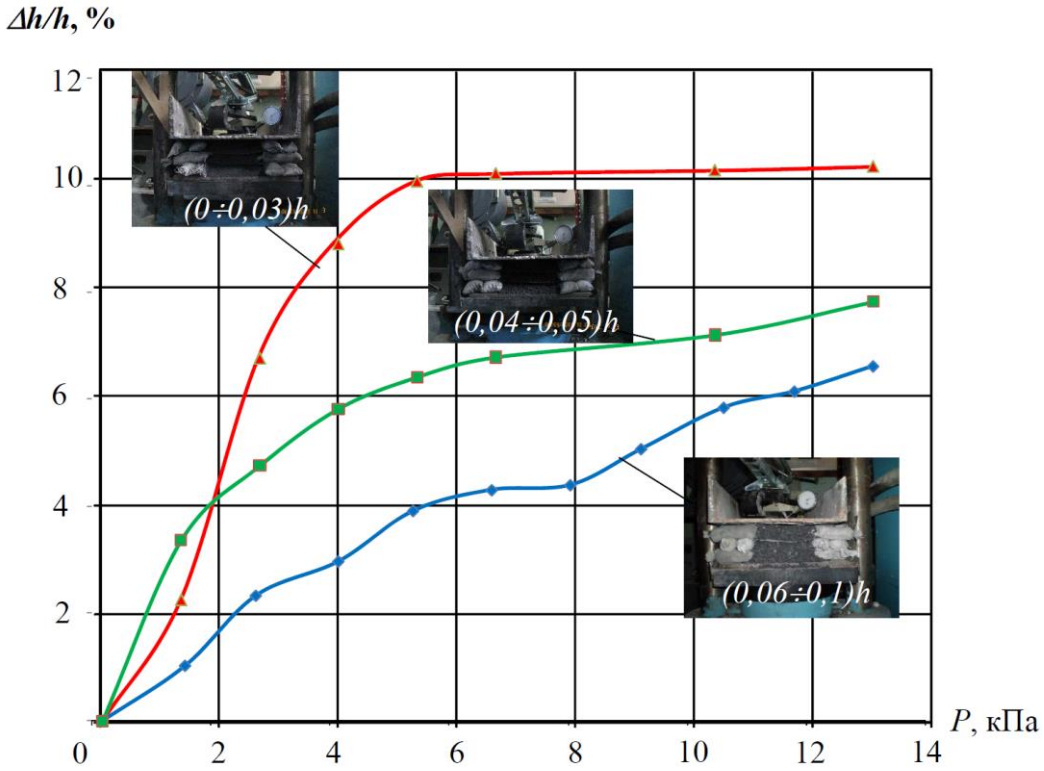


Рисунок 4.56 – Залежності величини усадки охоронних конструкцій *Δh/h* від величини навантаження *P* при різних породних фракціях в насипці

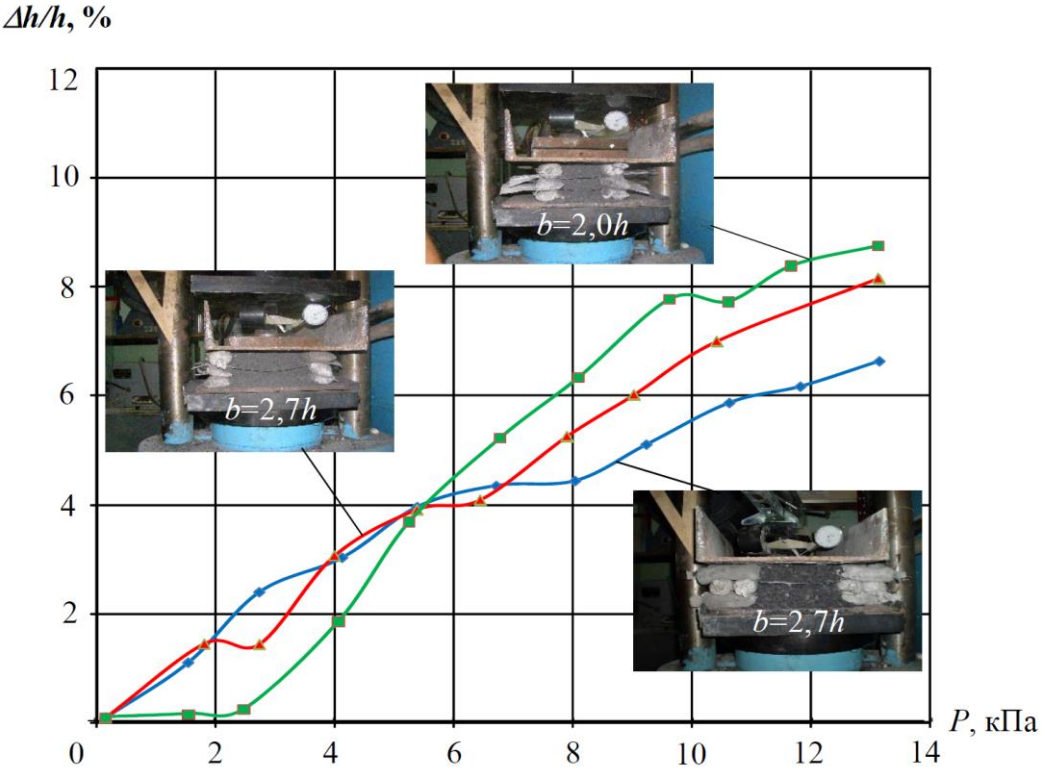


Рисунок 4.57 – Залежності величини усадки охоронних конструкцій *Δh/h* від величини навантаження *P* при різних ширині та кількості мішків у стінках

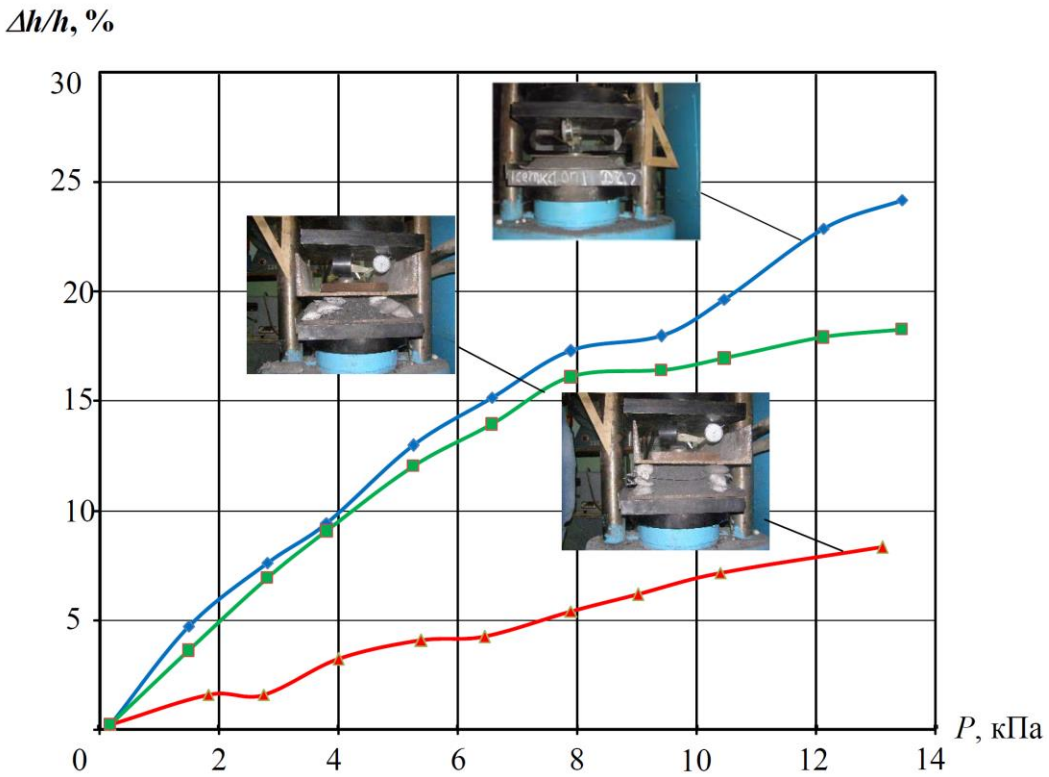


Рисунок 4.58 – Залежність величини усадки охоронних конструкцій *Δh/h* від величини навантаження *P* при відсутності стінок і різних схемах установки однорядних стінок

4.7 Розробка технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких підстилаючих порід, що базуються на переспрямуванні видавлюючих зусиль

Проведені дослідження щодо обґрунтування параметрів засобів охорони підготовчих виробок, що ґрунтуються на використанні рядової породи та обмежуючих поверхонь, дозволили запропонувати нові та удосконалити існуючі ресурсозберігаючі технології охорони виробок. У якості обмежуючих елементів розглянуто сітчасті конструкції та мішки з породою, використання яких сумісно з насипною породою дозволяє створити стійкі конструкції, які споруджуються стрічково вздовж виробки, що охороняється, або окремими опорами з залишенням між ними порожнин для виконання технологічних операцій, а також реалізації в них зміщень бічних порід та переспрямування діючих зусиль від

виробки у бік виробленого простору та (або) порожнин. Остання концепція має першочергове значення в умовах слабких бічних порід, оскільки передбачає управління напружено-деформованим станом у навколишньому масиві, коли забезпечити стійкість виробки іншими способами складно або неможливо.

Основною тезою запропонованих технічних рішень щодо використання обмежуючих елементів було обмеження піддатливості засобів охорони та підвищення їх несучої здатності, але їх реалізація на слабких породах підошви може бути неефективною, оскільки зменшення усадки засобів призведе до збільшення їх просідання відносно поверхні підошви. Таким чином, зміщення покрівлі у виробці можуть не зменшитися, а додатково буде спостерігатися видавлювання з-під охоронної конструкції порід підошви у порожнину виробки. Це було доведено у розділі 3.

Про дієвість використання відокремлених охоронних конструкцій із залишенням між ними порожнин йшлося раніше. Це стосується циліків, які мають в основі форму трикутника та трапеції. Незважаючи на технологічні переваги цілики зі спеціальними формами не вплинули на зменшення величини видавлювання порід підошви у виробку. Тобто їх недоліком, можливо, є неефективна форма або орієнтація відносно виробки. Запропоноване рішення щодо спорудження прямокутних паралелепіпедів перпендикулярно повздовжній осі виробки з залишенням між ними порожнин [182, 275] дозволяє переспрямувати частку зусиль від виробки. Для цього використовувались жорсткі конструкції з прямокутником в основі. Але таку форму не можуть забезпечити опори з рядової породи.

З породних конструкцій та обмежуючих поверхонь можна створити відокремлені опори, але їх форма не буде схожа на трикутник, трапецію або прямокутник, оскільки їх форму визначають несучі ядра, які за формою схожі на коло або еліпс. Але не можна вважати догмою, що форми споруд мають бути кутастої форми, оскільки, навпаки, кути та виступи є концентраторами напружень та провокують завчасні порушення стійкості підстилаючих порід.

Для доведення цього були проведені чисельні та лабораторні дослідження щодо вивчення впливу форм охоронних споруд на величину видавлювання підстилаючих порід з-під них.

При лабораторному моделюванні був пошарово закатаний еквівалентний матеріал, який імітував підстилаючі породи. На ці шари передбачалася установка жорстких штампів, на які згодом прикладалося рівномірно розподілене навантаження. Ці штампи імітували відокремленні охоронні конструкції прямокутної, трикутної та круглої форм (рис. 4.59) [251].

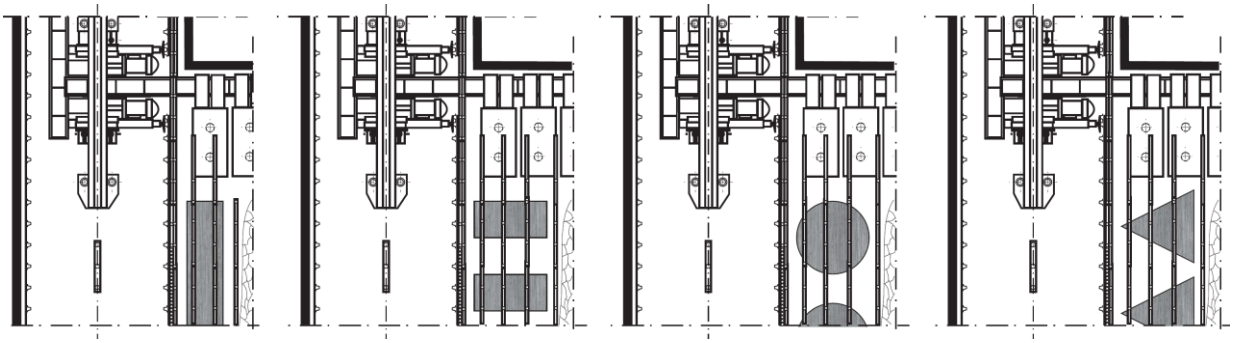


Рисунок 4.59 – Схема розміщення охоронних споруд різної форми позаду лави

Силовим впливом на ці конструкції планувалося дослідити поведінку підстилаючих порід в залежності від форми споруди. Для цього здійснювалася фотофіксація загального вигляду моделей при їх завантаженні, а потім їх зрізів та ядер під штампами при покроковому розпилюванні (рис. 4.60, 4.61).

Відпрацьовувалося по чотири моделі з однаковими формами опор, причому для отримання повної картини деформування підстилаючих порід по ширині та довжині моделі дві з чотирьох розпилювали в одному напрямку, а дві інші - в напрямку перпендикулярному першому.

В результаті моделювання було встановлено, що ущільнені ядра під охоронними спорудами, в основі яких був правильний багатокутник, мали форми пірамід. Якщо в основі був прямокутник ядро мало форму усіченої трикутної призми, а при колі - конус. У всіх моделях ущільнені ядра переміщалися разом зі штампами, а всередині них матеріал залишався нерухомим. Нахил граней ядер визначав напрямок видавлювання порід, а кути їх

а) б)



Рисунок 4.60 – Загальний вигляд зрізу моделі з прямокутним штампом у перпендикулярних напрямках (а, б – відповідно, вздовж довжини та ширини штампу)

а) б) в)



Рисунок 4.61 – Загальний вигляд штампів з вилученими з моделей ущільненими ядрами, які утворилися при навантаженні (а, б та в – відповідно, для прямокутного, трикутного та круглого штампів)

нахилу до площини основи становили $\pi/4+\rho/2$ (де ρ- кут внутрішнього тертя підстилаючих порід, град.) [249, 251].

При вдавлюванні опор по їх периметру відзначалися воронки осідання та мало місце видавлювання підстилаючого матеріалу, контури якого на поверхні відрізнялися для різних опор в залежності від їх форми. Для штампів з правильними фігурами та колом в основі відстані контурів деформування поверхні від опор були приблизно однаковим у всіх напрямках, а форма контуру більше нагадувала напівсферу. Для прямокутних опор контур був подібний до еліпсу, у якого менша вісь була перпендикулярна меншій стороні основи, а велика – більшій. При цьому з більшої сторони видавлювався більший обсяг породи. Цей висновок став основою для наукового положення, викладеного в дисертаційній роботі [249]. Застосування опор квадратної та круглої форми в основі не принесло ефекту переспрямування видавлюючих зусиль від виробки. При трикутній формі більш ефективною була орієнтація, коли вершина основи з найменшим кутом була біля виробки (при рівнобедреному трикутнику). Таким чином, знайшли підтвердження висновки про те, що опори у формі прямокутних паралелепіпедів можуть бути ефективними, але для цього їх необхідно розташовувати більшою стороною основи перпендикулярно поздовжній осі виробки.

Для встановлення параметрів опор в формі паралелепіпедів і компенсаційних порожнин між ними та встановлення ефективності їх застосування у порівнянні зі стрічковим розміщенням були проведені лабораторні дослідження на моделях з використанням еквівалентних матеріалів (рис. 4.62, 4.64), в яких розглядалися різні схеми розміщення опор (рис. 4.63) та різною шириною опор та порожнин (рис. 4.64).

У моделі, яка зображена на рисунку 4.64, з одного боку були стрічкові смуги, а з іншого – опори, які були орієнтовані довшою стороною в основі перпендикулярно поздовжній осі виробки. В таких моделях ширина окремо розташованої опори дорівнювала ширині смуги з іншого боку моделі. Довжина



Рисунок 4.62 – Фотографії моделі з опорами для встановлення ефективності використання відокремлених опор

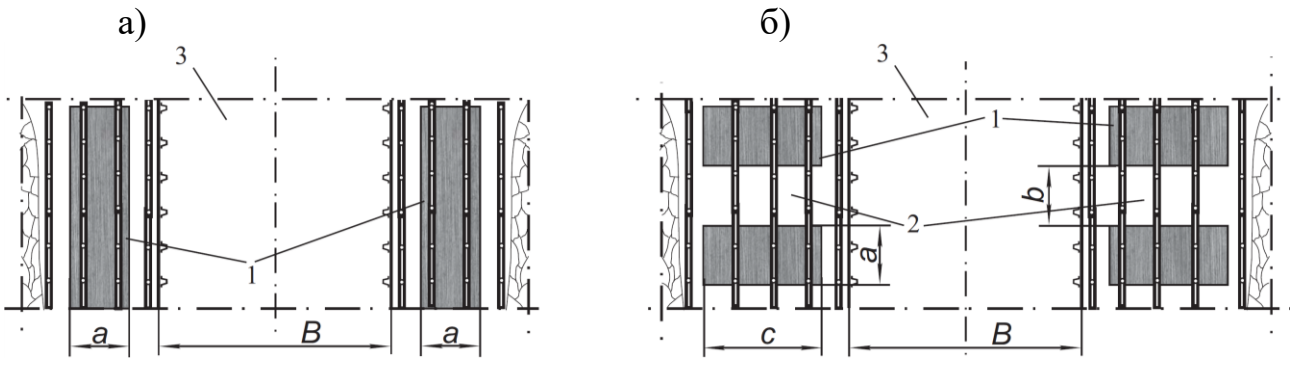


Рисунок 4.63 – Схеми розміщення охоронних споруд 1 уздовж виробки 3 стрічково (а) та перпендикулярно осі виробки (б) із залишенням компенсаційних порожнин 2 (B – ширина виробки, a – ширина опори, b – ширина компенсаційної порожнини, c– довжина відокремленої опори)



Рисунок 4.64 – Загальний вигляд моделей перед початком їх відпрацювання (1- охоронні опори різної ширини, 2- компенсаційні порожнини)

опор була в 2 рази більшою ніж ширина, а ширина компенсаційної порожнини дорівнювала ширині опор, між якими вона залишалася. Довжина смуг дорівнювала товщині моделі (0,16 м), що у масштабі моделювання 1:100 для натури складало 16 м. Кількість опор по ширині моделі складала 4, а їх розміри були 0,015×0,03 м (в натурі 1,5×3 м). Сумарна площа вісьмох таких опор з одного боку моделі дорівнювала площі двох смуг, які встановлювались з іншого боку. Взагалі моделювався масив розмірами 75×16×16 м.

При навантаженні моделей пневмобалонами з тиском q=40 кПа, при традиційному (стрічковому) розташуванні охоронних споруд сталося руйнування підстилаючих порід, після чого вони попрямували у бік виробки й їх підняття склало 90% від висоти охоронних конструкцій (рис. 4.65). При окремо розташованих опорах підстилаючі породи зберегли свою цілісність, а величина їх підняття з боку менших бічних граней опор (в умовну виробку) склала 18% від їх висоти, а з боку більшої бічної грані (у компенсаційні порожнини) - 35 % від висоти опор (рис. 4.65). Руйнування порід в умовній виробці при охороні опорами відбулося при навантаженні 68 кПа, а в компенсаційних порожнинах – при 22 кПа.

Таким чином, в результаті моделювання було встановлено, що застосування опор у вигляді паралелепіпедів, орієнтованих перпендикулярно осі виробки, дозволяє переспрямувати основну частину видавлюючих зусиль від виробки у компенсаційні порожнини.

Збільшення несучої здатності підстилаючих порід при використанні опор та обмеження зміщень в порожнини та виробку пояснюється арковим ефектом між ними, який прийнятий при будівництві переривчастих фундаментів (рис. 4.66) [377]. Тобто між сусідніми опорами створюються розвантажувальні склепіння, що спираються на бічні грані ядер під опорами. Тоді має значення ширина порожнин між опорами. При цьому не виключаються переміщення у порожнини між опорами, але вони обмежені й відбуваються до моменту закінчення формування розвантажувальних склепінь. Суттєвий вплив на стійкість підстилаючих порід має співвідношення довжин сторін їх основ, що доведено

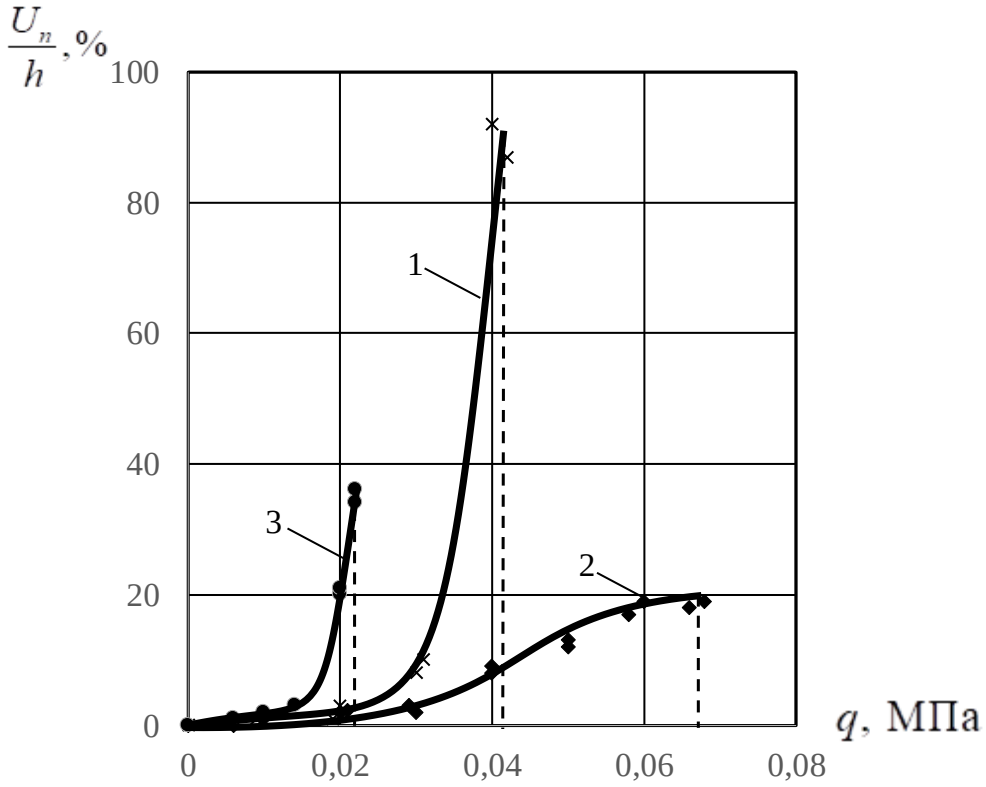


Рисунок 4.65 – Графіки залежності відносної величини підняття підстилаючих порід з-під охоронних споруд U_n/h від величини навантаження на них q (1, 2 – зміщення в умовних виробках, відповідно, поряд зі стрічковими смугами та з окремо розташованими опорами; 3 – зміщення в порожнинах)

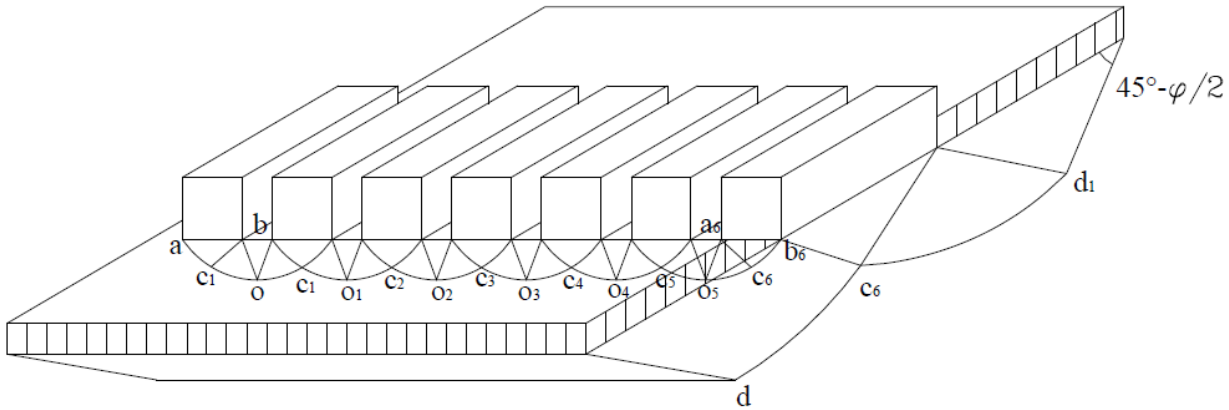


Рисунок 4.66 – Діаметрична схема граничного напружено-деформованого стану ґрунту основи за умови утворення аркового ефекту [377]

результатами експериментів щодо вдавлювання прямокутних та квадратних штампів у піщану основу [212].

Для встановлення параметрів опор та порожнин були відпрацьовані моделі, які були поділені на 3 сектори з різними співвідношеннями ширин опор та порожнин (рис. 4.64). Моделювалися умови, коли породи підошви були представлені піщаним сланцем міцністю на одновісний стиск 40 МПа. Навантаження на опори здійснювалося пневмобалонами, тиск у яких досягав 0,12 МПа.

Опори в моделях встановлювалися на всю їх товщину (0,16 м). Довжина опор c (рис. 4.62) складала 2,5h (де h – висота опор). Ширини опор у секторах кожної моделі складали 0,5h , 1,0h та 2,0h, а ширина компенсаційних порожнин у всіх секторах була прийнята 1,0h. Таким чином, співвідношення поперечних розмірів охоронних конструкцій і компенсаційних порожнин складало, відповідно, 1:2, 1:1 та 2:1.

Відпрацювання моделей дозволило визначити оптимальне співвідношення ширини опор і порожнин, при яких зсуви підстилаючих порід в порожнинах були найбільшими та коли досягається найефективніше переспрямування зусиль і зменшення зміщень у виробці. На рисунку 4.67 представлені графіки залежності зміщень підстилаючих порід підошви в компенсаційні порожнини від величини навантаження на опори при різних співвідношеннях розмірів опор і порожнин. З них випливає, що при ширині опори менше ширини порожнини $a<b$ (співвідношення 1:2), зсуви досягають величини 28% від висоти опори, після чого відбувається проколювання підошви; при $a>b$ (співвідношення 2:1) – зміщень майже не спостерігається, а при $a=b$ (співвідношення 1:1) – спостерігалися найбільші зсуви, які досягли 35 % від висоти опор. Оскільки розглядалась різна ширина опор при незмінній довжині, то були встановлені їх оптимальні співвідношення. Отримані результати дозволили обґрунтувати параметри нового запатентованого способу [182], а саме: опори у формі прямокутних паралелепіпедів, які своєю найбільшою

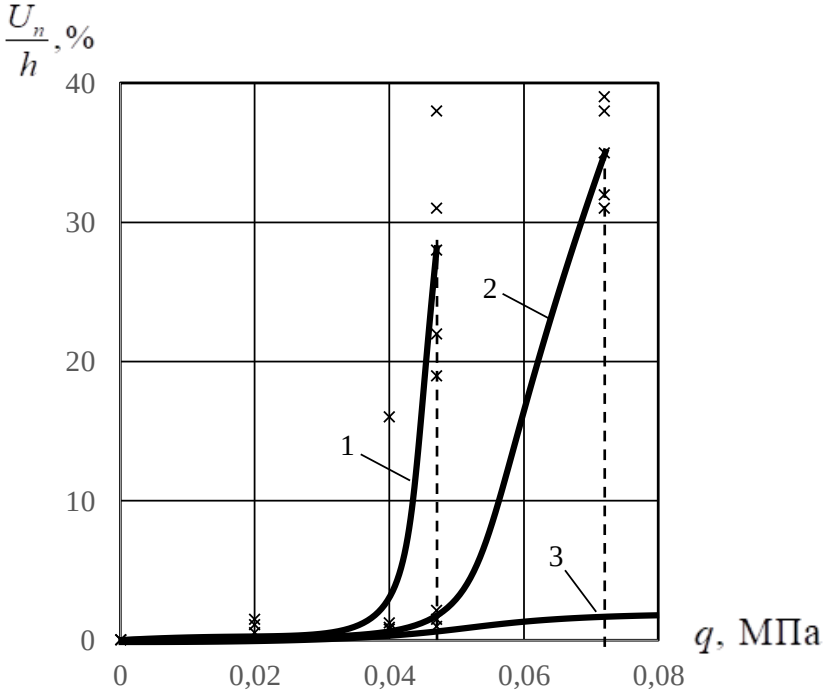


Рисунок 4.67 – Графіки залежності відносних зміщень порід в компенсаційні порожнини *U/h* (де *U*– величина видавлювання порід підошви, *h*– висота опор) від величини навантаження на опори *q* при різному співвідношенні розмірів опор і компенсаційних порожнин (1, 2 та 3 – відповідно, при співвідношенні 1:2, 1:1 та 2:1)

бічною гранню орієнтовані перпендикулярно осі виробки, мають бути зі співвідношенням довжини до ширини основи не менш ніж 2:1, а ширина компенсаційної порожнини має дорівнювати 0,5÷2,0 ширини основи паралелепіпеда, при цьому оптимальним є співвідношення ширини опори до ширини порожнини 1:1. При таких умовах може бути забезпечене підвищення ефективності охорони гірничих виробок від негативного впливу гірського тиску.

Ширина опори в даних умовах *b* визначається стійкістю даної конструкції та залежить від її висоти *h*. Для таких конструкцій це питання було досліджене при проектуванні смуг з швидкотвердіючих розчинів та газобетонних блоків. Для смуг з швидкотвердіючих розчинів критичним є співвідношення *b/h*=0,7 [133], а для смуг з газобетону – *b/h*=0,8 [179]. Також встановлено, що несуча здатність газобетонних конструкцій в позамежній області складає 70…80 % від

діючого навантаження при співвідношеннях *b/h*=1,0…1,5 [179]. Тому для спорудження охоронних споруд у формі прямокутних паралелепіпедів доцільним буде співвідношення *b/h*=1,0.

Ці результати лягли в основу дисертаційного дослідження [249], де обґрунтовувались параметри жорстких споруд з компенсаційними порожнинами, які були литими або збірними опорами з бетону, залізобетону, фосфогіпсу, напівблоків тощо.

Цей спосіб може бути реалізований з використанням в опорах рядової породи й обмежуючих поверхонь. Але дані опори схильні до обмеженого розширення у плані, тому складно забезпечити задані розміри та форму опор і порожнин. Тобто ці розміри мають прийматися у певних допустимих діапазонах. Таким чином, необхідне обґрунтування параметрів даної технології, але з використанням рядової породи й обмежуючих поверхонь в опорах.

Технічними рішеннями щодо створення відокремлених породних конструкцій з обмеженою піддатливістю можуть бути: бутові опори з горизонтальними перегородками, опори з мішків із породою, комбіновані породні конструкції з армуванням або без нього. Але основною принциповою відмінністю даних рішень від розглянутого способу [182], є неможливість створення прямокутника в основі. Наприклад, при армованих породних опорах на підстилаючі породи здійснюється навантаження на майданчик, який витягнутий в одному напрямку та нагадує за формою еліпс (рис. 4.33, 4.34). В інших породних конструкціях основи будуть з округлими формами, витягнутими в одному напрямку. Якщо при даних формах буде забезпечено переспрямування видавлюючих зусиль у компенсаційні порожнини та зменшення зміщень у виробку, то ці рішення можна вважати альтернативними способу з жорсткими опорами у формі паралелепіпедів. Але для цього необхідно довести, що найбільша частка переміщень з-під опор припадає на порожнини.

Для підтвердження доцільності відходу від кутових форм опор до округлих було проведено чисельне моделювання, при якому досліджувався

вплив опор різної форми [290] (рис. 4.68). У скінчено-елементних моделях розглядалися опори у формі трикутної, квадратної, п'ятикутної призм і циліндра, у яких основи мали однакові площі. Було побудовано дві моделі, які відрізнялися одна від одної тим, що в першій моделі були кутові опори, а в другій - округлі. У моделях на всі опори одночасно прикладалися однакові навантаження.

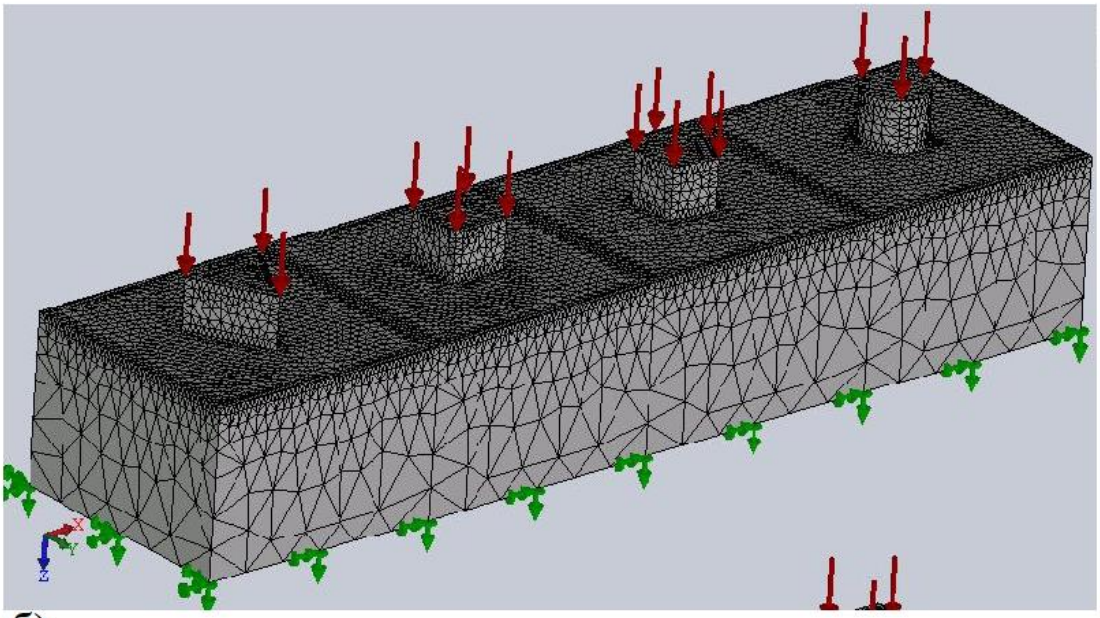
У результаті відробки моделей було встановлено, що у кутастих фігурах максимальні напруження виникали на контакті ребр і основи та вони у 2 рази перевищували напруження, що виникали в аналогічних місцях в округлених фігурах (рис. 4.69). Тобто, при округлих формах, пікові навантаження на підстилаючі породи були істотно меншими, оскільки в них були відсутні кути та виступи, під якими зосереджуються концентратори зсувних напружень. Але ці особливості не мали істотного впливу на підстилаючі породи, оскільки під опорами напруження розподілялися однаково й ізобари під ними були у формі півсфер (рис. 4.70). При застосуванні опор у формі паралелепіпедів ізобари мають форму витягнутих напівеліпсоїдів [249], що обумовлено прямокутною формою основ. Отримані результати дають право стверджувати, що під породними опорами з обмежуючими поверхнями, які в плані мають витягнуту форму, характер розташування ізобар буде таким, як і у паралелепіпеда [290].

Для визначення ширини породних опор з обмеженою піддатливістю та порожнин між ними скористаємося методом, коли напівсклепіння несучого склепіння розглядаються як криволінійні підпірні стінки, які під дією граничних навантажень визивають у породах підошви граничний напружено-деформований стан [377]. Тоді ширина порожнини $b_{пор.}$ може бути визначена з виразу

$$b_{пор.} = b_н \frac{8\left(tg\rho + \frac{C}{\sigma}\right)tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}\right)}{\left[2 - \left(tg\rho + \frac{C}{\sigma}\right)tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}\right)\right]^2}, \qquad (4.43)$$

де $b_н$ – ширина опори, м; σ– тиск на засіб охорони з боку порід покрівлі, МПа;

а)



б)

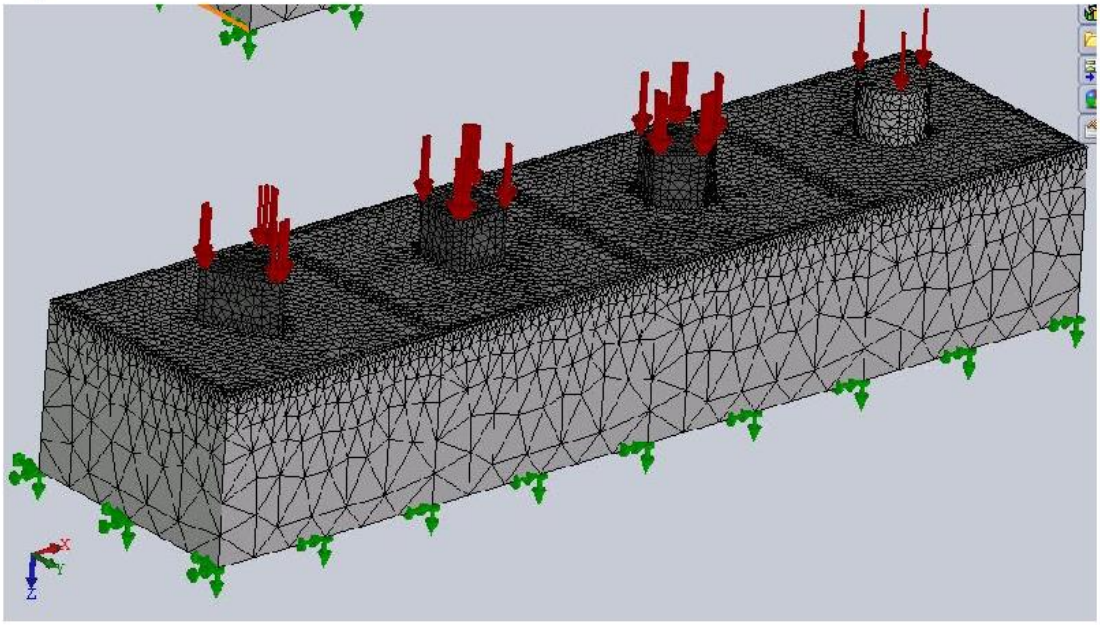


Рисунок 4.68 – Загальний вигляд чисельних моделей з кутовими (а) й округлими (б) опорами

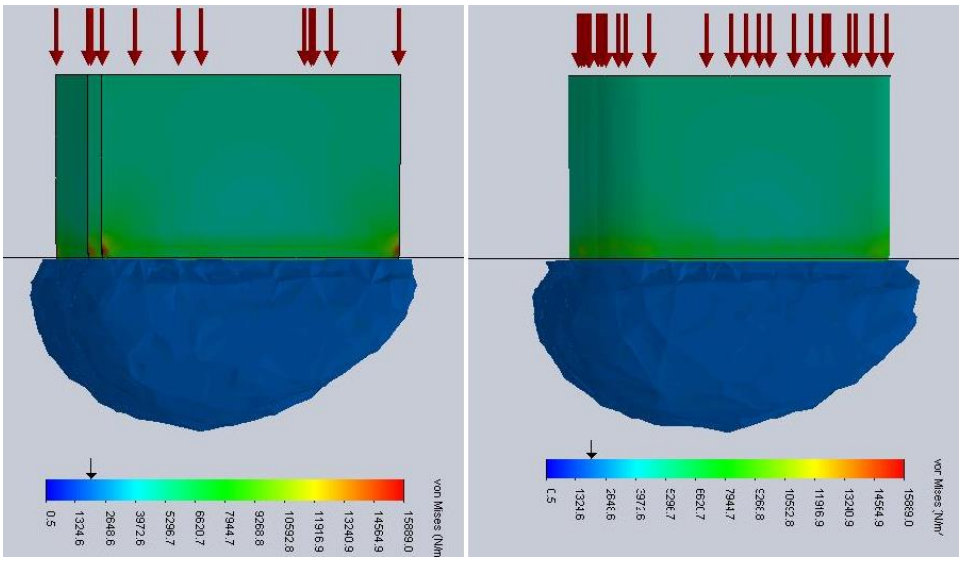
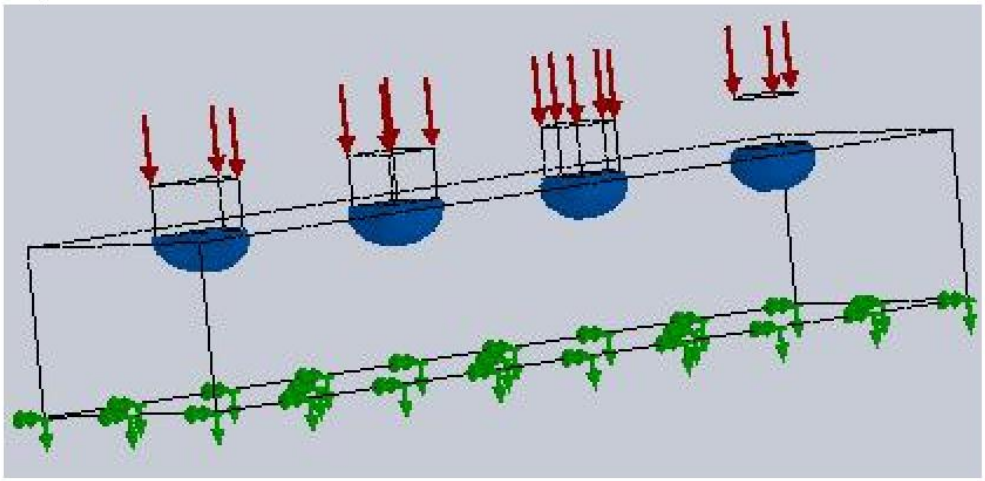


Рисунок 4.69 – Розподіл напружень у підстилаючих породах та трикутних опорах з кутовими та округлими ребрами

а)



б)

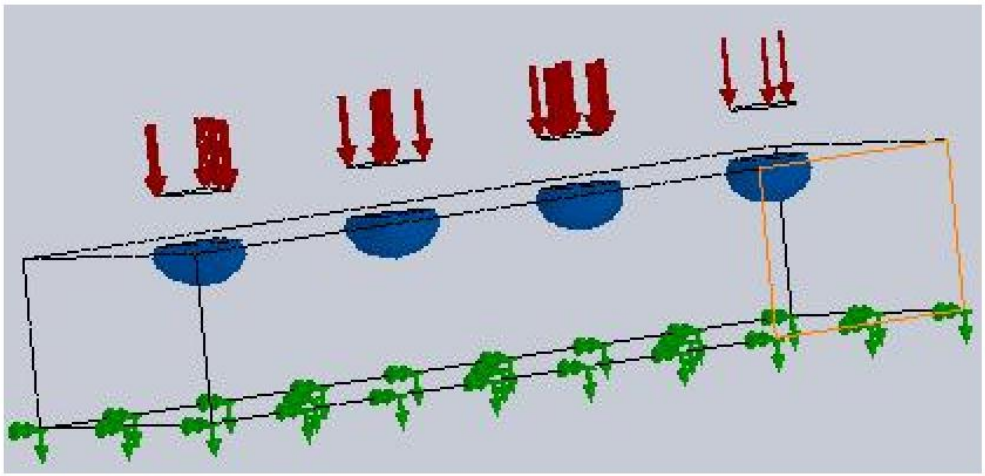


Рисунок 4.70 – Загальний вигляд ізобар під кутовими (а) й округлими (б) опорами в чисельних моделях

C – питоме зчеплення підстилаючих порід, МПа; ρ – кут внутрішнього тертя підстилаючих порід, град.

Оскільки навколо виробки зона зруйнованих порід представлена незв'язаним сипким середовищем, то співвідношення ширини порожнин до ширини породних опор може бути представлене, як

$$\frac{b_{пор.}}{b_н} = \frac{8tg\rho tg\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\rho}{2}\right)}{\left[2-tg\rho tg\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\rho}{2}\right)\right]^2}. \qquad (4.44)$$

У відповідності з виразом (4.44), отримаємо залежність співвідношення ширини порожнин до ширини породних опор від кута внутрішнього тертя підстилаючих порід, яка представлена на рисунку 4.71. Для умов перспективних вугленосних районів Донбасу, де кути внутрішнього тертя порід змінюється від 27 до 47° [351] співвідношення параметру $b_{пор.}$ до $b_н$ змінюється від 0,88 до 1,36 одиниць. Отримана залежність показала прийнятну розбіжність з результатами моделювання жорстких опор (рис. 4.65), яка дорівнює 4% (при ρ=30° $b_{пор.}$ / $b_н$= 0,96 та 1,0, відповідно, розрахункове та експериментальне).

Окрім розмірів порожнини важливе значення має співвідношення розмірів основи опори. В роботі [249] доведено, що максимальні розтягуючі напруження у підошві компенсаційних порожнин та мінімальні в підошвах виробок будуть при співвідношеннях сторін основ жорстких споруд у формі прямокутних паралелепіпедів не менше, ніж 1:2. Але ж глибина опори від виробки до виробленого простору має бути обмеженою, оскільки при перевищенні граничного співвідношення (1:7 - для фундаментів) їх відносять до стрічкових споруд, що може бути малоефективним та є причиною інтенсивних зсувів порід в напрямку виробки.

Враховуючи результати польових та лабораторних випробувань штампів [212], за якими було встановлено, що питомі значення несучої здатності основи

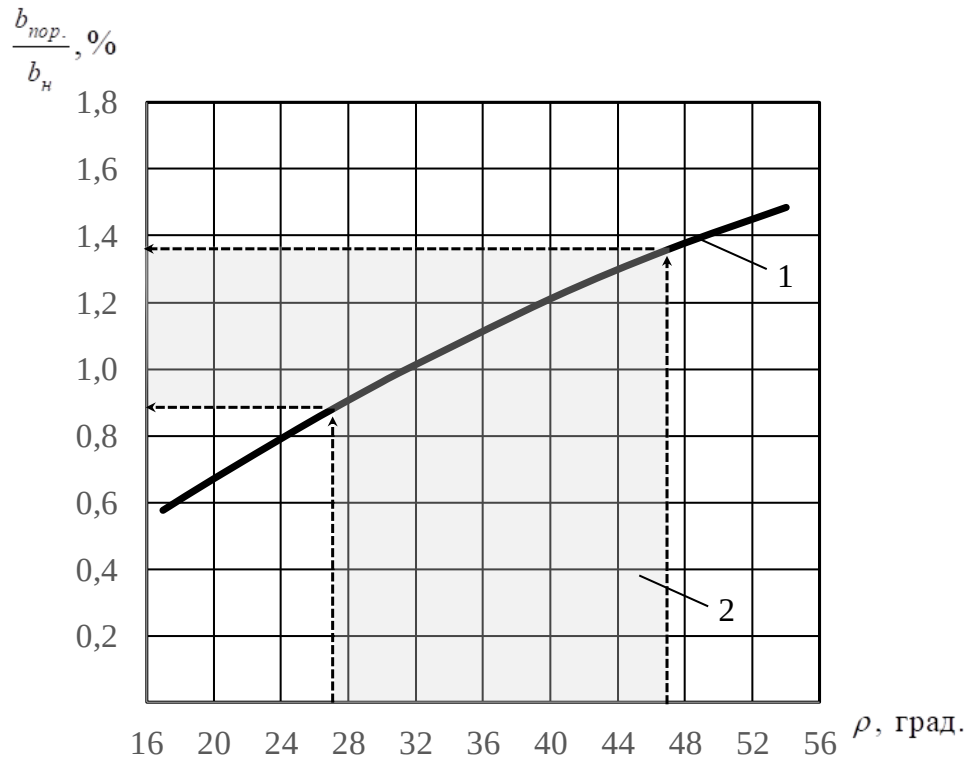


Рисунок 4.71 – Графік залежності співвідношення ширини порожнин до ширини породних опор $b_{пор.} / b_н$ від кута внутрішнього тертя підстилаючих порід ρ (1) та область визначення параметра $b_{пор.} / b_н$ для умов перспективних районів Донбасу (2)

збільшується від стрічкових штампів до квадратних (тобто максимальна стійкість основи під штампами забезпечується при співвідношенні сторін 1:1), бажано в основі штампам надавати форму близьку до квадрату. Але опори мають бути витягнуті перпендикулярно осі виробки для забезпечення перерозподілу видавлюючих зусиль у порожнини. Тобто висновки авторів робіт [249] та [212] дають контрарні результати, але їх поєднання може бути корисним при визначенні оптимальних розмірів охоронних споруд з компенсаційними порожнинами.

За результатами випробувань, наданими у роботі [212], встановлено залежність показника зменшення граничного навантаження на підстилаючі породи від співвідношення розмірів опори (рис. 4.72), з якої випливає, що при зміні співвідношення сторін штампа з 1:1 до 1:6 несуча здатність основи зменшується в середньому на 24 %, а при його зміні з 1:1 до 1:3 – на 10 % [290].

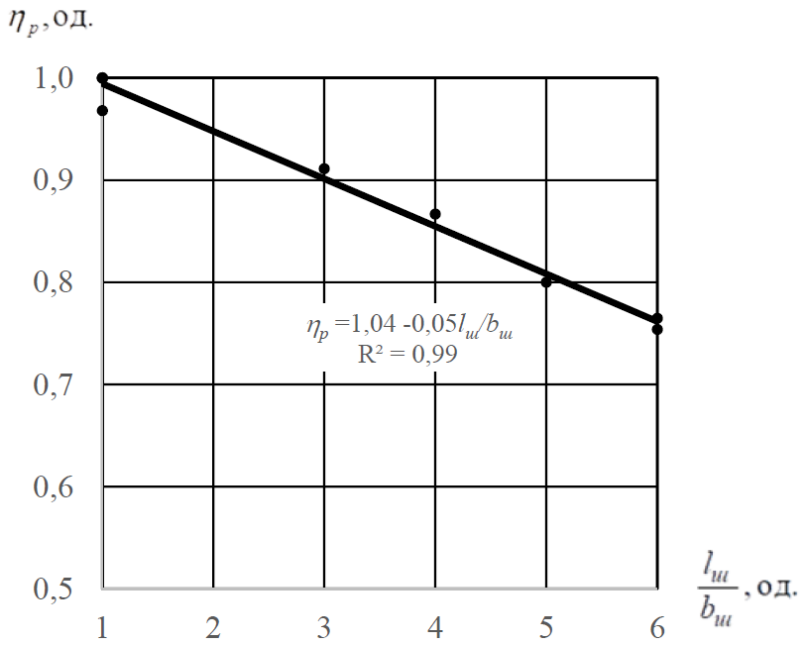


Рисунок 4.72 – Графік залежності показника зменшення граничного навантаження на підстилаючі породи η_p від співвідношення розмірів основи опори $l_ш/b_ш$

Якщо припустити 5-ти відсоткове зменшення несучої здатності підошви, яке необхідне для ініціювання видавлювання порід у порожнини, співвідношення сторін породних опор має бути у діапазоні від 1:2 до 1:3.

Ширина опори має визначати її стійкість при заданій висоті. Оскільки стійкість породної опори визначає довжина її найменшої сторони в основі, а для опор у формі прямокутних паралелепіпедів співвідношення ширини опори до висоти має дорівнювати 1,0, то для окремо розташованих опор з мішками з породою стійкість буде забезпечена при ширині не меншій за висоту, тобто $b/h \geq 1$, а для опор з сітчастими перегородками – ширина армованої породної опори на контакті з покрівлею визначатися виразом (4.30).

Тоді можна сформулювати рекомендації щодо параметрів породних охоронних споруд з компенсаційними порожнинами, а саме: для забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах слабких порід підошви доцільними є співвідношення ширини основи охоронних споруд до їх довжини у діапазоні від 1:2 до 1:3, при цьому їх ширина має бути не менше за висоту, а ширина

порожнини – має визначатися виразом (4.44) в залежності від кута внутрішнього тертя підстилаючих порід та ширини опор.

Такі параметри доцільні при спорудженні опор, які початково у плані мають форму прямокутника. Але можуть бути й інші рішення щодо створення опор зі спеціальними формами. Наприклад, в результаті моделювання була відзначена доцільність спорудження опор у формі трикутної призми (рис. 4.61), але з орієнтацією, коли вершина основи з найменшим кутом відносилась до виробки.

Спорудження конструкцій з різноманітними спеціальними формами та залишення порожнин дозволяє спрямовувати від виробки сили, що діють з боку масиву. Варто відзначити досвід охорони підготовчих виробок позаду лави вугільними ціликами у формі трикутних та трапецієподібних призм, коли забезпечувались сприятливі умови підтримання покрівлі на кінцевих ділянках лав і сполученнях. Такі рішення мали ряд недоліків, основні з яких це – втрата вугілля у ціликах та інтенсивні видавлювання підстилаючих порід у виробку. Ці видавлювання пояснюються неефективним розміщенням трикутних ціликів відносно виробки, коли вершина основи з найменшим кутом відносилась до виробленого простору. Для трапецієподібних призм причиною зміщень порід підошви у виробки також може бути неефективна орієнтація, але це потребує проведення додаткових досліджень.

Для вивчення механізму видавлювання слабких порід з-під охоронної конструкції трапецієподібної форми було здійснене чисельне моделювання за допомогою методу скінченних елементів [288, 371]. Для моделювання механічних процесів в гірських породах була створена модель, вигляд спереду якої показаний на рисунку 4.73. Моделювався породний масив *1* розміром 175×150×36 м, в якому передбачалося проведення гірничої виробки *2* та виймання вугільного пласту з одного боку від неї із залишенням на межі з виробленим простором *3* опор трапецієподібної форми *4*.

Вихідними даними для моделювання прийняті типові умови для глибоких шахт українського Донбасу, що відпрацьовують пласти пологого падіння [351]:

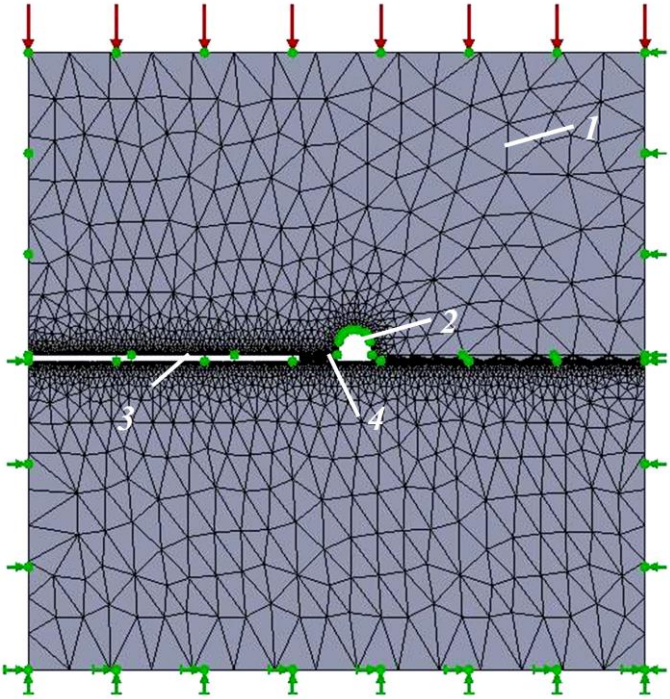


Рисунок 4.73 – Вигляд спереду скінчено-елементної моделі з трапецієподібними охоронними спорудами вздовж виробки

модуль пружності E=1,3×10^8 кг/м^2, об'ємна маса γ= 2,3 т/м^3, межі міцності на одновісний стиск і розтягнення склали, відповідно, σ_{cm}=24,5 МПа і σ_p=2,5 МПа, коефіцієнт Пуассона μ = 0,25.

При відпрацюванні моделі було встановлено, що при формі охоронних споруд у вигляді трапецієподібних призм з орієнтацією меншою бічною гранню до виробленого простору сили, що виникають під опорами, діють у напрямку виробки та компенсаційних порожнин (рис. 4.74). У виробку зміщення від дії опори поширювалися на відстань 0,43h (де h - висота трапеції, що знаходиться в основі опори). У напрямку виробленого простору зміщення поширюються на величину 0,08h. Виходячи з цього, можна зробити висновок про те, що даний спосіб не забезпечує необхідного технічного результату. Тобто при розміщенні ціликів у формі трапецієподібних призм вузькою бічною гранню до виробленого простору, а протилежною їй гранню до виробки в ній будуть спостерігатися інтенсивні зсуви порід підошви. Ці охоронні споруди працюють як штампи, під дією навантаження на верхню грань втрачають свою стійкість внаслідок

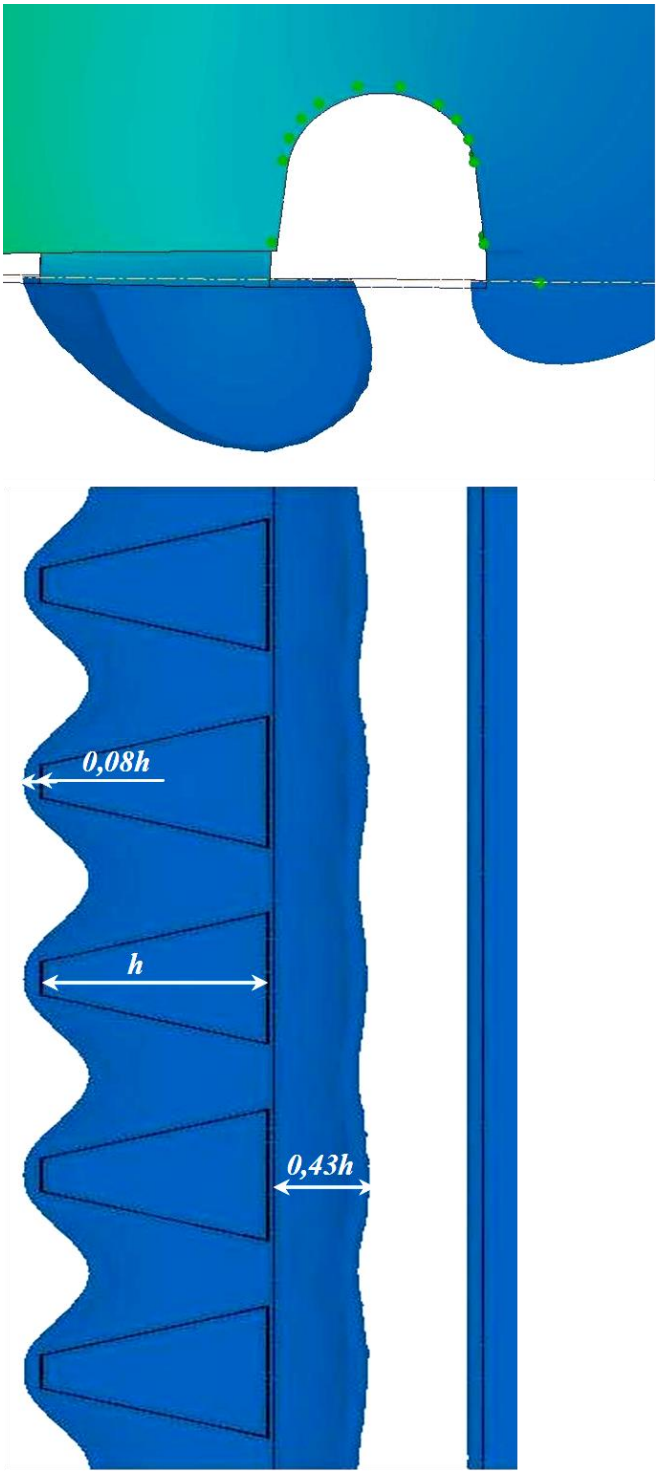


Рисунок 4.74 – Картина розподілу напружень навколо охоронних споруд у формі трапецієподібних призм

першочергового продавлювання своєю основою порід підошви з боку вужчої бічної грані, тим самим, спрямовують у сторону виробки підстилаючі породи. Тобто, з точки зору стійкості виробки, цілики мають розташовуватися вузької гранню до виробки, що дозволить переспрямувати зміщення у вироблений простір, але в цьому випадку виникнуть технологічні складнощі при веденні очисних робіт, пов'язані з неможливістю виносу приводу лавного конвеєра у виробку. Тобто застосовувана технологія доцільна біля сполучення з лавою, але неефективна позаду нього. Одним з рішень могло бути залишення тимчасових технологічних ціликів за шахтною технологією на ділянці, що відноситься до сполучення, із закладанням порожнин і подальшим вийманням ціликів. Тоді виникає необхідність в якісній закладці порожнин і забезпеченні стійкості породних опор, які повинні згодом виконувати функції штучних конструкцій для охорони виробки позаду лави. Ці конструкції після виймання ціликів будуть схожі на трапецієподібні призми та будуть орієнтовані меншою гранню до виробки, що й необхідно для зменшення зсувів порід підошви виробки та виключення подальших підривок при її експлуатації. Тоді основним завданням є створення стійких штучних опор, які будуть зберігати задану форму на межі між виробкою й виробленим простором.

Пропонується забезпечувати стійкість даних породних конструкцій застосуванням обмежуючих поверхонь, якими можуть бути сітчасті конструкції (рис. 4.75 а), мішки з породою (рис. 4.75 б) або породні опори (рис. 4.75 в), що оконтурені оболонкою. Але для підтвердження можливості забезпечення стійкості даних конструкцій необхідно проведення їх випробувань. Для цього було здійснене структурне моделювання [288].

З дотриманням умов подібності: геометричного, силового та механічних характеристик були підготовлені структурні моделі опор з рядової породи без обмежувальних елементів та з ними (рис. 4.76). Для створення опор у формі трапецієподібних призм вони попередньо поміщалися в опалубку. В їх основах була трапеція висотою 0,18 м з довжиною паралельних протилежних сторін 0,09

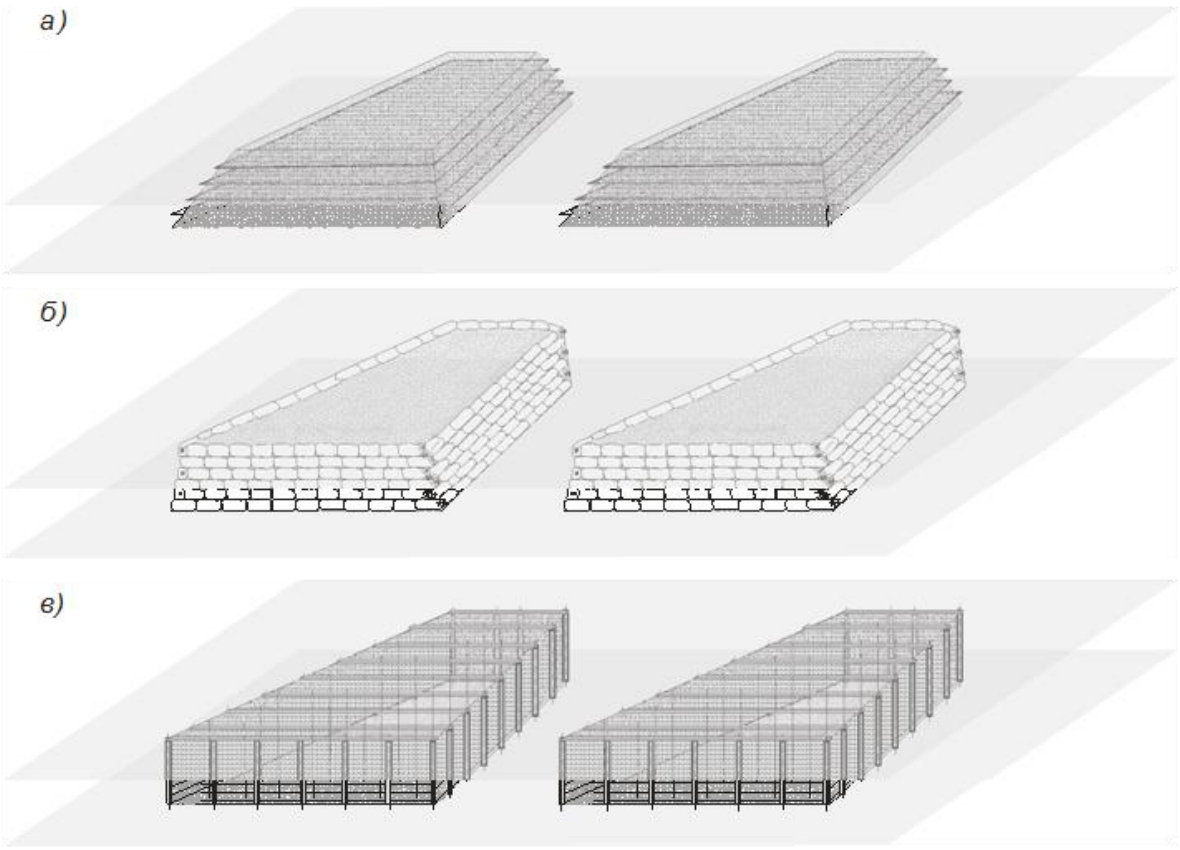


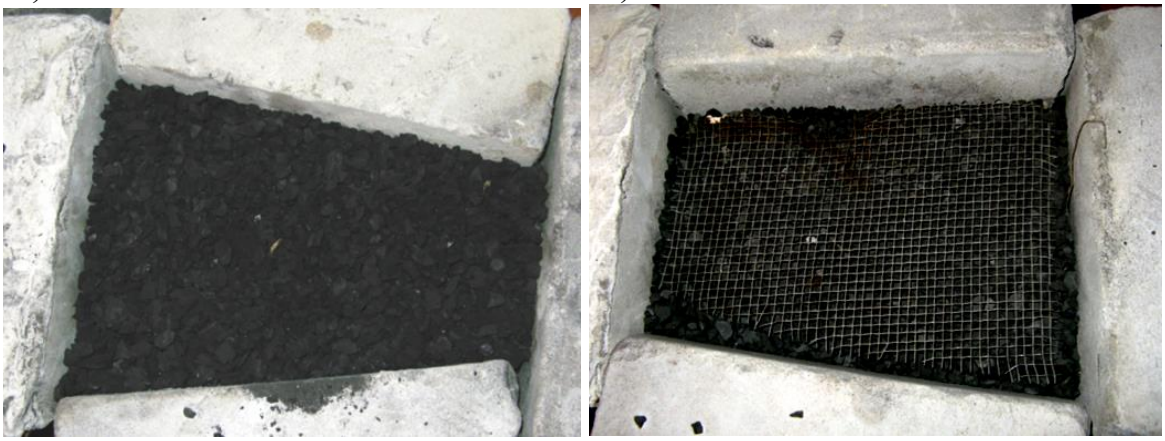
Рисунок 4.75 – Загальний вигляд породних конструкцій у формі трапецієподібних призм з обмежуючими поверхнями: а- металевими сітками, б-мішками, в- спеціальною оболонкою і дерев'яними стійками

та 0,18 м. Висота опор становила 0,087 м.

Однакові умови засипки даних об'ємів дозволили моделювати різні породні опори з однаковими щільнісними характеристиками. Був прийнятий масштаб моделювання 1:10. Таким чином, опори в переведенні на натуру, мали розмір 0,9×1,8×1,8×0,87 м. В опорах містилася порода з фракціями розміром 1÷10 мм (в натурі 0,01÷0,1 м).

У моделях з обмежуючими поверхнями здійснювалась: пошарова засипка породи з укладанням 3-ох металевих сіток між шарами (рис. 4.76 б); викладка стінок з тканинних мішків та заповнення породою внутрішнього об’єму (рис. 4.76 в); укладання поліетиленової стрічки та встановлення дерев'яних стійок по внутрішньому периметру опалубки з заповненням об’єму породою (рис. 4.76 г).

а) б)



в) г)

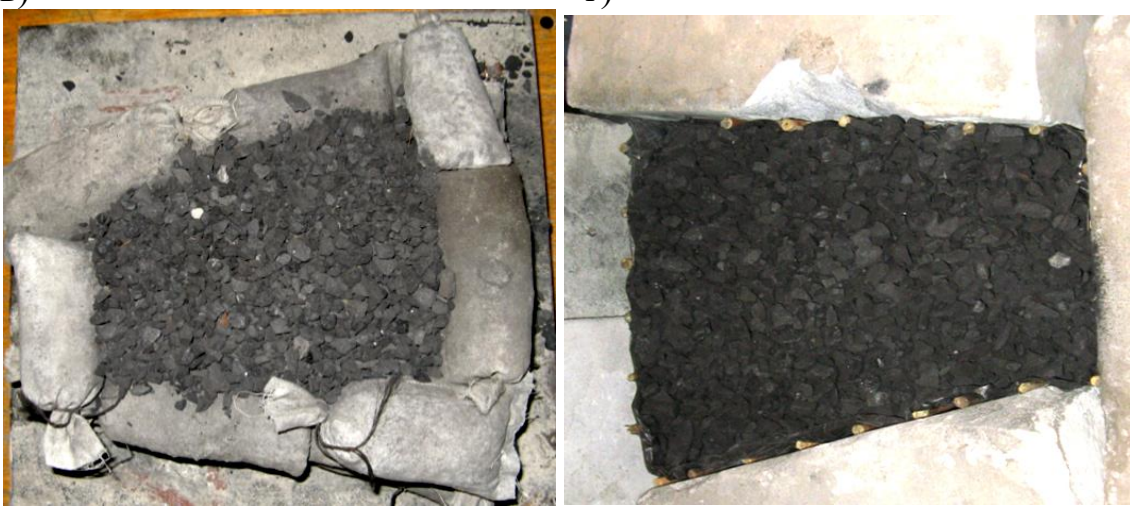


Рисунок 4.76 – Загальний вигляд трапецієподібних породних конструкцій у момент їх спорудження (а – звичайна насипка без обмежуючих поверхонь, б – породна опора з сітчастими перегородками, в – комбінована опора з насипкою, яка оконтурена мішками з породою, г – породна насипка, оконтурена оболонкою)

Після знімання опалубки породні конструкції поетапно навантажувались силами до 14 кН з періодичної фіксацією висоти опор. Відпрацювання моделей (рис. 4.77) дозволило отримати результати, які можуть бути основою для розробки ефективних способів охорони виробок і обґрунтування їх параметрів (рис. 4.78-4.82).

Встановлено, що під дією навантаження породний об’єм при різних конструкціях деформується неоднаково, причому найменша піддатливість була



Рисунок 4.77 – Загальний вигляд моделей породних конструкцій перед відпрацюванням



вид зверху після навантаження

Рисунок 4.78 – Загальний вигляд породного об’єму без обмежуючих поверхонь



Рисунок 4.79 – Загальний вигляд породної опори, яка армована металевими сітками

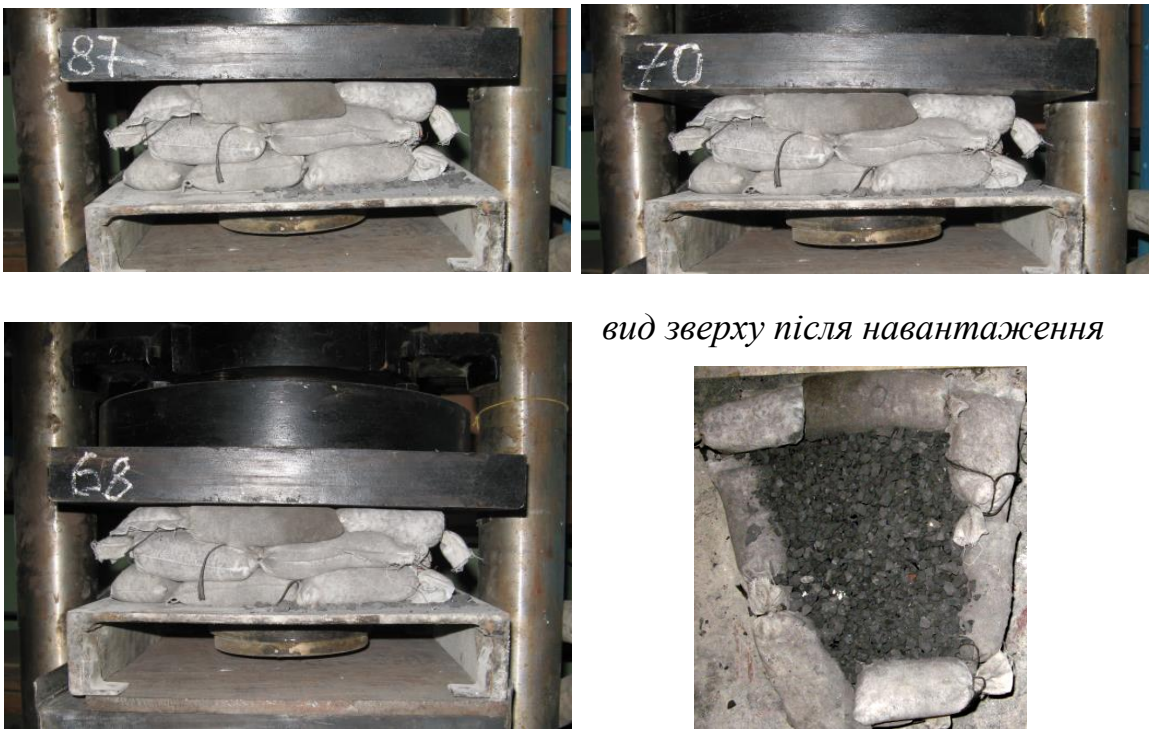


Рисунок 4.80 – Загальний вигляд породної опори зі стінками з мішків

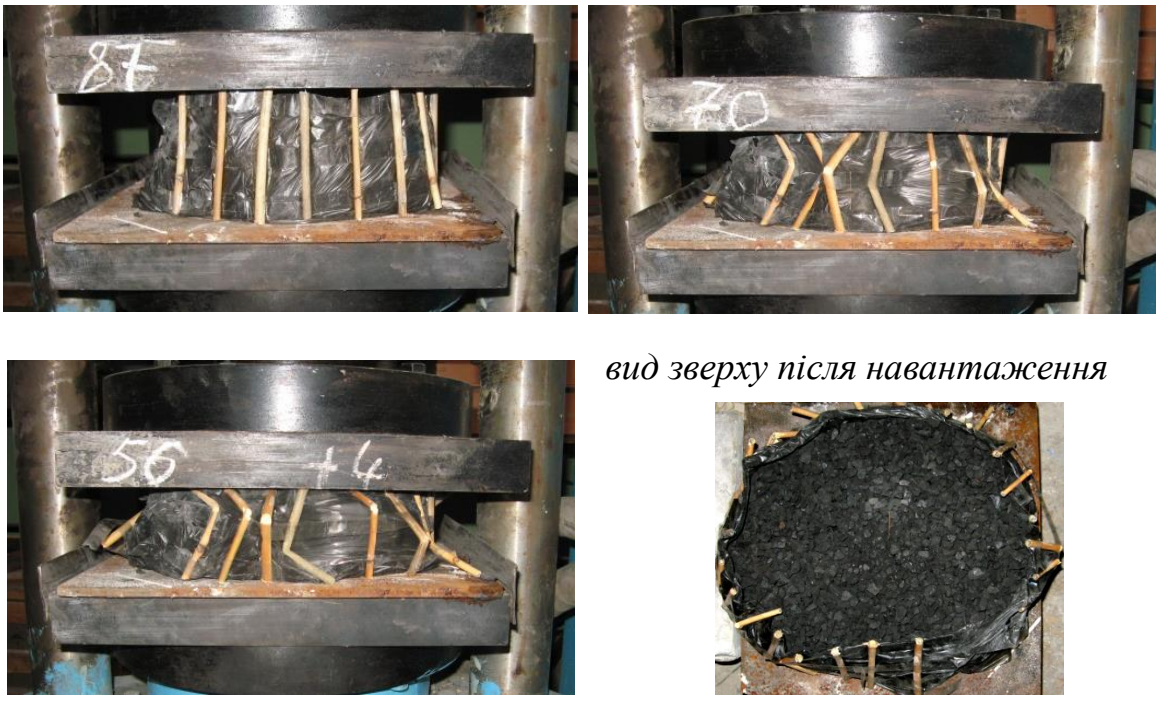


Рисунок 4.81 – Загальний вигляд породного об’єму, який обмежений стрічкою та дерев’яними стійками

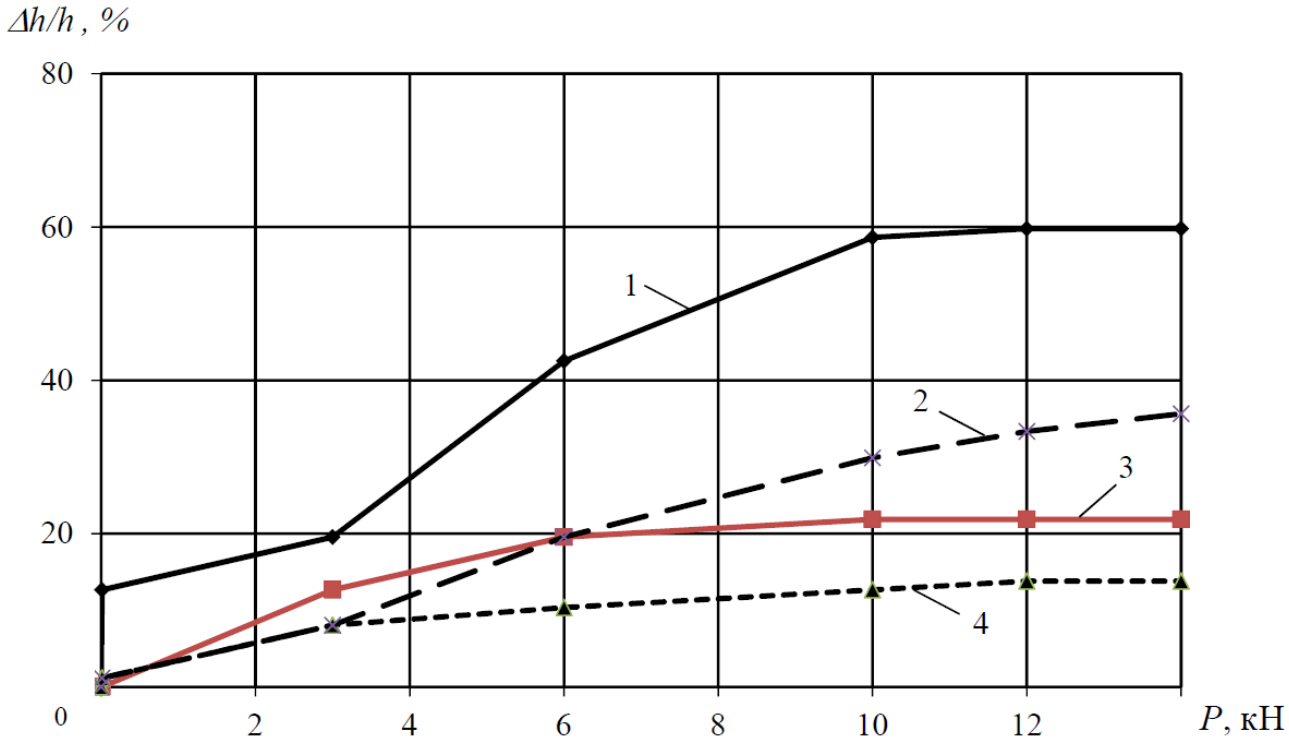


Рисунок 4.82 – Графіки залежності відносної усадки випробовуваних охоронних споруд від величини навантаження на них (для конструкцій: 1 – без обмежуючих поверхонь; 2, 3 та 4 – відповідно, в оболонці, посилених мішками та армованих сітками)

відзначена при укладанні металевих сіток, а найбільша – без обмежуючих елементів. Якщо говорити про конструкції з обмежуючими поверхнями, то більш піддатливою була конструкція з оболонкою та дерев'яними стійками (рис. 4.82).

В об'ємі без обмежуючих поверхонь усадка склала 60%, при цьому породна насипка рівномірно розподілилася у різні боки та не зберігала своєї первісної форми в основі (рис. 4.78). Ця конструкція отримала найбільшу усадку вже при навантаженні 10 кН, після чого її деформації повністю припинилася та вона була подібна жорсткій охоронній споруді. У конструкції, яка оконтурена стрічкою та стійками, величина усадки була у 1,7 рази менше (рис. 4.82) та склала 36%. Її основа після випробування прийняла форму овалу (рис. 4.81). Швидкість усадки конструкції була практично постійною та затухання зсувів не відзначалося, тому подальше збільшення величини навантаження могло супроводжуватися подальшою усадкою.

Конструкції з мішками та сітками після навантаження зберігали у основах явно виражені форми трапеції (рис. 4.79, 4.80), а їх усадка становила 22 і 14 % (рис. 4.82), відповідно. При випробуваннях конструкцій з металевими сітками відбувалася їх пошарова усадка та висипання породних часток з периферійних зон по периметру кожного шару (рис. 4.79). Проте, ця конструкція забезпечила найбільший опір навантаженням. Спорудження конструкцій зі стінками з мішків та породою дозволило створити досить стійкі опори (рис. 4.80), але з огляду на те, що всередині них була порода у вільній насипці, а матеріал у мішках попередньо не ущільнювався, то на початковому етапі відбувалася їх інтенсивна усадка (до 20% від початкової висоти), після чого мало місце уповільнення зсувів і повне затухання при піддатливості 22% (рис. 4.82).

Таким чином, використання у опорах з рядової породи обмежуючих поверхонь дозволяє забезпечити стійкі відокремленні породо-несучі конструкції, які зберігають форму та застосування яких може забезпечити опускання покрівлі до 14-22%, що позитивно позначиться на стійкості виробки, яку вони охороняють.

Узагальнюючи результати чисельних моделювань та лабораторних випробувань окремо розташованих опор у формі прямокутних паралелепіпедів та трапецієподібних призм, можна сформулювати умови щодо визначення параметрів охоронних споруд у формі трапецієподібних призм з компенсаційними порожнинами. Зокрема, стійкість таких опор визначається шириною їх вужчої грані, яка має дорівнювати висоті опори, ширина компенсаційних порожнин визначається в залежності від кута внутрішнього тертя підстилаючих порід та ширини вужчої грані, а глибина порожнини, яка дорівнює довжині опори, має перевищувати ширину вужчої грані у 2…3 рази. Для опор у формі трапецієподібних призм, які споруджуються з рядової та обмежуючих елементів, зберігається орієнтація вужчою бічною гранню до виробки. Розміри таких опор мають визначатися шириною вузької бічної грані, яка знаходиться поряд з виробкою і має дорівнювати, або бути більшою за висоту опори. Ширина порожнини у найвужчому місці має дорівнювати або дещо перевищувати ширину вузької грані, а її глибина – перевищувати ширину цієї грані у 2…3 рази.

Позитивні результати випробувань моделей з металевими сітками пояснюються тим, що при пошаровому укладанні сітчастих конструкцій з міцного матеріалу збільшується зчеплення у охоронній споруді за рахунок застрявання породних частинок у чарунках сітки. Також за рахунок здатності поверхонь змінювати форму у залежності від нерівностей породного об’єму збільшується площа їх контакту з породними фракціями.

Ефективність застосування стінок з мішків пояснюється тим, що породний об'єм приймає навантаження від масиву, що нависає, за рахунок перепакування та ущільнення породних часток, які обмежені підпірними стінками з мішків. Тобто усередині конструкції утворюється ущільнений об'єм, який має обмежену піддатливість і здатний протистояти діючим навантаженням.

Конструкції з пошарово укладеними перегородками з сітчастого матеріалу або стінками з мішків по периметру споруди можна розглядати, як

штучні засоби охорони, що можуть зберігати задану стійку форму та застосовуватися для охорони підготовчих виробок позаду очисного вибою. Для збільшення жорсткості ці рішення можуть бути поєднанні в одну конструкцію з армування насипок зі стінками з мішків. Таким чином, породними конструкціями з обмежуючими поверхнями можна створити опори схожі на трапецієподібні призми, а за рахунок їх спеціального розміщення відносно виробок можна забезпечити утримання порід покрівлі, переспрямувати сили у компенсаційні порожнини та вироблений простір.

Висновки до розділу 4

1. Досліджено на фізичних моделях особливості розподілу напружень в спорудах з рядової породи та аналітично встановлено, що: по висоті (від покрівлі до підошви насипки) та ширині (від центру до країв) їх величини експоненційно зменшуються; їх несуча здатність зменшується зі зменшенням ширини або збільшенням висоти; рівновага в геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» може бути забезпечена зменшенням горизонтальних переміщень за рахунок прикладання бічного опору або збільшення сил тертя.

2. Підтверджена ефективність використання в породних смугах та опорах у якості обмежуючих елементів армуючих сітчастих перегородок, які на початковій стадії їх навантаження сприяють самозаклинюванню породних частинок, не допускають розширення опор в момент формування несучих ядер та суттєво змінюють навантажувально-деформаційні характеристики споруд. Зокрема, у конструкціях з перегородками виникають напруження, які в 1,1-1,5 рази більші за напруження в конструкціях без них, а загальні зсуви зменшуються у 1,73 рази.

3. Встановлено, що основними параметрами, які визначають ефективність використання сітчастих перегородок у спорудах з рядової породи, при яких забезпечується обмеження піддатливості до 16 %, є: ширина та висота

конструкції, розмір чарунок у перегородках, міцність арматури (волокон) на розтягнення, кількість перегородок по висоті споруди та кута внутрішнього тертя порід. При цьому необхідно керуватися такими рекомендаціями:

- розмір чарунок сітчастої перегородки має складати від 2,2 до 5-ти діаметрів максимальних шматків породи у конструкції та не більше 8-ми діаметрів стрижнів;
- міцність арматури або волокон на розтягнення має порівнюватись з максимальними напруженнями у перегородці, що визначаються величиною навантаження на засіб охорони, діаметрами арматури (волокон) та максимальних шматків породи, а також відносною деформацією видовження арматури (волокон);
- ширина армованих породних смуг має у 3…6 разів перевищувати їх висоту незалежно від розміру фракцій;
- кількість перегородок по висоті окремо розташованої породної опори визначається за встановленими експоненціальними залежностями для заданих величин усадки або розширення споруд;
- стійкість окремо розташованої опори визначається шириною її вужчої сторони.

4. Встановлено, що обмежити до 16-17 % піддатливість охоронних конструкцій зі стінок з мішків, заповнених породою, можна за рахунок їх ущільнення, що забезпечується зменшенням пустотності сипкої породи у мішках до 28-29 %, яка визначається на основі встановленої лінійної залежності за величиною відносної усадки кожного мішка.

5. Зменшити піддатливість засобу охорони до 8 % з обмеженим об’ємом використовуваної породи можна застосуванням комбінованих споруд, конструкція яких складається зі стінок з мішків та породної смуги, що армована сітчастими перегородками. Для цього достатньо спорудити конструкцію, сумарна ширина якої у 3,5 рази перевищує її висоту.

6. Забезпечення стійкості виробки позаду очисного вибою досягається перерозподілом напружень у системі «засіб охорони-бічні породи» та спрямуванням видавлюючих зусиль від виробки використанням окремо розташованих охоронних конструкцій зі спеціальними формами та залишенням між ними компенсаційних порожнин. Для забезпечення піддатливості від 14 до 22 % дані конструкції мають бути у формі прямокутних паралелепіпедів або трапецієподібних призм, які для зменшення вартості реалізації можуть споруджуватись, як опори відповідної форми з рядової породи та обмежуючих елементів (сітчастих перегородок або стінок з мішків із породою), параметри яких визначаються за встановленими емпіричними залежностями. При цьому необхідно керуватися такими рекомендаціями:

- опори з рядової породи та обмежуючих елементів у формі прямокутних паралелепіпедів мають бути орієнтовані більшим розміром основи у напрямку, який перпендикулярний повздовжній осі виробки. В умовах слабких порід підошви доцільною є ширина вужчої грані паралелепіпеду має дорівнювати висоті опори, а співвідношення ширини таких опор у плані до їх довжини має бути у діапазоні від 1:2 до 1:3, а ширина компенсаційних порожнин між ними визначається в залежності від ширини вузької грані та кута внутрішнього тертя підстилаючих порід. Для умов перспективних вугленосних районів Донбасу, при кутах внутрішнього тертя порід від 27 до 47°, ширина порожнин має складати від 88 до 136 % від ширини опор;
- опори з рядової породи та обмежуючих елементів у формі призм, в основі яких знаходиться трапеція, мають бути орієнтовані вужчою бічною гранню до виробки, а протилежною ширшою гранню, яка їй паралельна –до виробленого простору. Розміри таких опор мають визначатися шириною вузької бічної грані, яка знаходиться поряд з виробкою і має дорівнювати, або бути більшою за висоту опори. Ширина порожнини у найвужчому місці має дорівнювати або дещо перевищувати ширину вузької грані, а її глибина – перевищувати ширину цієї грані у 2…3 рази.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК В УМОВАХ СЛАБКИХ БІЧНИХ ПОРІД. ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1 Розробка методики вибору та визначення параметрів технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід

Під технологіями охорони гірничих виробок розуміється сукупність прийомів та способів при застосуванні заходів забезпечення стійкості виробок, до яких відносяться способи та засоби охорони. При виборі способів і засобів охорони рекомендується методологічний підхід, який може використовуватись у конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах. В його основу покладено: поетапний, консеквентний пошук існуючих або нових технічних рішень, їх систематизація, інтеграція й узагальнення, а також визначення витрат на їх реалізацію і, як результат, отримання оптимальної технології для забезпечення експлуатаційного стану виробки. Даний підхід був реалізований науковим колективом в алгоритмі, який наведений у роботах [193, 250]. Але він потребує вдосконалення, оскільки економічне та технологічне порівняння способів охорони поєднані у спільних блоках, в результаті чого до визначається економічна ефективність навіть тих рішень, які пройшли контроль експлуатаційного стану виробки та признані технологічно недоцільними. Крім того, не визначено на якому етапі має бути визначено раціональну технологію. Тому запропоновано алгоритм, що складається з блоків аналізу та перебору параметрів можливих технологічних рішень з їх економічним порівнянням на проміжних етапах для отримання у підсумку менш витратних технології охорони та визначення серед них раціонального варіанту (рис. 5.1).

На початку алгоритму здійснюється ретельний збір даних про гірничотехнічні та гірничо-геологічні умови, розглядається досвід охорони

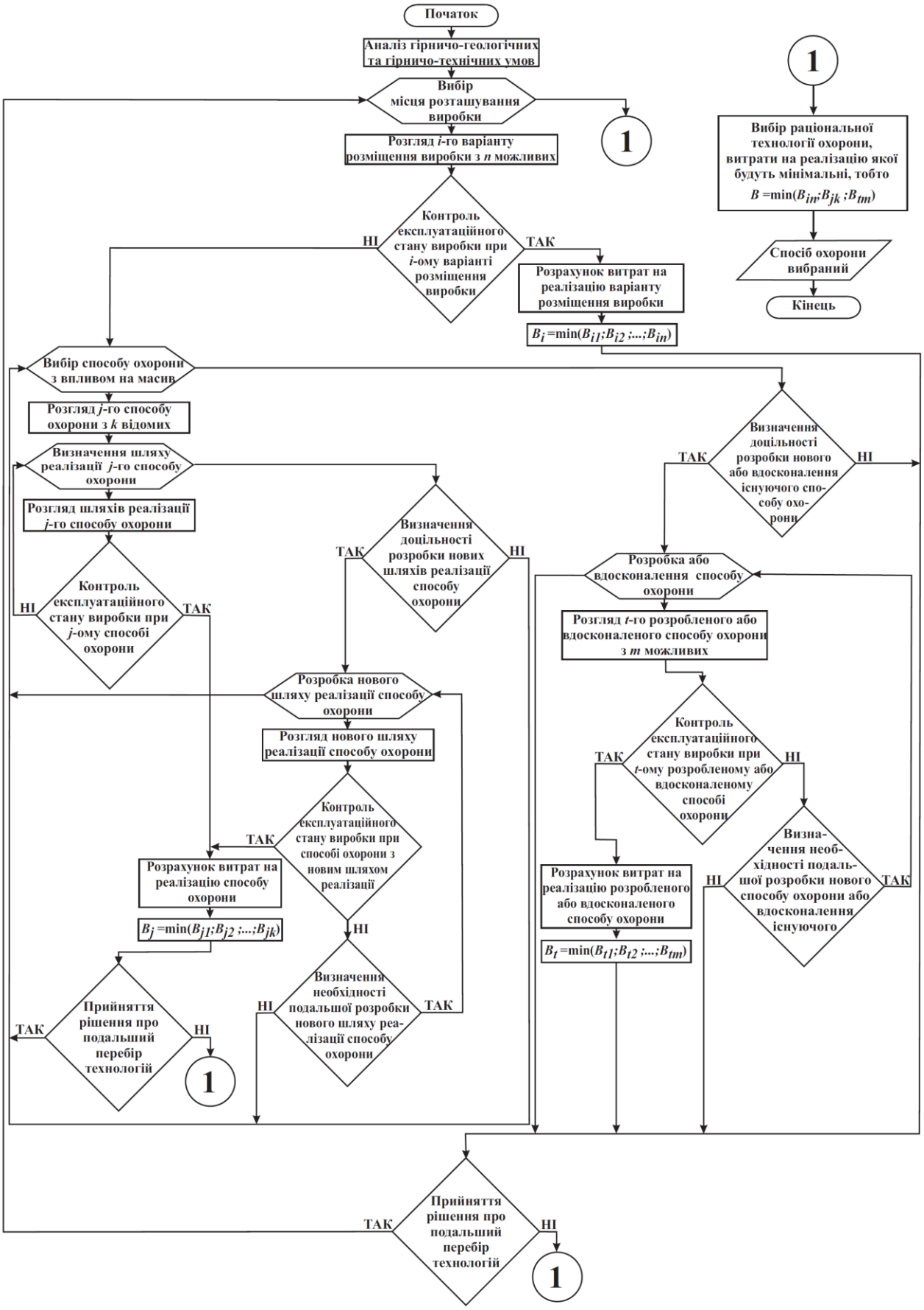


Рисунок 5.1 – Блок-схема до вибору технології охорони виробки

подібних виробок. Після того, як були зібрані необхідні дані, здійснюється поетапний вибір технології охорони.

На першому етапі вибирається місце розташування виробки щодо пласта та меж виробленого простору. На цьому ж етапі обґрунтовується необхідність розміщення виробки відносно очисного вибою (в масиві вугілля, між виробленим простором і масивом, між виробленими просторами тощо).

Після вибору варіанту розташування виробки виконується контроль (спостереження та перевірка) її експлуатаційного стану розрахунково (з використанням існуючих методик вибору способів та засобів охорони підготовчих виробок [348, 372]), лабораторними або натурними методами. Якщо результати контролю вказують на те, що експлуатаційний стан забезпечується, визначаються витрати на реалізацію технології охорони з поточним варіантом розташування виробки. Потім здійснюється розгляд наступного варіанту розташування з визначенням витрат при позитивному контролі експлуатаційного стану, які порівнюються з попереднім варіантом. З них обирається менш витратний. Далі цикл повторюються. З декількох варіантів розташування виробки визначається раціональний з виразу

$$B_i = \min(B_{i1}; B_{i2}; ...; B_{in}), \qquad (5.1)$$

де B_i– витрати на реалізацію раціональної технології охорони з ефективним розташуванням виробки, грн.; $i1 \ldots in$ – відомі варіанти розташування виробки, при яких забезпечується її експлуатаційний стан.

Якщо при певних варіантах розташування виробки неможливо забезпечити експлуатаційний стан, посил йде на цикл «Вибір способів охорони з впливом на масив», де розглядаються можливі способи при поточному розташуванні. У цьому циклі здійснюється перебір відомих способів охорони та шляхів їх реалізації. Відсутність шляхів реалізації не означає завершення алгоритму, оскільки може розглядатися умова визначення доцільності розробки нових шляхів реалізації

відомого способу охорони або перехід до блоку щодо визначення доцільності розробки нового способу охорони або удосконалення існуючого. Варто відзначити, що розробка нового способу на порядок складніша за розробку шляхів реалізації відомого та вимагає набагато більших витрат часу, праці та застосування доволі складних наукомістких операцій. Але, як перше, так і друге рішення приймаються на основі аналізу недоліків та переваг відомих способів. Розглядається можливість поєднання переваг у одній або кількох комбінаціях та оцінюється доцільність реалізації інновації. У першому та другому випадках за циклом здійснюється визначення параметрів, контроль експлуатаційного стану виробки при відповідній комбінації способу зі шляхом його реалізації та визначення витрат при позитивному контролі. Ці цикли можуть бути будь-коли зупинені, якщо буде знайдено новий шлях реалізації відомого способу, вдосконалено відомий або розроблено новий, які дозволять забезпечити експлуатаційний стан виробки з визначеними витратами.

При розгляді способів охорони з можливими шляхами їх реалізації здійснюється вибір раціональних варіантів за виразами:

$$B_j = \min(B_{j1}; B_{j2}; ...; B_{j\text{k}}), \tag{5.2}$$

$$B_t = \min(B_{t1}; B_{t2}; ...; B_{t\text{m}}), \tag{5.3}$$

де B_j та B_t – витрати на реалізацію раціональних способів охорони, відповідно, відомого та нового (вдосконаленого), грн.; $j1 \ldots j\text{k}$ – відомі способи охорони виробки, при яких забезпечується її експлуатаційний стан; $t1 \ldots t\text{m}$ – нові та вдосконаленні способи охорони, при яких забезпечується її експлуатаційний стан.

Якщо при поетапному виконанні алгоритму з визначеним розміщенням виробки не знайдено доцільного варіанту охорони, то відбувається повернення до блоку «Вибір місця розташування виробки» з подальшим аналізом альтернативного варіанту розташування та повторенням для цього варіанту всього алгоритму з вибору способу та шляхів його реалізації.

У будь-якому випадку алгоритм завершується вибором раціональної технології, при якій забезпечується експлуатаційний стан виробки за рахунок вибраного розташування та способу охорони. Для цього використовується вираз

$$B = \min(B_{in}; B_{jk}; B_{tm}). \quad (5.4)$$

Загальними ознаками способів і засобів управління стійкістю виробок вважаються [229]: їх взаємодія з масивом гірських порід навколо виробки (активні та пасивні); масштаб їх впливу на масив (регіональні та локальні); їх спрямованість впливу на стан масиву (зі зміною міцності порід та зі зміною напружено-деформованого стану (НДС) порід). Ці ознаки можна використати для розробки класифікації способів охорони підготовчих виробок, що передбачають вплив на навколишній масив. Пасивні та активні способи охорони поділяються на локальні та регіональні, які передбачають зміну НДС навколишніх порід або їх міцності. Регіональні способи реалізуються по всій довжині виробки та впливають на характер деформування її контуру, локальні – реалізуються на обмежених ділянках навколишнього масиву для зменшення зміщень на окремих ділянках контуру. Розподіл заходів, які будуть реалізовуватись безпосередньо у виробці та навколо неї, пропонується здійснити за класифікаційною ознакою «за сутністю реалізації технологій охорони виробки», оскільки кожен із заходів на нижньому рівні передбачає виконання певного індивідуального набору технологічних операцій для досягнення загального результату – забезпечення стійкості виробки. Пропонована класифікація наведена на рисунку 5.2.

З наведених способів охорони, що передбачають вплив на навколишній масив (рис. 5.2), тільки один є обов’язковим, оскільки має реалізовуватись при визначених умовах підтримання виробки. Так, в умовах підтримання виробок позаду лави, є обов’язковою наявність засобу охорони на межі з виробленим простором для утримання нависаючих порід, які втратили опору при вийманні корисної копалини. Цей захід відноситься до етапу експлуатації виробки та є

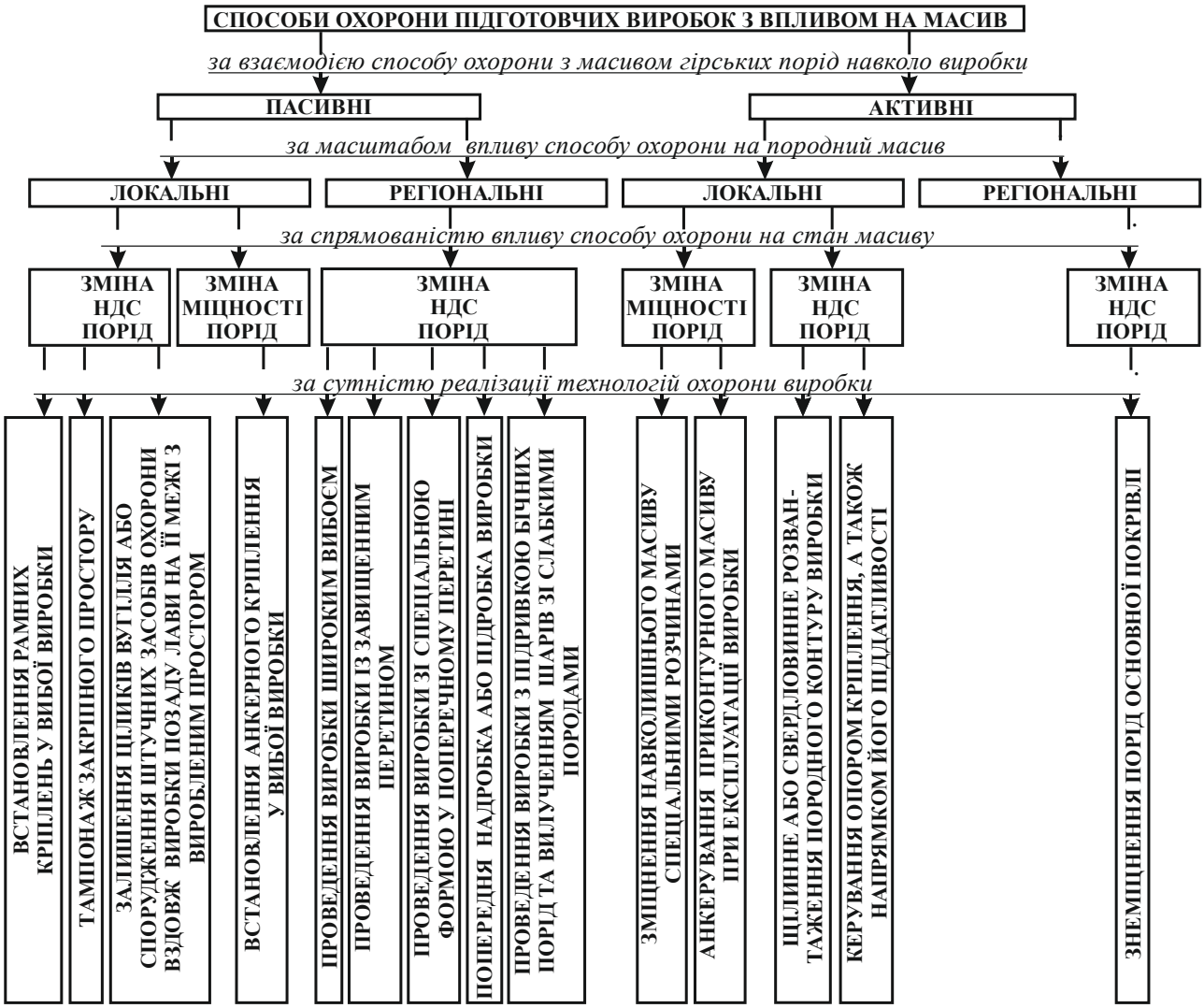


Рисунок 5.2 – Класифікація способів охорони підготовчих виробок, що передбачають вплив на навколишній масив

невід'ємною частиною технологічної схеми ведення очисних робіт.

Ідея розробки технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід полягає у створенні ресурсозберігаючих заходів і засобів охорони позаду очисних вибоїв, які забезпечують збереження експлуатаційного та безпечного стану виробок управлінням напружено-деформованим станом у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи». Це може бути досягнуто спільним застосуванням засобів охорони з обмеженою піддатливістю та локальних укріплених зон у примикаючому породному масиві або застосуванням

охоронних споруд зі спеціальними конструктивними особливостями. Для цього необхідна розробка нових економічно доцільних рішень.

Вибору засобу охорони та визначенню його прийнятних конструктивних особливостей має передувати їх аналіз (рис. 5.3). По-перше, розглядається основний матеріал охоронної конструкції, з якого вона може бути споруджена. По-друге, аналізуються можливі варіанти засобів охорони, особливо ті, які рекомендуються галузевим документом [348]. Також в аналіз включаються альтернативні рішення, які можуть бути впроваджені у даних умовах. По-третє, означені варіанти засобів охорони розглядаються на предмет можливості застосування в умовах слабких бічних порід, причому для порід покрівлі вимоги менш жорсткі, ніж для підошви, оскільки стійкість охоронних споруд залежить від міцності підстилаючих порід. Кількість засобів охорони, які без додаткових заходів можуть використовуватись в умовах слабких порід підошви, обмежена та вони не завжди дозволяють забезпечити безремонтний стан виробки, яка охороняється. Тоді розглядається можливість використання додаткових заходів, які передбачають створення спеціальних охоронних конструкцій або укріплення підстилаючих порід, що дозволить перерозподілити та спрямувати напруження у породному масиві від виробки.

Для мінімізації витрат на охорону виробок перевагу необхідно віддавати засобам охорони, що передбачають використання рядової породи від проведення та ремонту гірничих виробок без її попередньої підготовки. Їх висока ефективність забезпечується створенням конструкцій з сипкого породного матеріалу й обмежуючих поверхонь, які мають високу несучу здатність і незначну піддатливість. Їх економічні переваги зменшуються через збільшення витрат на транспорт породи до лави з віддалених прохідницьких вибоїв, місць проведення ремонтів або з поверхні.

Таким чином, запропонований новий підхід до вибору технологій охорони гірничої виробки для забезпечення її експлуатаційного стану, який

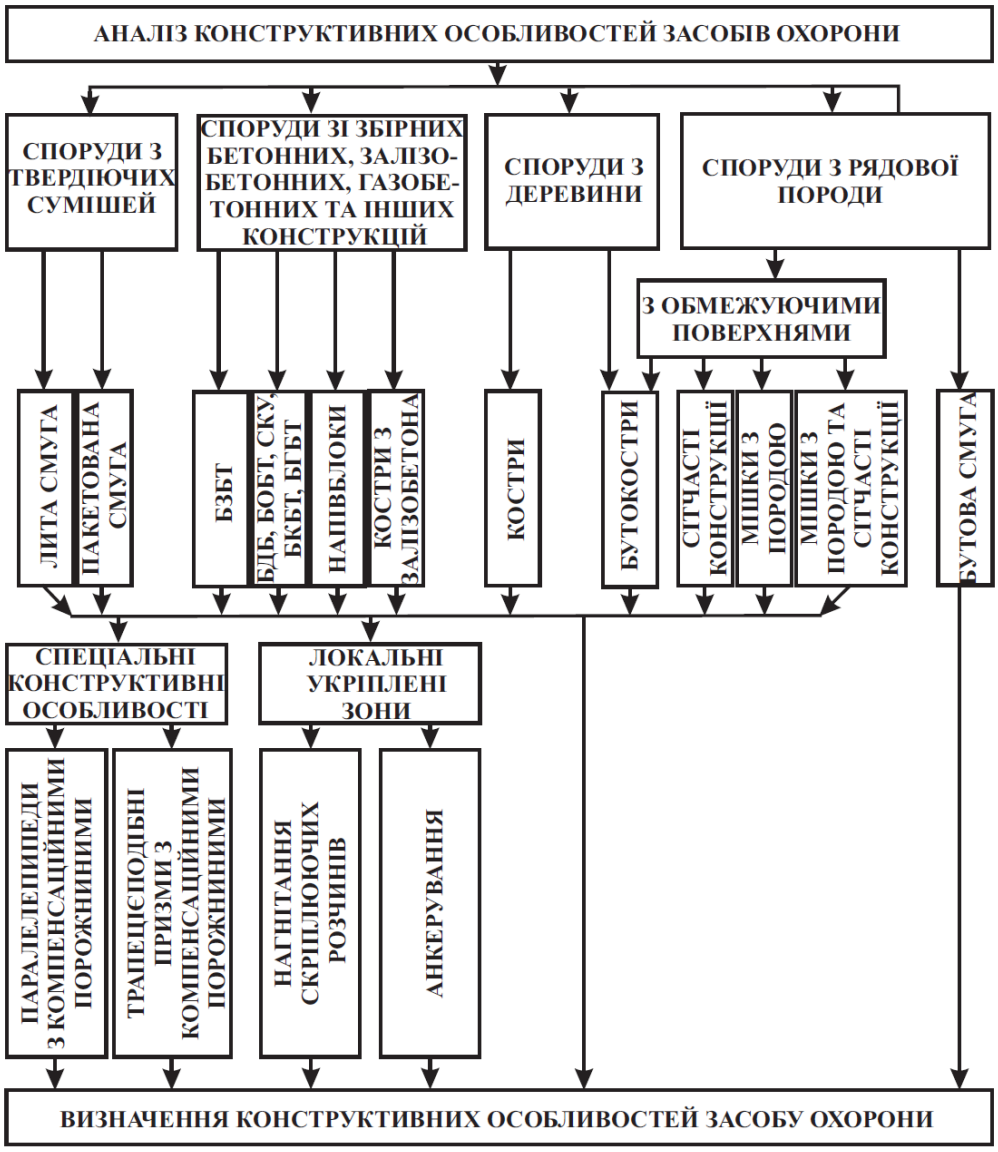


Рисунок 5.3 – Схема визначення конструктивних особливостей засобів охорони

може бути використаний на будь-якому етапі її «життєвого циклу»: проектування, проведення або експлуатації.

Для технологій охорони важливим є правильне визначення їх параметрів, оскільки від цього залежить технологічна та економічна ефективність. Для більшості технологій вибір параметрів для певних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов регламентується відповідними методиками та рекомендаціями. Також цими документами визначено області їх застосування. Останнім часом, з ускладненням гірничо-геологічних умов, існуючі технології зі

своїми базовими параметрами не відповідають вимогам, які до них пред'являються, потребують вдосконалення або розширення областей використання впровадженням додаткових заходів з обов'язковим контролем експлуатаційного стану виробок при їх застосуванні.

Всі технології, які перелічені на рисунку 5.2, застосовні в умовах слабких бічних порід, за виключенням спорудження окремих штучних засобів охорони. Наприклад, при нестійких породах покрівлі рекомендоване застосування кострів з деревини та литих смуг, а при слабкій підошві – кострів, бутокострів та бутових смуг. Але й ці засобі мають додаткові обмеження у використанні, наприклад, за потужністю та кутом падіння пласта та мають свої недоліки.

У даній роботі отримано нові технічні рішення щодо розширення області застосування існуючих засобів охорони, удосконалено деякі з них та запропоновано нові. З використанням отриманих результатів та оптимізації вибору доцільного технологічного рішення у конкретних умовах та спрощення необхідних розрахунків при визначенні їх параметрів рекомендується алгоритм вибору технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід, блок-схема якого представлена на рисунку 5.4. Опис етапів його реалізації наведено у додатку М.

При виконанні технічних рішень у відповідності з пунктами даного алгоритму обов'язковим є дотримання вимог нормативних та керуючих документів, а також правил безпеки щодо ведення гірничих робіт. Всі рішення щодо охорони гірничої виробки перед масштабним застосуванням мають пройти через контроль стану виробки. За розробленою методикою вибору технологій охорони підготовчих виробок можна визначити доцільні варіанти цих заходів та визначати їх параметри для забезпечення експлуатаційного та безпечного стану виробок позаду лав, у тому числі в умовах слабких бічних порід. Вона враховує результати цієї роботи та вимоги керівних документів, а для визначення параметрів традиційних засобів охорони враховано рекомендації існуючих методик.

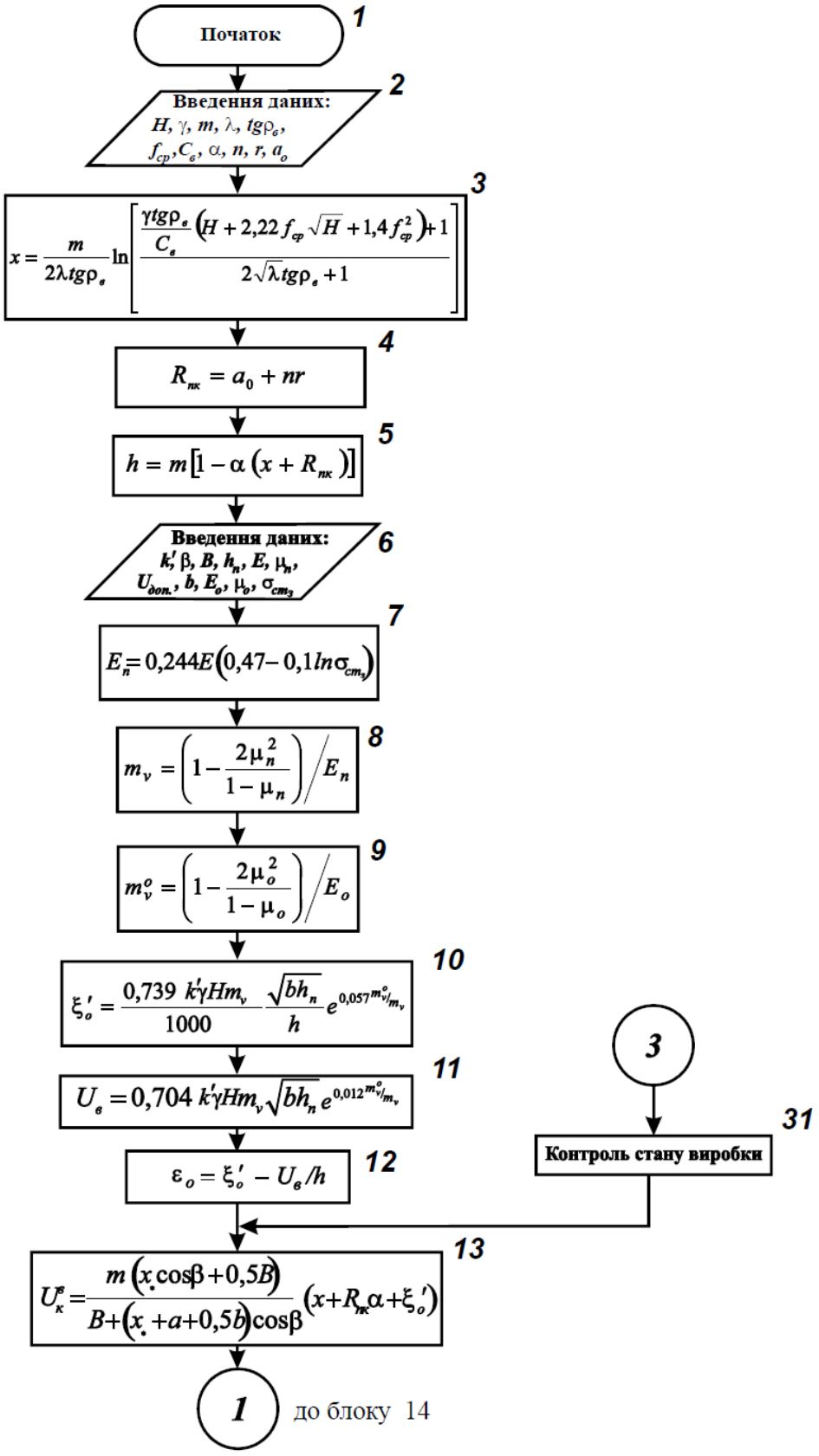
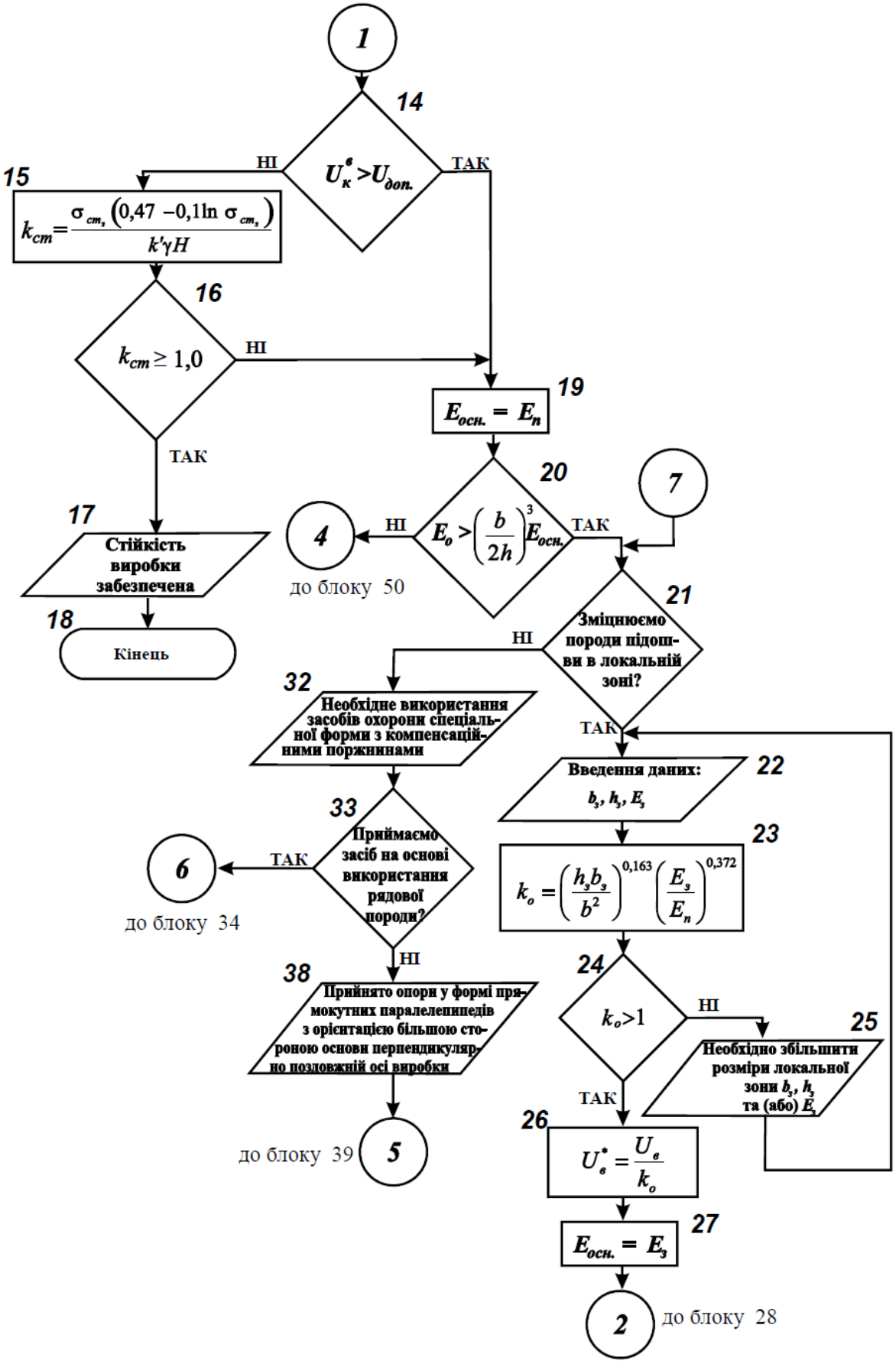
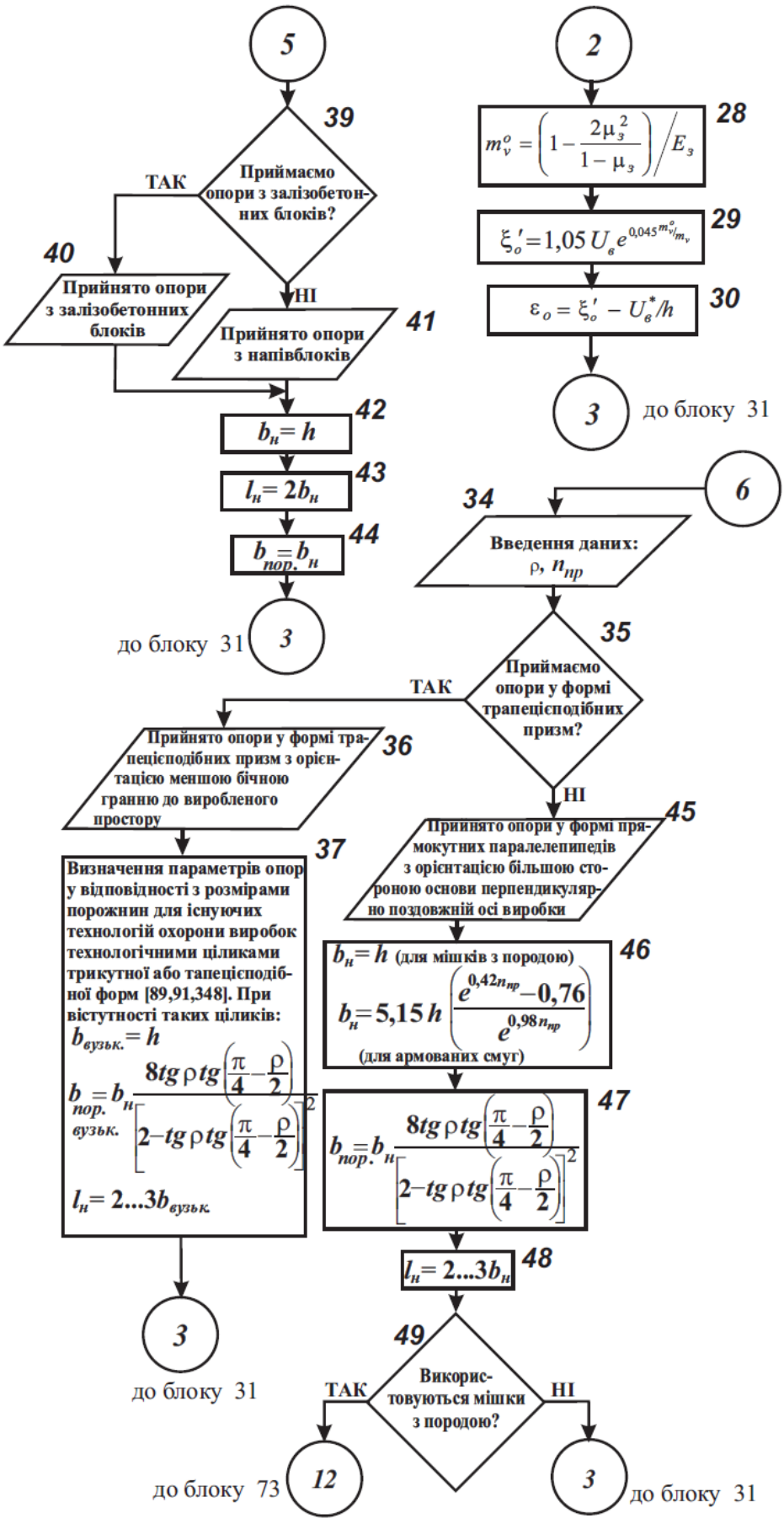


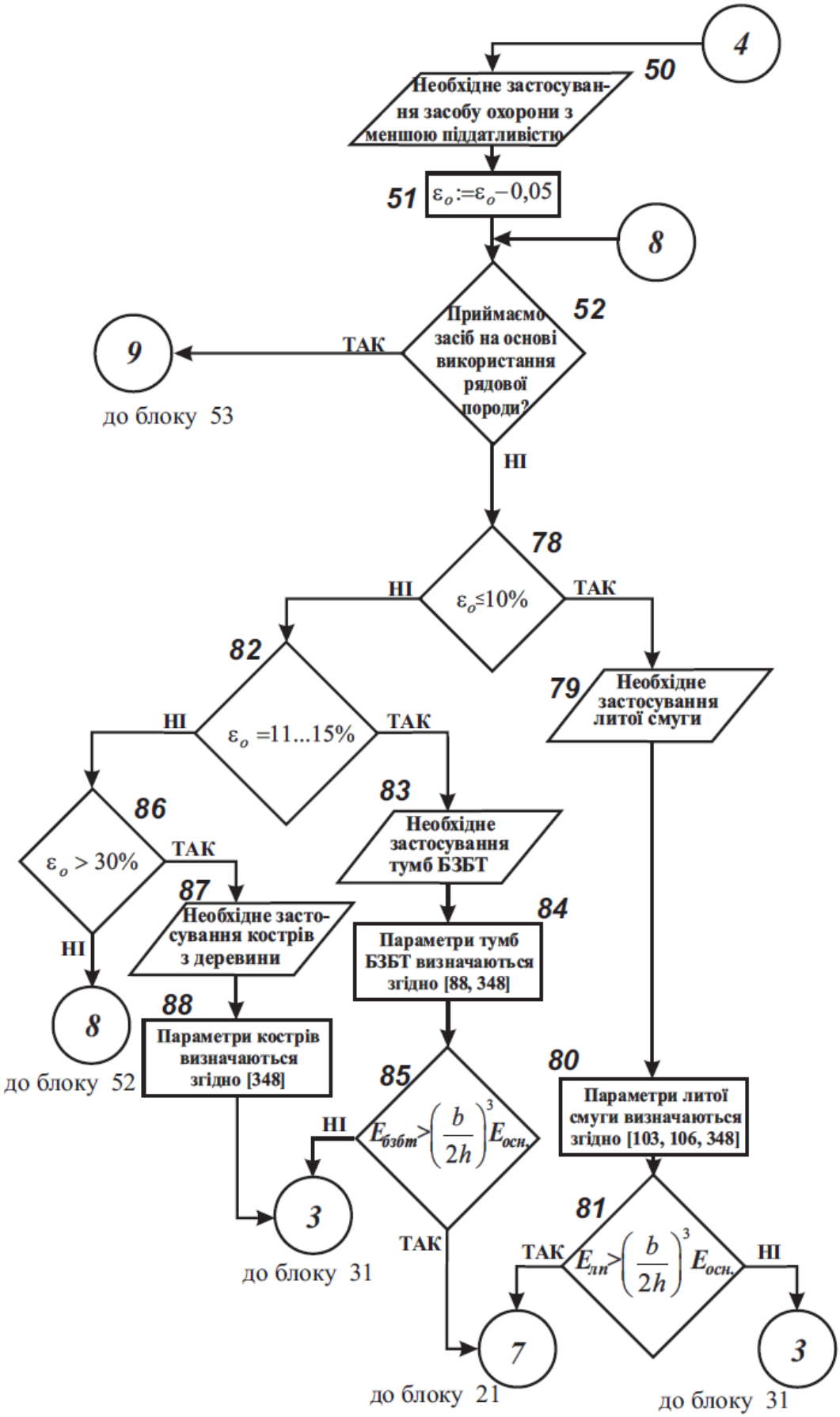
Рисунок 5.4 – Алгоритм вибору технологій охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід



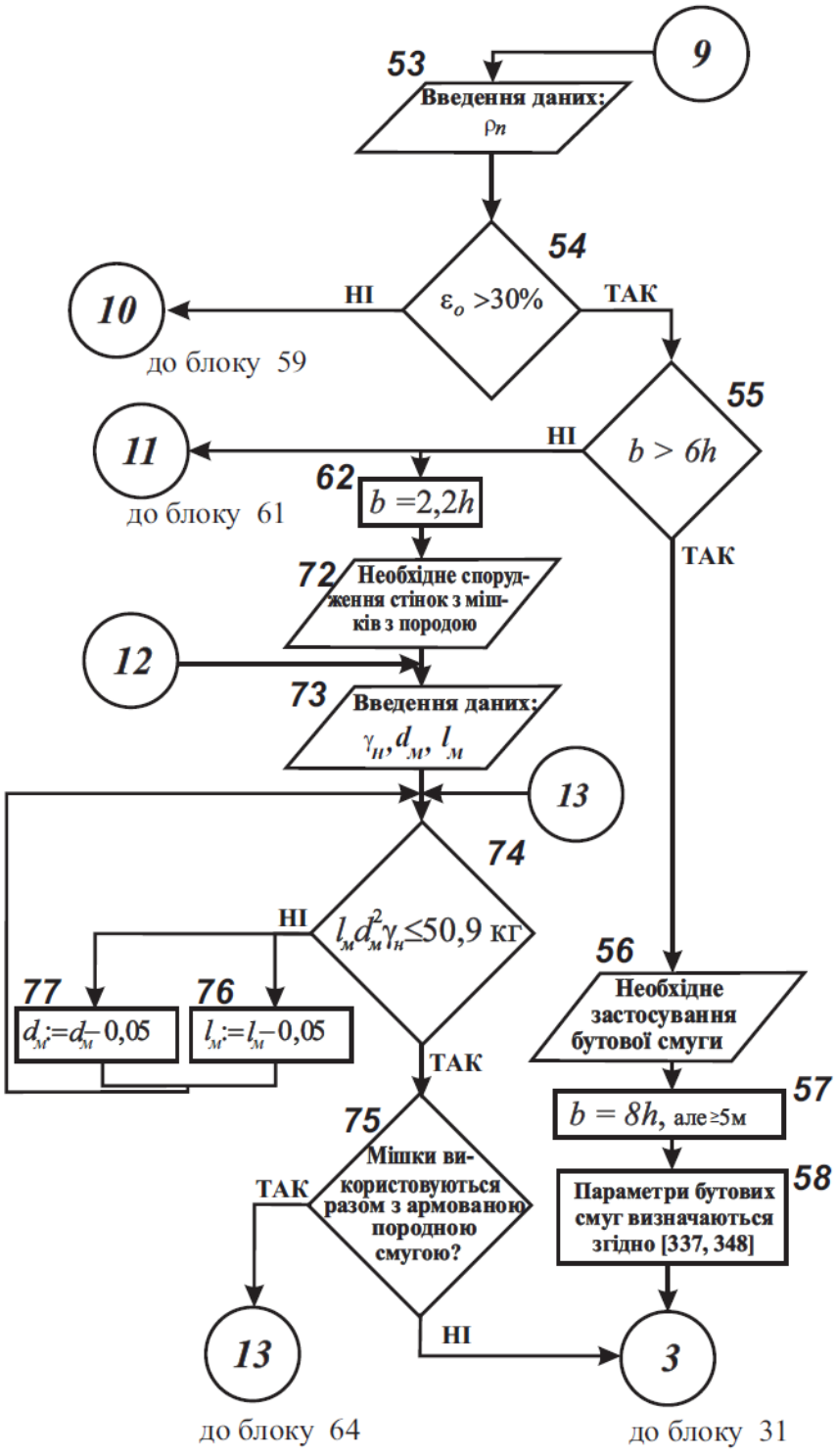
Продовження рис. 5.4



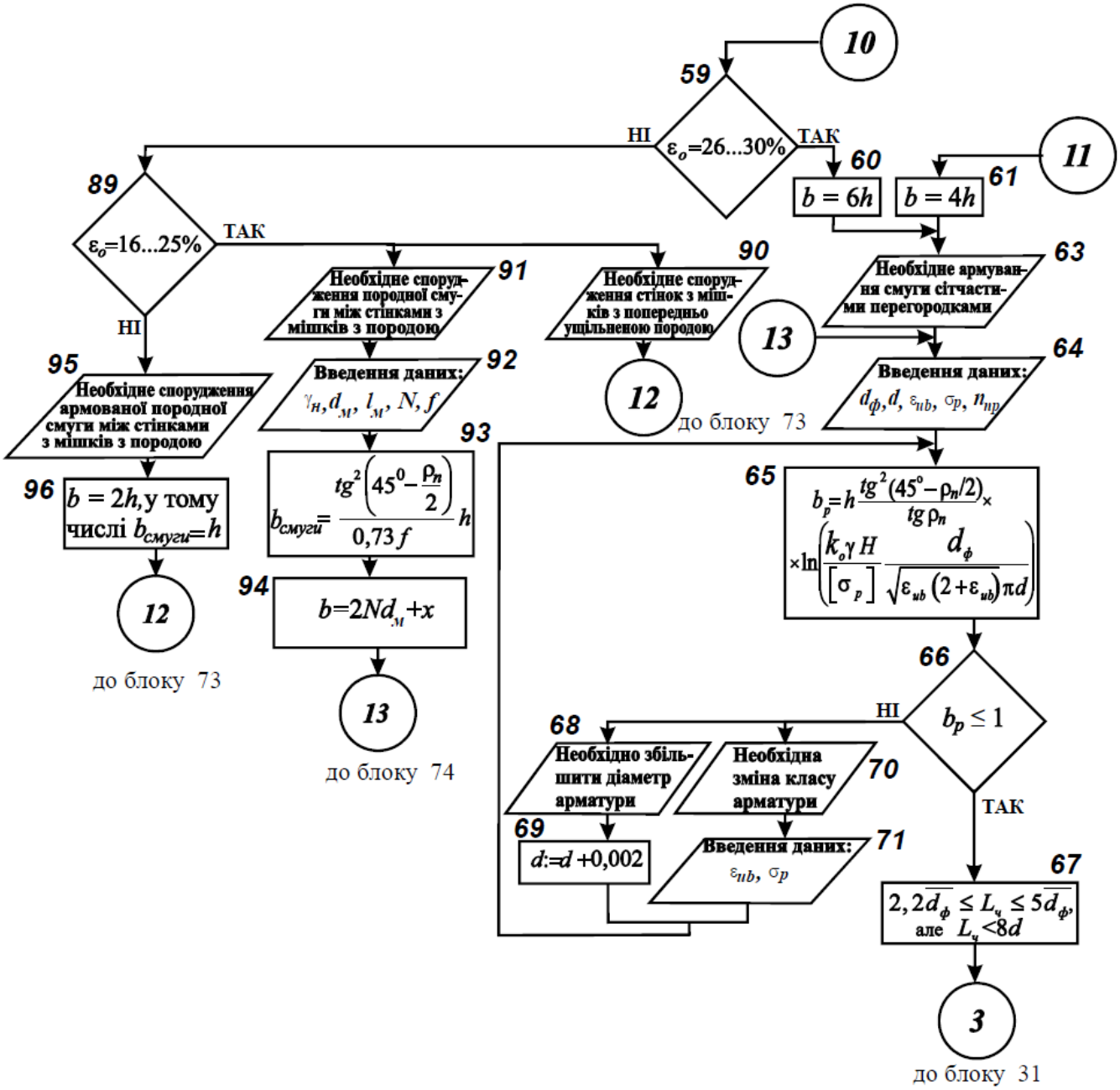
Продовження рис. 5.4



Продовження рис. 5.4



Продовження рис. 5.4



Продовження рис. 5.4

5.2 Розробка технологічних схем охорони підготовчих виробок позаду лав в умовах слабких бічних порід

В результаті проведених досліджень були розроблені ресурсозберігаючі технології щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід на їх відповідальній дільниці – у зоні впливу тимчасового опорного тиску лави позаду неї. Розроблені технічні рішення разом з існуючими технологіями були відображені в алгоритмі вибору засобів охорони в умовах слабких бічних порід (рис. 5.4), у якому з нових технологій враховано: створення під засобами охорони локальних укріплених зон у слабких породах підошви та спорудження стрічкових і окремо розташованих охоронних конструкцій з породи й обмежуючих поверхонь, до яких відносяться сітчасті металеві перегородки та мішки з породою. Отримані рішення з встановленими параметрами потребують систематизації для спрощення їх практичного впровадження та застосування на виробництві. Для цього доцільною буде розробка технологічних схем охорони виробок, які являють собою графічні зображення технологічних процесів охорони виробок, які підтримуються позаду лав при вийманні пологих та похилих вугільних пластів, з визначенням основних параметрів технологій, що використовуються, а також описом умов їх застосування та послідовності виконання операцій. Застосуванням цих технологій має забезпечуватися експлуатаційний та безпечний стан підготовчої виробки з мінімальними витратами впродовж всього терміну експлуатації виробки.

1. Технологічна схема охорони підготовчих виробок стрічковими породними смугами з металевими сітчастими перегородками (рис. 5.5).

Комплекс робіт щодо охорони виробки стрічковими породними смугами з металевими сітчастими перегородками включає наступні процеси: доставку обмеженого об’єму породи у вироблений простір, його розвантаження й укладку в місці спорудження смуги між покрівлею та підошвою пласту шарами, між якими паралельно площині напластування бічних порід укладають перегородки

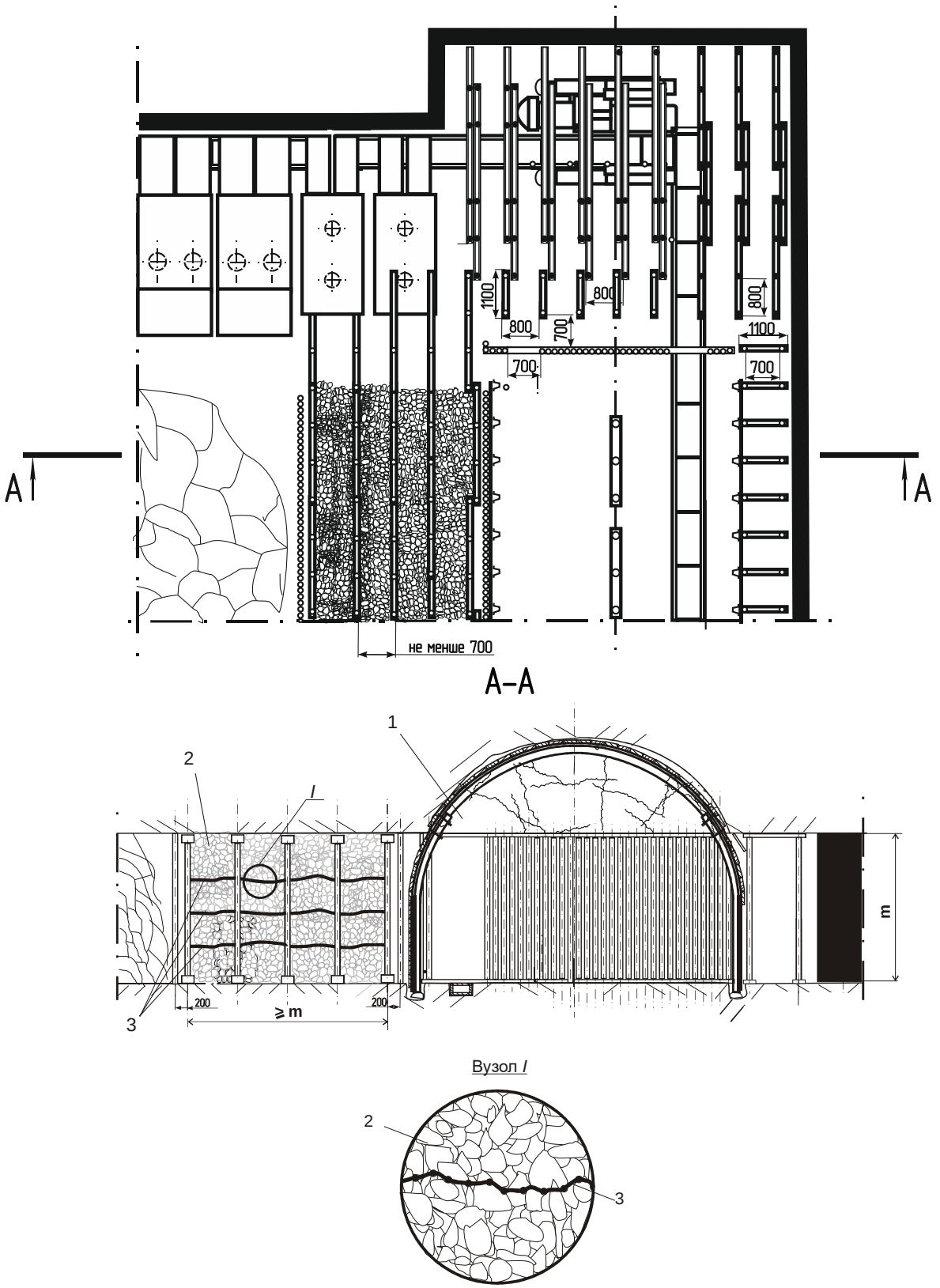


Рисунок 5.5 – Технологічна схема охорони підготовчої виробки позаду лави стрічковою породною смугою з металевими сітчастими перегородками (1 – гірнича виробка, 2 – рядова порода в охоронній споруді, 3 – перегородка, *m* – потужність відроблюваного вугільного пласту)

з сітчастих конструкцій з міцного матеріалу [291]. Операції даних процесів виконуються одночасно з кріпленням кінцевої ділянки лави та супроводжуються додатковими операціями щодо приведення робочого місця у безпечний стан, розчищення місця укладання смуги, встановлення додаткових елементів індивідуального кріплення тощо.

Дані смуги необхідно зводити шириною, яка буде дорівнювати або перевищувати її 4-ох кратну висоту (блок 61, рис. 5.4), незалежно від фракційного складу породи, що закладається. Також враховуються параметри арматурних стрижнів, з яких виготовлена перегородка, а саме їх діаметр, деформаційні та міцністні характеристики (блок 65, рис. 5.4). Параметри сітчастих перегородок визначаються в залежності від гранулометричного складу порід (блок 67, рис. 5.4). Кількість перегородок у смузі визначається її стійкістю та для забезпечення заявленої ширини споруди достатньо однієї перегородки з необхідними параметрами. Але у цьому випадку піддатливість смуги буде перевищувати 30 %. Для зменшення піддатливості до 25 % кількість перегородок має бути збільшено до трьох.

Спосіб може реалізуватися таким чином:

- при підтриманні пластової гірничої виробки 1 (рис. 5.5) позаду лави, на відстані 0,2 м від стояки кріплення з боку виробленого простору, уздовж виробки, пошарово між покрівлею та підошвою пласту гірники вручну здійснюють укладку рядової породи 2. Параметри породної смуги визначаються за запропонованими виразами (блок 60 або 61, рис. 5.4);
- між шарами породи вручну викладаються від однієї до трьох перегородок, у якості яких використовується збірні конструкції 3 з сіток квадратної або прямокутної форм із металевих арматурних стрижнів, які з’єднані між собою в'язальними дротами діаметром 0,0012 м. Розміри арматурних стрижнів та чарунок у сітці визначаються за запропонованими виразами (блок 64, рис. 5.4). Сітки виготовляються заздалегідь на поверхні та доставляються до місця їх укладки. Окремі сітки у смузі скріплюються між собою за допомогою

металевих дротів.

Ширина охоронної споруди при потужності пласта m має складати близько $4m$, а ширина перегородок – не менше $3{,}6m$. При трьох перегородках висота породних шарів має складати близько $0{,}25m$. З такими параметрами піддатливість охоронної споруди складе 20% від потужності пласту.

2. Технологічна схема охорони підготовчих виробок стрічковою породною смугою, що закладається між стінками з мішків (рис. 5.6).

При охороні виробок стінками з мішків, між якими закладається породна смуга, на межі з виробленим простором створюється стрічкова споруда, яка здатна утримати діючі навантаження та забезпечити піддатливість від 16 %.

Спосіб передбачає спорудження двох стінок з опорних елементів з тканинної оболонки (мішків), що заповнені дрібною породою. Між стінками закладається рядова порода будь-якої фракції. Мішки пошарово укладаються між покрівлею та підошвою паралельно напластуванню у два ряди у шаховому порядку перпендикулярно один одному між шарами до повного контакту з покрівлею.

Згідно технологічної схеми (рис. 5.6), слідом за кінцевою ділянкою лави, на лінії задніх стійок індивідуального кріплення ділянки, а також на прилеглому сполученні виконуються роботи щодо спорудження даної охоронної конструкції, а саме:

- фасування гірниками дрібної породи у мішки з поліпропілену в місцях проведення виробки або підривки, якщо вони знаходяться на даній виїмковій дільниці. При цьому можлива доставка мішків з породою з інших дільниць або з поверхні. У мішки засипається дроблена порода з розміром часток 0,004-0,005 м. Вага мішків не має перевищувати 40 кг;

- здійснюється доставка мішків з породою до місця їх укладання у споруду;

- із мішків з породою вручну викладаються дві стінки. Кожна стінка складається з двох рядів мішків, які викладаються впритул один до одного з

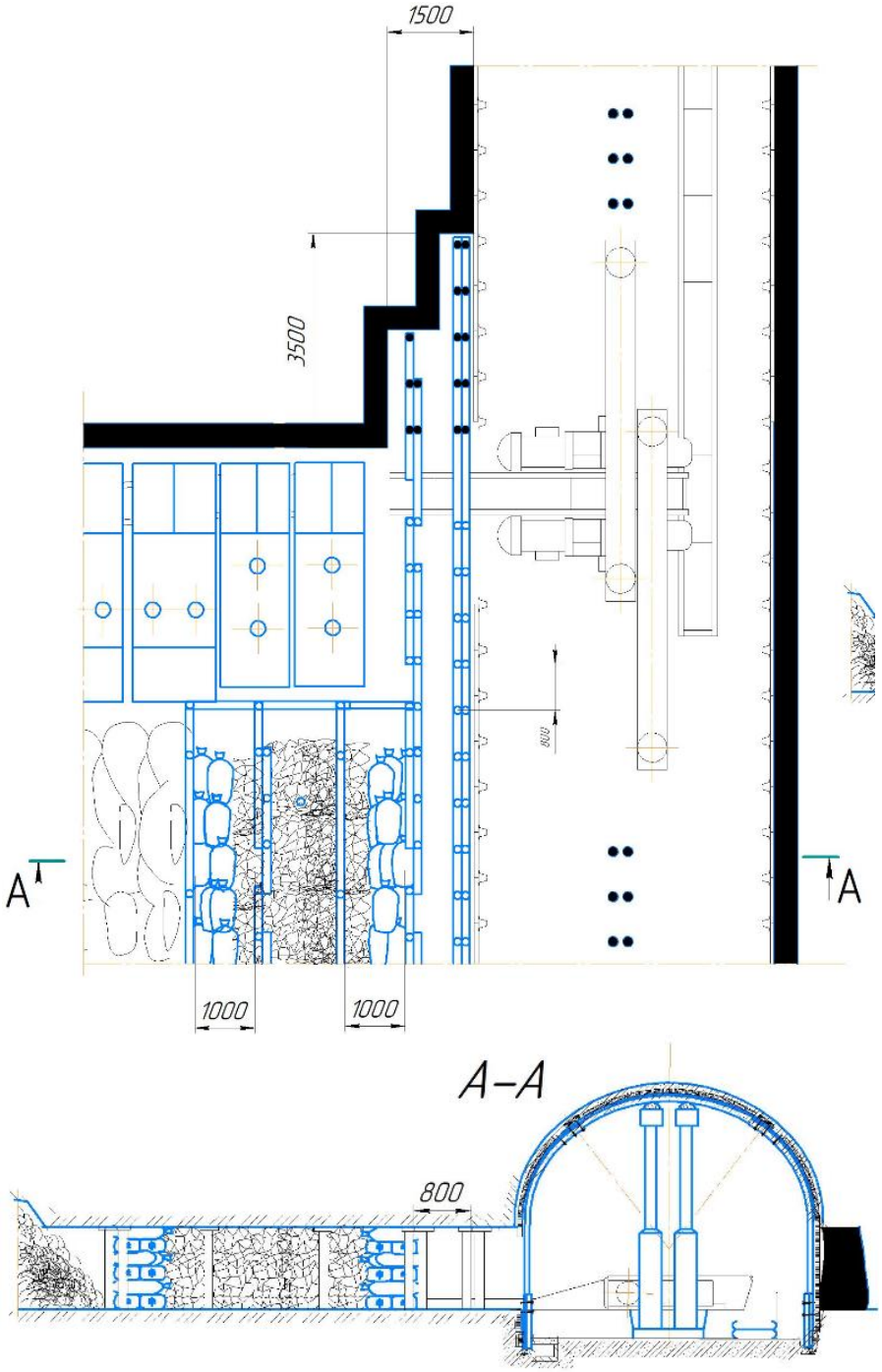


Рисунок 5.6 – Технологічна схема кріплення кінцевої ділянки лави та зведення комбінованої породної конструкції з рядової породи та мішків

перпендикулярним розміщенням між шарами. Одна стінка розташовується на відстані 0,2-0,7 м від стояки кріплення з боку виробленого простору, а друга – віднесена від першої у бік виробленого простору на відстань, яка визначається розрахунковим шляхом в залежності від необхідної ширини породної смуги (блок 93, рис. 5.4);

- простір між стінками вручну заповнюється рядовою породою будь-якої фракції, яка поступає з місць підривки, проведення виробки та інших джерел надходження породи;

- при проектній піддатливості охоронної конструкції 20-25 % попереднє ущільнення породи у мішках не здійснюється, при піддатливості 16-19 %– вона має бути ущільнена до коефіцієнта пустотності породи в мішку 0,28 за допомогою укладання мішків на секцію механізованого кріплення та її розпору між покрівлею та підошвою, за умови безпечного виконання даних робіт. Дана пустотність досягається підпором секції, що дорівнює не менше 2 МПа. При проектній піддатливості охоронної конструкції 8-16 % породна смуга між стінками з мішків армується металевими сітчастими перегородками, параметри яких визначаються за аналогією зі схемою на рисунку 5.5.

3. Технологічна схема охорони підготовчих виробок окремо розташованими опорами з компенсаційними порожнинами.

Спорудження окремо розташованих опор з компенсаційними порожнинами дозволяє реалізувати зміщення порід підошви у цих порожнинах при особливому розташуванні охоронних споруд, які можуть зводитись з залізобетонних, бетонних блоків або інших матеріалів, в тому числі з рядової породи. При використанні рядової породи у конструкцію додаються обмежуючі поверхні, які забезпечують її жорсткість. Параметри породних опор з обмежуючими поверхнями відрізняються від аналогічних опор з інших матеріалів, тому цей спосіб пропонується у декількох варіантах реалізації.

Варіант 1. При спорудженні опор з використанням жорстких елементів вздовж гірничих виробок встановлюються споруди у формі прямокутних

паралелепіпедів зі співвідношенням довжини до ширини основи кожного паралелепіпеда не менш ніж 2:1, при цьому довжина основи паралелепіпеда перпендикулярна повздовжній осі виробки, а між спорудами створюються компенсаційні порожнини, ширина яких дорівнює 0,5÷2,0 ширини основи паралелепіпеда, а глибина тотожна довжині основи паралелепіпеда [182].

Область застосування пропонованого способу поширюється для умов розробки вугільних пластів з породами підошви будь-якої стійкості, у тому числі, схильними до здимання. При слабких породах підошви не виключається вдавлення охоронних споруджень, і цим провокується здимання порід підошви у компенсаційні порожнини з метою відведення від виробки сил, що видавлюють.

Спосіб реалізується таким чином:

- позаду кінцевої ділянки лави вздовж виробки на відстані 0,4 м від стояки кріплення з боку виробленого простору споруджуються жорсткі охоронні споруди у формі прямокутних паралелепіпедів (рис. 5.7) з залізобетонних, бетонних, породобетонних блоків. В основі паралелепіпедів лежить прямокутник, рекомендованою шириною якого є величина від 0,8 до 1,5 м, а довжина в 2 рази більша за ширину. Довжина прямокутника перпендикулярна повздовжній осі виробки;

- між спорудженими опорами утворюються компенсаційні порожнини, ширина яких дорівнює ширині окремої опори, а глибина – її довжини;

- жорсткі елементи для спорудження опор транспортуються з поверхні у вагонетках та доставляються від місця їх розвантаження до місця розміщення опори гірниками вручну.

Застосування даного рішення дозволяє забезпечити стійкість виробок та розширює область застосування жорстких охоронних споруд.

Варіант 2 та 3. Альтернативою технології охорони жорсткими опорами у формі прямокутних паралелепіпедів з залізобетонних, бетонних і породобетонних блоків є використання армованих породних опор (варіант 2) (рис. 5.8 а) або конструкцій із мішків, заповнених породою (варіант 3)

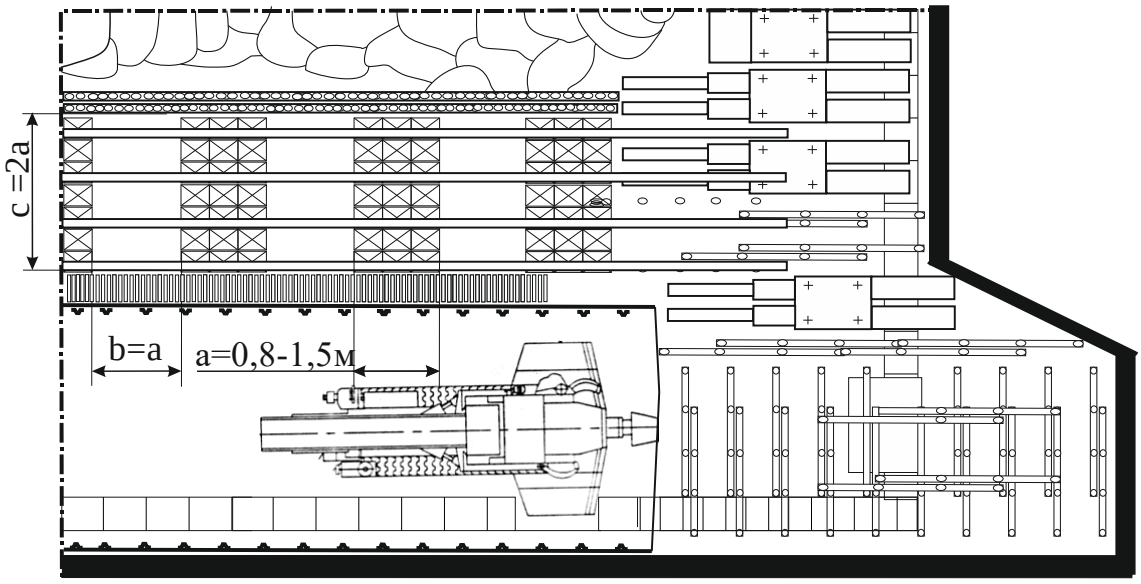


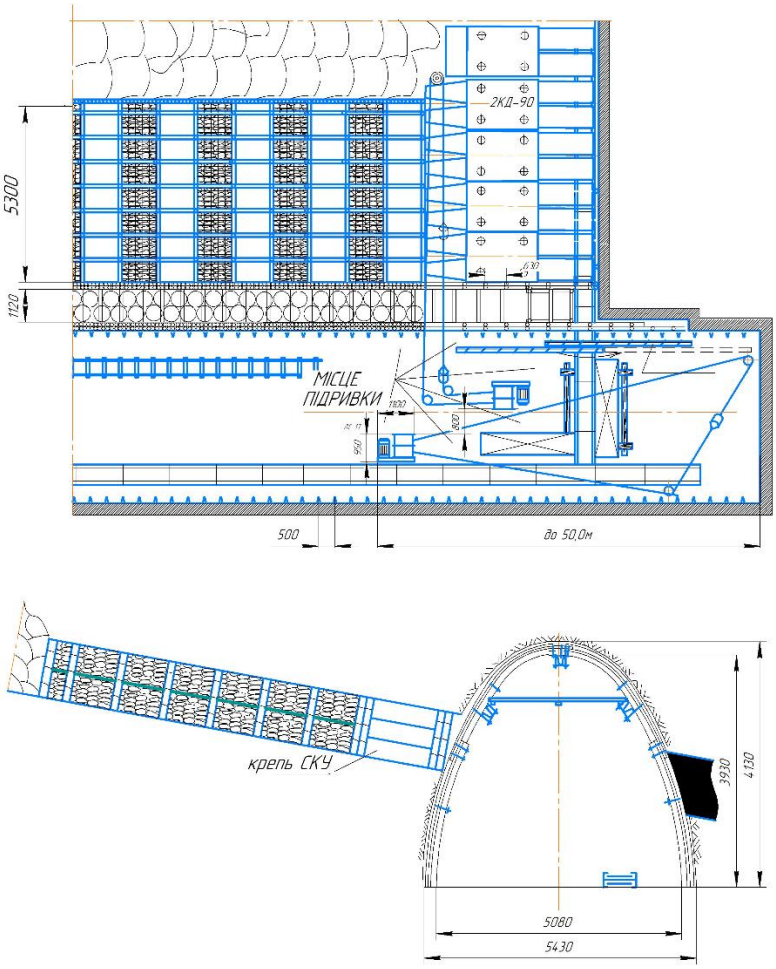
Рисунок 5.7 – Технологічна схема охорони підготовчої виробки жорсткими опорами у формі прямокутних паралелепіпедів із залишенням між ними компенсаційних порожнин

(рис. 5.8 б). Сутність способу у цьому випадку не змінюється, але відрізняються параметри опор, які будуть тільки схожі на паралелепіпеди. Вони мають бути орієнтовані більшою стороною основи перпендикулярно поздовжній осі виробки та між ними мають залишатися компенсаційні порожнини.

При спорудженні опор з сітчастими перегородками (рис. 5.8 а) порода та елементи конструкції викладаються аналогічно способу зі спорудженням стрічкової армованої смуги (рис. 5.5), але ці опори мають обмежені розміри, які визначаються за виразами, що наведені у блоках 46 та 48 (рис. 5.4). Ширина компенсаційних порожнин визначається виразом, який наведено у блоці 47.

Для опор з мішків, які заповнені породою, вирази щодо визначення розмірів опор та порожнин також показані у блоках 46-48 (рис. 5.4), а параметри мішків – у блоках 73, 74, 76, 77. Заповнення мішків, їх доставка та укладання в опори здійснюється аналогічно спорудженню стінок при технології, що показана на рисунку 5.6.

а)



б)

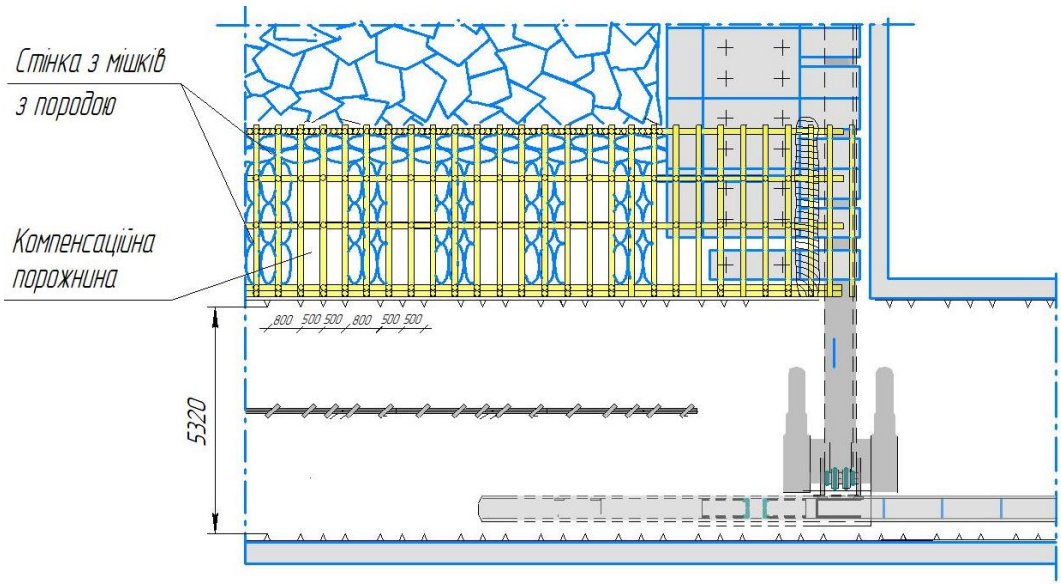


Рисунок 5.8 – Технологічна схема охорони підготовчої виробки армованими породними опорами (а) та породними стійками (б) із залишенням компенсаційних порожнин

4. Технологічна схема охорони підготовчих виробок окремо розташованими опорами у формі трапецієподібних призм, між якими залишаються компенсаційні порожнини (рис. 5.9).

Застосування опор у формі призм, в основі яких лежить трапеція та між якими залишаються компенсаційні порожнини, доцільне на слабких породах підошви як при тимчасовому залишенні технологічних вугільних циліків (рис. 5.9 а), так і без них (рис. 5.9 б).

При тимчасовому залишенні технологічних вугільних циліків (рис. 5.9 а) порожнини між ними закладаються рядовою породою з сітчастими перегородками або стінками з мішків. Спосіб реалізується таким чином:

- при роботі очисного вибою за системою розробки, яка передбачає проведення виробки *1* заздалегідь або з випередженням лави, за 4 м до підходу лави під кутом 73° до неї проводиться просік *2* довжиною 5,3 м. Момент закінчення проведення просіка приурочений до підходу лави до його вибою;

- кінцева частина скребкового конвеєру *3* лави переміщується на просік для подальшого виймання та транспортування гірської маси з лави на скребковий перевантажувач. Разом з посуванням лави кінцева частина скребкового конвеєра радіально переміщується з залишенням його приводу на одному місці до того моменту поки лава не зістикується з наступним просіком. У результаті таких операцій позаду лави утворюється цілик *4* у формі трапецієподібної призми з шириною бічних граней з боку виробки і виробленого простору, відповідно, 4 і 1,75 м з висотою основи призми 4,9 м;

- коли позаду лави будуть три цілика, у порожнину *5* між другим і третім циліками від лави викладається штучна охоронна споруда *6* з рядової породи всередині, яка обмежена стінками з мішків з породою або металевими сітками. Параметри стінок з мішків та сітчастих конструкцій визначаються згідно з технологіями, які зображені на рисунках, відповідно, 5.6 та 5.5;

- після повного заповнення порожнини породними конструкціями третій цілик *7* від лави виймається відбійними молотками, а вугілля навантажується на

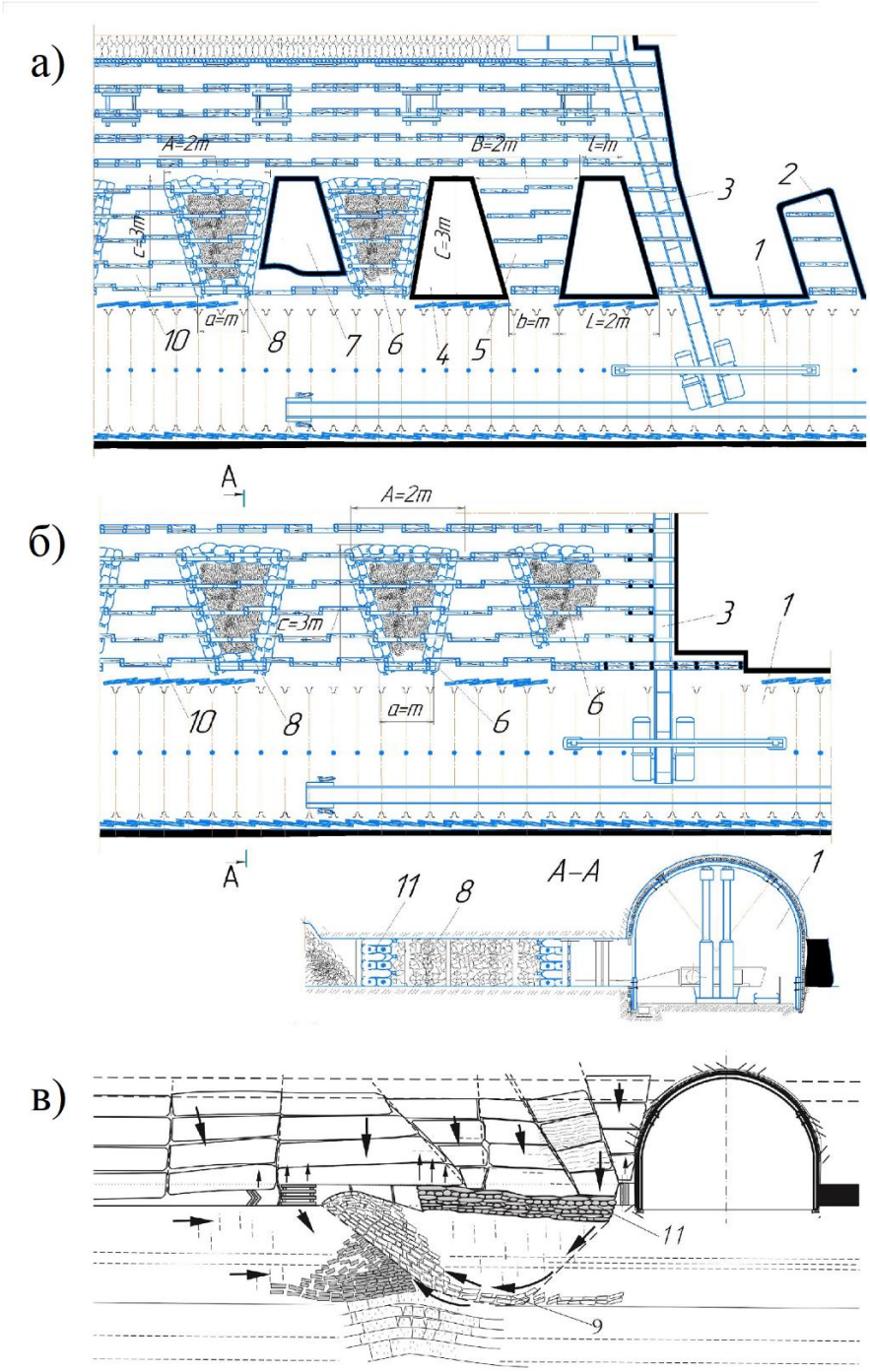


Рисунок 5.9 – Технологічна схема охорони підготовчих виробок спорудами з рядової породи та мішків із тимчасовим залишенням технологічних циліків (а) і без них (б), а також картина зсувів порід підошви під охороною спорудою (в), яка у формі трапецієподібної призми з орієнтацією меншою бічною гранню до виробки (1- гірнича виробка, 2- просік, 3- скребковий конвеєр, 4- цілик, 5- порожнини між циліками, 6- штучна охоронна споруда, що викладають, 7- цілик вугілля, що виймають, 8- охоронна споруда у формі трапецієподібної призми, 9- породи підошви під охоронною спорудою, 10- компенсаційна порожнина, 11- стінка з мішків з породою)

скребковий перевантажувач;

- при відході лави, позаду неї на відстані понад 16 м уздовж виробки залишаються тільки штучні охоронні споруди *8* у формі трапецієподібних призм з орієнтацією їх меншою бічною гранню до виробки, а протилежною ширшою бічною гранню, яка їй паралельна, до виробленого простору. Геометричні розміри утворених призм визначаються шириною вузької бічної грані, яка знаходиться поряд з виробкою та дорівнює висоті опори та у 2 рази вужча за протилежну до неї грань, яка орієнтована до виробленого простору. Висота основи (трапеції) опори – у 2…3 рази більша за ширину вузької грані. Ширина порожнини у найвужчому місці дорівнює ширині вузької грані, а її глибина – перевищує ширину цієї грані у 2…3 рази.

При технологічній схемі без тимчасового залишення технологічних ціликів опори у формі трапецієподібних призм споруджуються відразу ж позаду лави разом з комплектами індивідуального кріплення кінцевої ділянки лави. Дані опори споруджуються з залізобетонних, бетонних, породобетонних блоків або рядової породи, яка обмежується металевими сітками або мішками з породою. Між ними залишаються компенсаційні порожнини. Параметри опор та компенсаційних порожнин визначаються аналогічно схемі з технологічними циліками (рис. 5.9 а).

5. Технологічна схема охорони підготовчих виробок з локальним укріпленням порід підошви під засобами охорони з обмеженою піддатливістю.

Запропонований спосіб охорони гірничих виробок забезпечує стійкість пластових виробок позаду лави в умовах слабких порід підошви, підвищується ефективність охорони виробок від негативного впливу гірського тиску, зменшується обсяг експлуатаційних втрат вугілля.

Додатковим заходом щодо забезпечення стійкості нестійких порід підошви під жорсткими засобами охорони є створення під такими спорудами локально укріплених зон. Для цього у слабкому шарі порід підошви заздалегідь під місцем запланованого спорудження засобу охорони зміцненням порід підошви

анкеруванням (рис. 5.10) або зміцнюючим розчином (рис. 5.11) утворюється локальна укріплена зона, параметри якої визначаються згідно умови [304]

$$\left(\frac{h_з b_з}{b^2}\right)^{0,163}\left(\frac{E_з}{E_n}\right)^{0,372} > 1, \qquad (5.2)$$

де b – ширина засобу охорони, який буде споруджено, м; $h_з$ і $b_з$ – відповідно, глибина і ширина локальної укріпленої зони, м; E_n і $E_з$– модулі загальної деформації, відповідно, порід підошви і укріпленого масиву в локальній зоні, МПа.

Утворення локальної укріпленої зони дозволяє заздалегідь підготувати для засобу охорони стійку основу, яка буде переносити вглиб порід підошви навантаження, які діють з боку засобу, що призведе до збільшення опору порід підошви, зменшення просідання засобу охорони відносно рівня поверхні підошви і зменшення зміщень порід покрівлі та підошви виробки.

Згідно умови (5.2), визначаються глибина та ширина локальної укріпленої зони по відношенню до ширини засобу охорони, а також необхідний модуль загальної деформації зони по відношенню до модуля деформації слабкого шару порід підошви, у якому ця зона утворюється. Ліва частина умови (5.2) показує у скільки разів зміняться просідання засобу охорони при локальному зміцненні підошви. Ширина локальної укріпленої зони не має бути меншою за ширину засобу охорони, а модуль деформації локальної укріпленої зони – має перевищувати модуль деформації слабкого шару порід підошви. Виконання умови показує ефективне співвідношення параметрів локальної зони, засобу охорони та слабкого шару порід підошви, при яких буде забезпечено зменшення зміщень порід покрівлі та підошви виробки, що охороняється позаду лави. Технологічні схеми кріплення кінцевих ділянок лав з локальним укріпленням анкерами та зміцнюючими розчинами показані, відповідно, на рисунках 5.10 та 5.11.

При укріпленні анкерами приймається схема розміщення анкерів по зміщеним уздовж осі засобу охорони великим діагоналям куба, для чого необхідно виконати такі операції [304]:

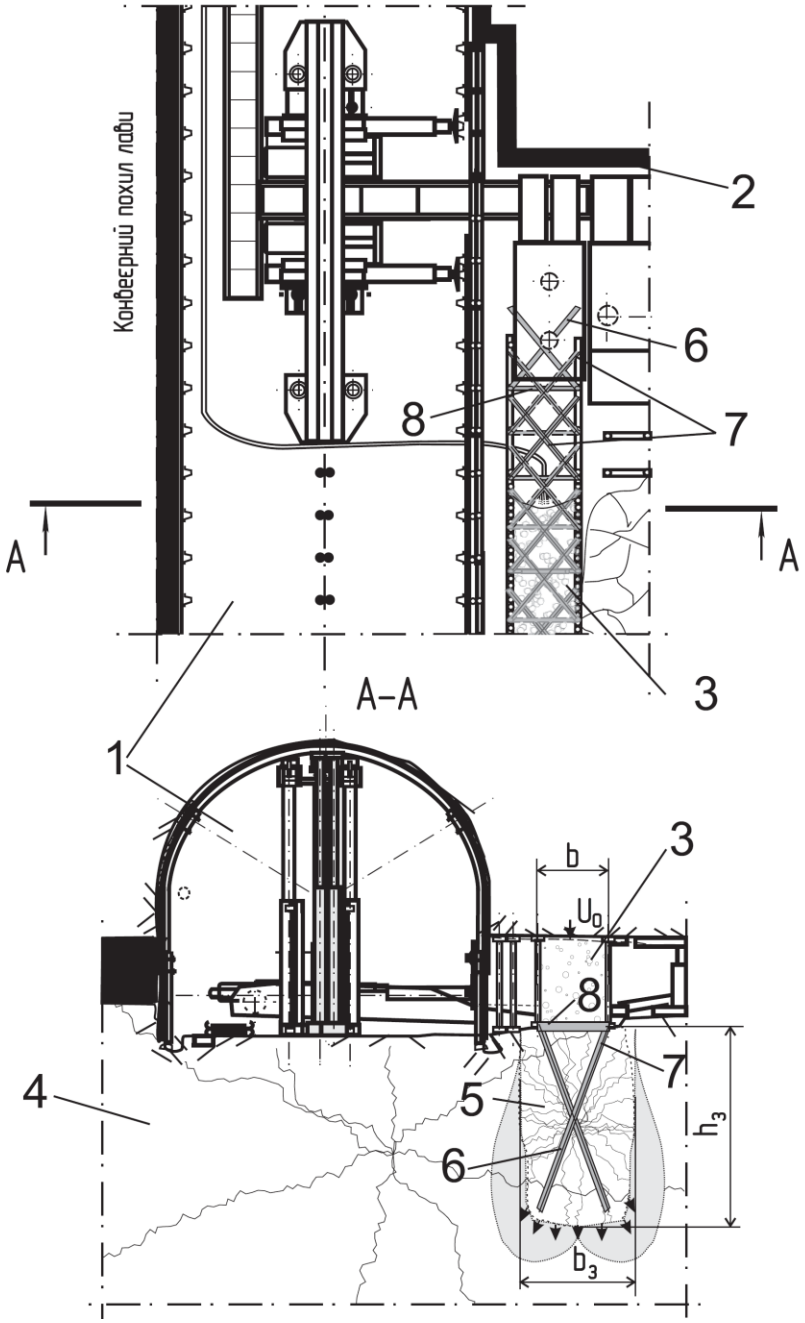


Рисунок 5.10 – Технологічна схема кріплення кінцевої ділянки лави та охорони виробки з утворенням локальної зони анкеруванням підошви (1- гірнича виробка, 2- кромка пласта у лаві, 3- штучна охоронна споруда, 4- породи підошви, 5- локальна укріплена зона, 6- шпури, 7- анкери, 8- стяжка між анкерами, b – ширина засобу охорони, $h_з$ – глибина локальної укріпленої зони, $b_з$ – ширина локальної укріпленої зони, U_o – зміщення порід покрівлі над засобом охорони)

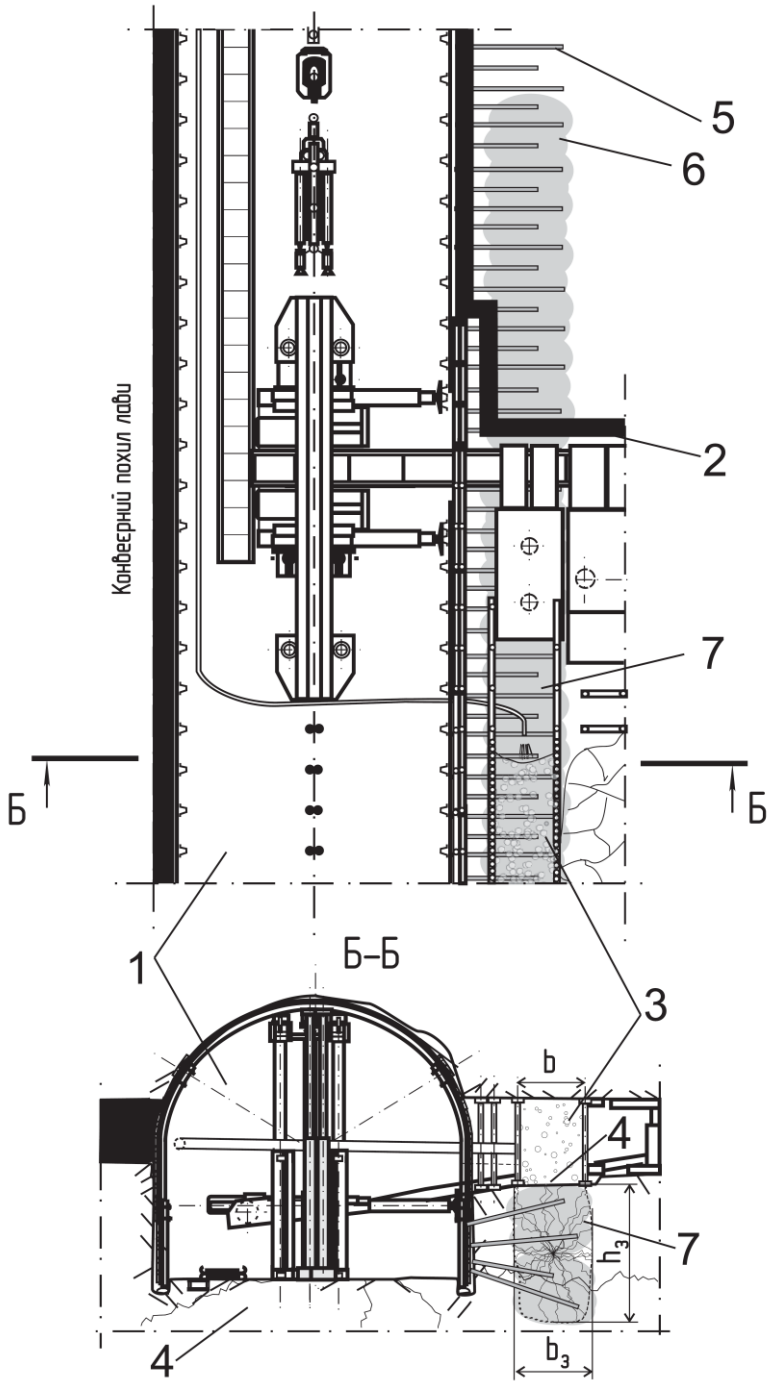


Рисунок 5.11 – Технологічна схема кріплення кінцевої ділянки лави та охорони виробки з утворенням локальної зони нагнітанням у підошву зміцнюючого розчину (1- гірнича виробка, 2- кромка пласта у лаві, 3- штучна охоронна споруда, 4- породи підошви, 5- шпури, 6- місце нагнітання зміцнюючого розчину, 7- локальна укріплена зона, b – ширина засобу охорони, $h_з$ – глибина локальної укріпленої зони, $b_з$ – ширина локальної укріпленої зони)

- заздалегідь перед засобом охорони у породи підошви у напрямку очисного вибою за допомогою ручних електричних свердел СЕР-19М в два ряди вздовж виробки буряться шпури, вертикальна глибина яких та відстань між рядами анкерів визначаються розмірами локальної зони за умовою (5.2). Ліва частина умови показує співвідношення між величинами просідання покрівлі над засобом охорони до та після локального укріплення, тому приймаючи необхідну величину зменшення зміщень, характеристики порід підошви та зони, ширину засобу охорони можна визначити необхідні розміри зони укріплення. Кут нахилу шпурів вглиб підошви відносно її поверхні та кути відхилення від вертикалі у напрямку осі засобу охорони визначаються розмірами локальної зони та за умови, щоб сусідні ряди, які орієнтовані перпендикулярно осі виробки, перекривали один одного;

– у підготовлені шпури занурюються арматурні стрижні, які на поверхні підошви з’єднані металевою стяжкою зі швелера та закріплені з нею за допомогою різьбових з’єднань.

Анкери зі стяжками та породами підошви утворюють стійку породо-анкерну конструкцію, здатну сприймати навантаження від засобу охорони й передавати їх углиб масиву від виробки. Цим і забезпечується експлуатаційний переріз гірничої виробки.

Можливе створення локальної укріпленої зони нагнітанням зміцнюючих розчинів у шпури (рис. 5.10). Для цього шпури буряться з боку виробки у породи підошви під вугільним пластом, що буде вийматися, а потім в них під тиском нагнітається зміцнюючий розчин (карбамідні смоли, цементний або цементно-піщаний розчини), який на момент спорудження засобу охорони має набрати 70 % від своєї максимальної міцності. Враховуючи, що дану міцність розчини набирають не менше ніж через 7 діб, то випередження місцем його нагнітання очисного вибою має перевищувати тижневе посування лави.

6. Технологічна схема охорони підготовчих виробок з механізованим заповненням оболонки рядовою породою.

Наведені вище технологічні схеми розраховані для умов більшості вугільних шахт Донбасу. Вони передбачають використання ручної праці, але трудомісткість робіт при їх реалізації буде значно меншою у порівнянні зі спорудженням традиційної бутової смуги (необхідний обсяг породи зменшується у 1,5…2,0 рази) та тумб БЗБТ (зменшується вага опорних елементів). Трудомісткості робіт за даними технологіями будуть розглядатися нижче. У порівнянні з засобами охорони дерев'яними кострами, бутокострами та литими смугами пропоновані технології здебільшого будуть дешевшими у застосуванні, оскільки передбачається використання рядової породи з обмежуючими поверхнями. Темпи спорудження пропонованих засобів охорони співпадають з темпами посування очисних вибоїв, які працюють у складних гірничо-геологічних умовах, у тому числі зі слабкими бічними породами. Звичайно, використання ручної праці в умовах високонавантажених лав буде стримувати темпи їх посування, тому дані технології мають бути адаптовані під такі умови за рахунок механізованого закладання породи. Зокрема, для технологій, у яких передбачене використання мішків з породою (рис. 5.6, 5.8 б, 5.9) за відповідними схемами стінки з мішків можуть бути замінені суцільними стінками опорними елементами, які створюються шляхом механізованого заповнення оболонки дробленою породою, в якій фракція 5-20 мм складає не менше ніж 90%. В якості оболонок використовують повітрянепропускний рукав, заповнення оболонки ведуть в нагнітально-відсмоктуючому режимі для чого з одного її боку ведуть пневмозакладення дробленої породи через завантажувальний пристрій, а з іншого одночасно відсмоктують повітря вакуумною установкою, після заповнення оболонки породою, за необхідності до завантажувального пристрою під'єднають магістраль по якій в оболонку в нагнітально-відсмоктуючому режимі нагнітають зміцнюючу суміш, нагнітання ведуть до заповнення сумішшю всієї оболонки з породою. За даною технологією колективом авторів було подано заявку на патент а202102591.

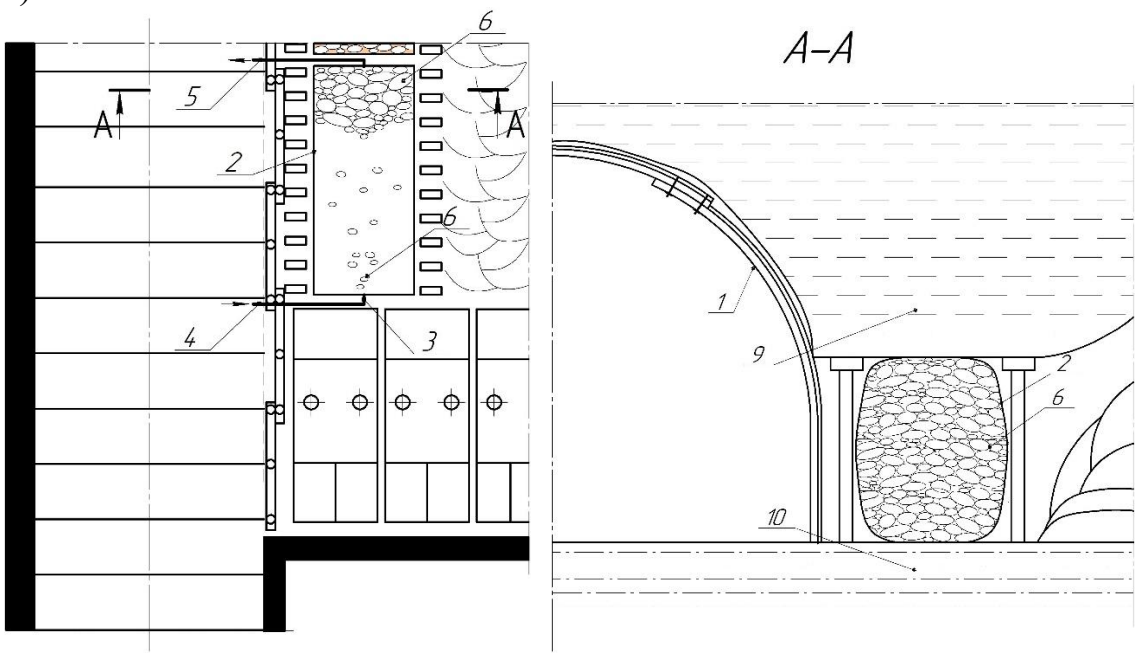
При стрічковому розташуванні засобу охорони спосіб реалізується таким чином:

Після виймання вугілля в лаві, на сполученні очисного вибою з підготовчою виробкою (рис. 5.12) стрічково розміщують повітрянепропускну оболонку. Дана оболонка уявляє собою рукав, який виготовлений з негорючої армованої антистатичної трубної тканини з хімічних ниток, з двох сторін покритий полівінілхлоридним покриттям ПВХ.

До завантажувального пристрою оболонки під’єднають трубопровід пневмозакладальної машини, а з іншого боку оболонки під’єднають трубопровід вакуумної установки УВМ-3Б. Після чого вмикають спочатку пневмозакладальну машину, а потім, з витримкою в декілька секунд, вакуумну установку. Через трубопровід пневмозакладальної машини, дроблена порода в якій фракція 5-20 мм складає не менше 90% подається в оболонку. Закладка ведеться до повного заповнення оболонки породою, після чого спочатку вимикається пневмозакладальна машина, а потім, з витримкою в декілька секунд, вакуумна установка. При цьому оболонка під дією пониженого тиску стискає породу. Це дозволяє швидко рівномірно ущільнити породу в оболонці, що створює охоронну конструкцію з високою несучою здатністю і низькою усадкою. Після цього від завантажувального пристрою від’єднують трубопровід пневмозакладальної машини.

Потім для зміцнення дробленої породи в оболонці до завантажувального пристрою під’єднають напорну магістраль нагнітальної установки насосного агрегату MONO-WT 820, по якій в оболонку нагнітають зміцнюючу суміш. Після цього спочатку вмикається, вакуумна установка, а потім, з витримкою в декілька секунд нагнітальна установка. Нагнітання суміші ведеться в нагнітально-відсмоктуючому режимі. Зміцнююча суміш рухається в напрямку трубопровода вакуумної установки через дроблену породу до заповнення сумішшю всієї оболонки з породою. Після того як оболонка заповнена спочатку вимикають вакуумну установку, а потім, з витримкою в декілька секунд нагнітальну

а)



б)

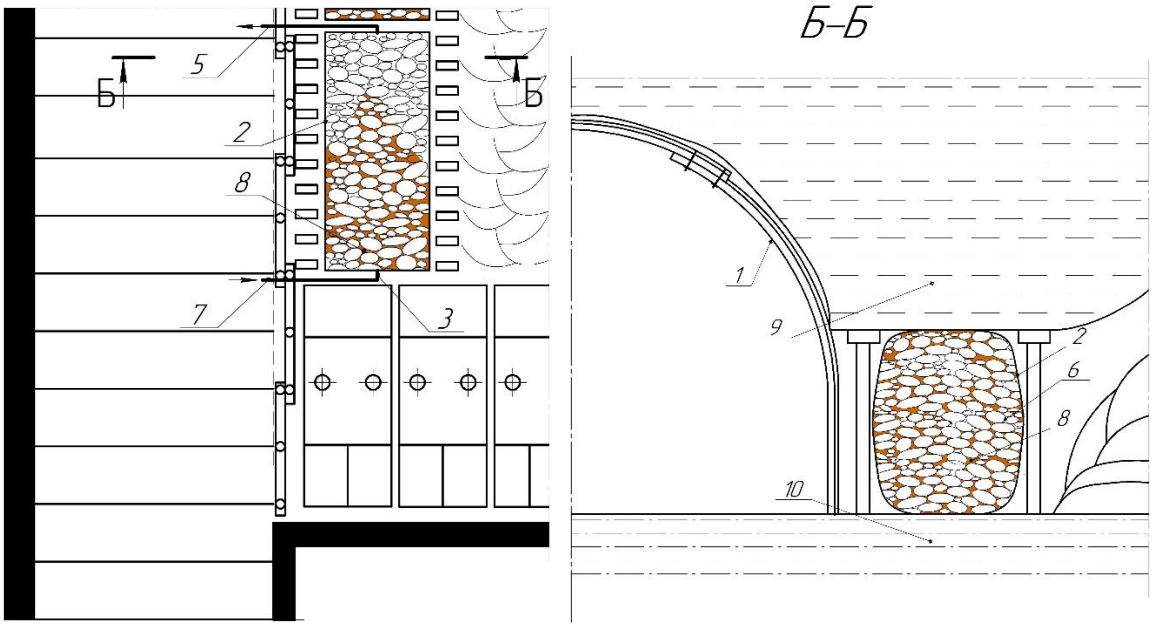


Рисунок 5.12 – Схеми розміщення стінки з оболонки, яка заповнюється дробленою породою пневмозакладальною машиною (а) та нагнітання зміцнюючої суміші крізь дроблену породу (б) (1 – підготовча виробка, 2 – оболонка, 3 – завантажувальний пристрій оболонки, 4 – трубопровід пневмозакладальної машини, 5 – трубопровід вакуумної установки, 6 – дроблена порода, 7 – напорна магістраль нагнітальної установки, 8 – зміцнююча суміш, 9 – покрівля пласта, 10 – підошва пласта)

установку. Це дозволяє розперти охорону конструкцію між покрівлею і підошвою додатковим тиском. Після твердіння суміші в оболонці створюється монолітний масив, що формує між покрівлею і підошвою охоронну конструкцію високої несучої здатності і низької усадки. Таким чином з мінімальною долею ручної праці забезпечується стійкість підготовчої виробки, що підтримується після проходу лави при швидкостях очисних робіт, характерних для сучасних вугільних шахт.

5.3 Результати випробувань та умови використання нових технологій охорони підготовчих виробок

Проведений комплекс досліджень дозволив обґрунтувати параметри охоронних споруд з конструктивними особливостями, за рахунок яких може бути забезпечена стійкість виробок, що охороняються в умовах слабких бічних порід. Здешевлення цих споруд досягається використанням в них рядової породи та обмежуючих поверхонь. Оскільки дані технологічні рішення розглядалися для умов з горизонтальним та пологим заляганням тонких та середньої потужності вугільних пластів, то областю їх застосування можна рекомендувати ці умови. Для використання їх в інших умовах необхідне проведення додаткових досліджень. Тим не менш, отримані результати охоплюють доволі широкий діапазон умов, які відносяться до більшості шахтних полів Донбасу. Деякі з цих рішень пройшли дослідно-промислову перевірку в умовах вугільних шахт.

Конструкції охоронних споруд з мішків з породою (породні стінки) проходили свої випробування в умовах вентиляційного штреку 1-ої західної лави пласта k_8 шахти «Жовтневий рудник» та конвеєрного штреку 6-ої південної лави пласта $m_5^{1в}$ шахти «Добропільська» [378]. У першому випадку виробка охоронялась при суцільній системі розробки, а у другому – при стовповій з метою повторного використання штреку. Опорні елементи представляли собою поліпропіленові мішки довжиною 0,5 та діаметром 0,2 м, які були заповненні

породними фракціями розміром 0,04-0,05 м.

При суцільний системі розробки стінка з мішків викладалася на відстані 1,6 м від прохідницького вибою, який знаходився позаду лави на відстані 5 м. Викладалося три шари мішків перпендикулярно один до одного від підошви до покрівлі пласта на висоту 0,6 м. Ширина споруди була 1 м, а довжина 2,0 м. Таким чином випробовувалась окрема породна конструкція з розмірами у плані 1:2, де більший розмір був вздовж поздовжньої осі виробки. Час спорудження даної конструкції одним робітником склав 30 хвилин при вазі мішків з породою 25-30 кг. Економічна ефективність технології склала 86,40 грн./м (у цінах 2008 р.).

При стовповій системі розробки стінки з мішків викладались аналогічним чином, але двома робітниками на потужність 1,2 м та при ширині споруди 1 м, її довжина вздовж виробки була 5,0 м. Економічна ефективність технології склала 662,10 грн./м (у цінах 2009 р.).

Стрічкові конструкції з мішків з породою були випробувані в умовах стійких порід підошви й ці випробування показали їх працездатність [378]. Для умов слабких бічних порід, особливо нестійких порід підошви, дана конструкція мала бути збільшена по ширині, оскільки стінка з мішків мала обмежену піддатливість і за рахунок відносно невеликої ширини працювала, як штамп, подібно пакетованій смузі, яка використовувалась в умовах пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (розділ 2). Тому в рамках господдоговірної теми (ДР № 0117U004317) для умов пластів, що розробляються даним підприємством, було рекомендовано удосконалити засіб за рахунок спорудження двох стінок з мішків, між якими мала закладатися порода у вільній насипці – комбінована породна конструкція.

Застосування комбінованої породної конструкції дозволило б у 3-4 рази зменшити необхідний об’єм породи в порівнянні з традиційною бутовою смугою, забезпечити піддатливість до 8-18% в залежності від крупності порід та схеми викладки мішків. Та цей спосіб, однозначно, буде дешевше способу охорони із застосуванням суміші TEKHARD.

Ширина породної смуги між стінками з мішків $b_н$ (м) визначалася з виразу (4.42) та для умов 11-ої та 26-ої західних лав пластів, відповідно, c_{18} та c_{13} склала 1,6 м, а разом зі стінками 3,2 м.

Згідно рекомендацій, у зв'язку з тим, що на момент проектування вже була відпрацьована певна частина виймального стовпа, для зміни технологічної схеми кріплення кінцевої ділянки лави та переходу на спосіб охорони комбінованою конструкцією було в прохідницькому вибої передбачено операції з відбору дрібної фракції порід та наповнення ними мішків. Наповнені мішки діаметром 0,25 м, довжиною 0,5 м та вагою близько 30 кг в кількості 80 шт. на 1 п.м довжини виробками переміщуватися до місця спорудження конструкції та викладатися у дві стінки на відстані 1,6 м одна від іншої (рис. 5.13). Після цього простір між стінками мав заповнювався рядовою породою. Надалі процес повторювався.

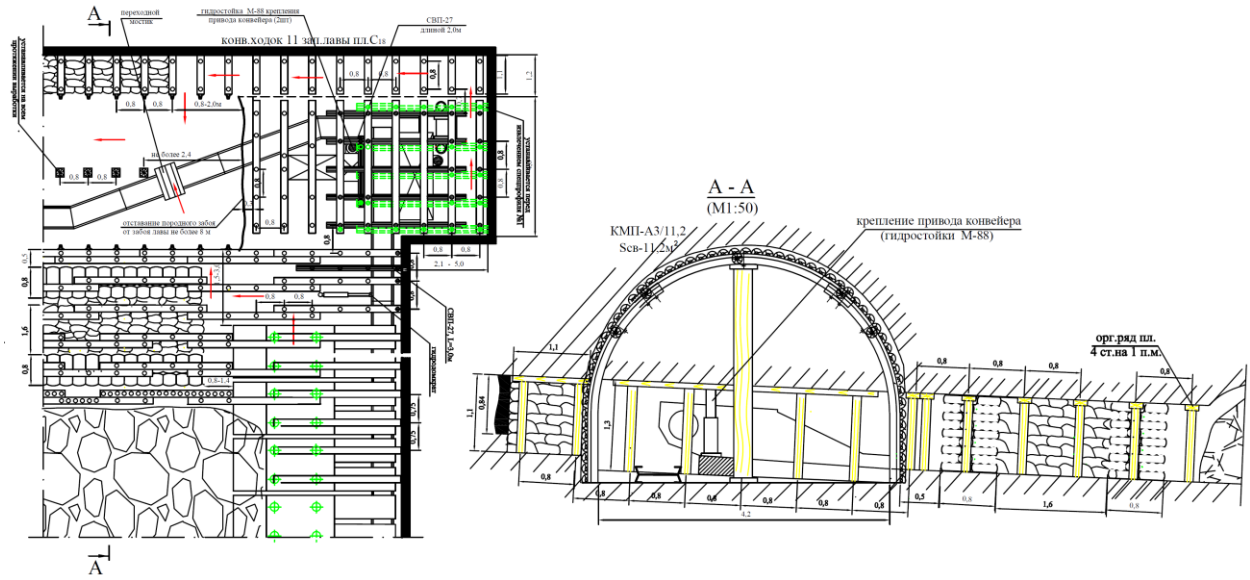


Рисунок 5.13 – Технологічна схема кріплення сполучення конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» з очисним вибоєм зі спорудженням комбінованої породної конструкції

Також було рекомендовано для впровадження використання породних конструкції прямокутної та трапецієподібної форми в основі з компенсаційними порожнинами, але керівництвом підприємства було прийняте рішення про

стрічкове спорудження стінок з мішків та породною смугою між ними в умовах 26-ої західних лав пласту c_{13}. За результатами впровадження прийнятого рішення було встановлено, що стан виробки не погіршився, зміщення порід на контурі були такими, як і при охороні накатними кострами, але витрати на реалізацію способу були значно меншими.

Інша стрічкова конструкція з рядової породи та обмежуючих поверхонь була випробувана в умовах пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова у 2010 році, у конвеєрного штреку 8-ої західної лави, який знаходився у незадовільному стані [283] (розділ 2). Замість бутової смуги шириною 4 м, яка мала піддатливість 63 % та була неефективною, запропоновано позаду кінцевої ділянки даної виробки між стійками СКУ та виробленим простором споруджувати армовану породну смугу (додаток Н).

При фактичному стані виробки її необхідно було проводити польовою, що було рекомендовано, згідно проведеного дослідження. Але за фактом було прийняте пластове розташування, для якого теж були розроблені рекомендації (додаток Н). У наслідок того, що зміщення порід підошви мали найбільшу частку, було рекомендовано використовувати заходи щодо їх запобігання, а також армування бутової смуги.

Згідно рекомендацій ширина бутової смуги мала бути 7 м, але за фактом вона не перевищувала 4 м. Причиною замалої ширини смуги було інтенсивне обвалення порід безпосередньої покрівлі та неможливість виконання робіт позаду секцій механізованого кріплення. Рекомендаціями була підкреслена необхідність виконання паспорту кріплення кінцевої ділянки та викладки смуги шириною 7 м. Та, оскільки це могло бути ускладнене, цю смугу необхідно було поділити на два сектори шириною 4 та 3 м. Сектор шириною 4 м був ближчим до виробки та в ньому для обмеження піддатливості пропонувалося пошарове спорудження породної смуги з укладанням між шарами перегородок з металевих сіток. Другий сектор з боку виробленого простору мав споруджуватись з породи за звичайною технологією (рис. 5.14). У секторі з перегородками було три породні шари, між

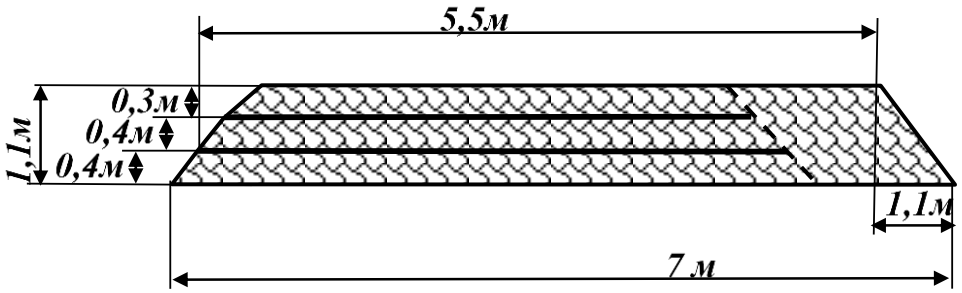


Рисунок 5.14 – Схема розміщення металевих сіток між породними шарами при охороні конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова

якими були дві перегородки з сітчастої затяжки (рис. 5.15), які укладалися паралельно площині напластування порід.



Рисунок 5.15 – Фото з місця спорудження породної смуги, яка армована перегородками з металевої сітки

На основі рекомендацій на підприємстві було розроблено додаток до паспорту кріплення та управління покрівлею 8-ої західної лави пласта m_3, в якому враховано рекомендації (рис. Н.1, додаток Н).

Використання сітчастих перегородок дозволило створити стійку опору шириною 4 м з піддатливістю, яка не перевищувала 25 %. Це позначилося на загальному стані виробки, що охоронялася, та зменшенні обвалень порід на

кінцевій ділянці лави. В цілому конвергенція порід у виробці зменшилася на 0,55 м. Але порівняння стану виробки на експериментальній ділянці та поза нею показало, що в обох випадках його не можна вважати задовільним, оскільки максимальні зміщення порід покрівлі та підошви виробки перевищували гранично допустимі значення (рис. 5.16). На відстані 60 м позаду лави на контрольній ділянці вони склали 2,2 м, а на експериментальній – 1,7 м (рис. 5.16).

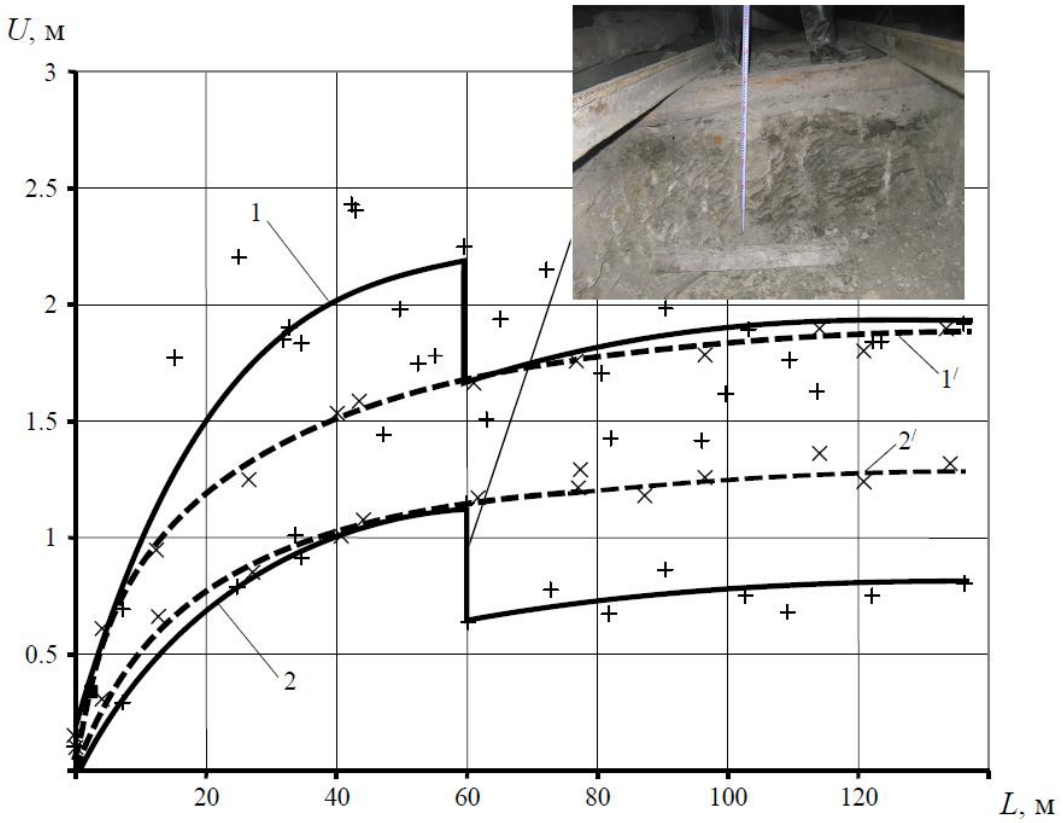


Рисунок 5.16 – Графік залежності конвергенції порід покрівлі та підошви (1, 1/) і зміщень порід підошви (2, 2/) в залежності від відстані до лави на контрольній (1, 2) і експериментальній (1/, 2/) ділянках конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова

При цьому величини видавлювання порід підошви на обох ділянках не відрізнялися та складали близько 1,1 м, а зміщення покрівлі складали, відповідно, 1,1 та 0,6 м. Тобто зменшення піддатливості охоронної споруди за рахунок її армування дозволило зменшити осідання покрівлі на 0,5 м (у 1,8 рази). За фактом, для забезпечення необхідного перетину виробки по її довжині, за

виключенням експериментальної ділянки, здійснювалась підривка підошви на величину 0,5 м на відстані від лави 60 м, а також перекріплення виробки з випуском породи та встановленням рам кріплення на видавлену підошву на відстані понад 160 м. Виключення перекріплення та підривки на експериментальній ділянці було результатом зменшення зміщень покрівлі до 0,6 м, які були менше, ніж піддатливість кріплення (0,7 м). Але треба відзначити, що на експериментальній ділянці замість перекріплення здійснювалась підривка порід підошви на величину близько 1,5 м.

Незважаючи на те, що на обох ділянках виконувались ремонтні роботи, результати спостережень дозволили довести ефективність від зменшення піддатливості бутової смуги укладанням металевих сіток за рахунок виключення перекріплення. Окрім того, на експериментальній ділянці мінімальна висота виробки складала 2,1 м, поза цією ділянкою – до 2,0 м, а іноді зменшувалась до 0,8 м (рис. 5.17).

Технологія охорони виробки опорами з компенсаційними порожнинами була випробувана при підтриманні підготовчих виробок в умовах пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока», де були значні зміщення порід підошви, що вимагало проведення їх підривок (розділ 2).

В умовах 5 східного конвеєрного штреку пласта m_3 гор. 915 м, у період з січня по травень 2011 року, проводились такі випробування на експериментальній ділянці довжиною 50 м (42ПК+5м – 47ПК+5м). Дана виробка проводилась по пласту з верхньою та нижньою підривками бічних порід позаду очисного вибою. Була закріплена металевим піддатливим арковим кріпленням АП-5/18,3 зі спеціального взаємозамінного профілю СВП-33 з підставками довжиною 1,4 м.

Перетин виробки у світлі складав 20,9 м^2, а у проходці 28,6 м^2. Вздовж виробки кріплення встановлювали комплектами по чотири рами у кожному з кроком 0,5 м, а крок між комплектами складав 0,8 м. Міжрамний простір з боку покрівлі закладався залізобетонною затяжкою, а з боків – металевою сіткою.



Рисунок 5.17 – Загальний вигляд виробки на ділянках найбільших деформацій її контуру

В межах виїмкової дільниці потужність пласта змінювалась від 1,37 до 1,52 м, а кут його падіння – від 7 до 12°. Міцність вугілля на одновісний стиск складала 15 МПа, об'ємна вага – 1,32 т/м^3. Безпосередньо над пластом знаходився шар помилкової покрівлі, який був представлений глинистим сланцем з порушеною структурою та перешарованими прожилками вугілля потужністю 0,1÷0,5 м. Вище знаходився шар безпосередньої покрівлі з глинистого сланцю потужністю 3,5÷4,0 м. Цей шар відносився за стійкістю до категорії $Б_3$, а у зонах опорного тиску – $Б_2$. Основна покрівля була представлена глинистим і піщаним сланцями, а також пісковиком. Її потужність була у діапазоні від 28,0 до 42,0 м. Міцність даного шару змінювалась від 40 МПа (для глинистого сланцю) до 95 МПа (для пісковика). Ці породи відносились за обвалюваністю до категорії $А_2$. Безпосередня та основна підошви були представлені піщаним сланцем. Безпосередньо під пластом залягав шар потужністю 0,8 м та міцністю на одновісний стиск від 20 до 30 МПа. Нижче залягав сланець з міцністю від 61 до 75 МПа. За стійкістю він відносився до категорій $П_2$-$П_3$.

Охорона конвеєрного штреку 5-ої східної лави пласта m_3, за аналогією з охороною конвеєрного штреку 3-ої східної лави (розділ 2), здійснювалась смугою шириною 2,0 м з напівблоків розмірами 0,3×0,15×0,09 м, які укладалися на глині на всю потужність пласта. Відставання смуги від секцій механізованого кріплення у лаві не перевищувало 1,9 м. Між смугою з напівблоків та виробкою закладалася рядова порода від прохідницького вибою. Для забезпечення запасного виходу з лави відставання даної породної смуги від вибою штреку складало від 3,0 до 4,8 м, а від механізованих кріплення – від 4,4 до 6,2 м.

Для спостереження за станом виробки при шахтній технології охорони, було обладнано контрольну дільницю довжиною 50 м (35ПК – 40ПК) з розміщенням на ній п'яти контурних замірних станцій з кроком установки 10 м.

На експериментальній ділянці також було передбачено п'ять контурних замірних станцій з кроком установки 10 м. Вздовж даної ділянки замість стрічкового розміщення жорсткої смуги споруджувались відокремлені жорсткі

опори з напівблоків, які укладалися на глині на всю потужність пласта. Розміри опор в основі були 1,5×3,0 м. Ці опори були у вигляді прямокутних паралелепіпедів, які орієнтовані найбільшою стороною своєї основи перпендикулярно поздовжній осі виробки. Між опорами залишалися компенсаційні порожнини шириною 1,5 м та глибиною 2,5 м (рис. 5.18). Відставання найближчої до лави опори від прохідницького вибою та секцій механізованого кріплення складали, відповідно, від 0,4 до 1,9 м та від 1,9 до 3,4 м. При незначному випередженні вибоїв виробки місця спорудження опори передбачався запасний вихід з лави, тому ця опора викладалася напівблоками у два етапи із залишенням проходу між стояком виробки та напівблоками та закладанням його у міру віддалення опори. У вільний простір між опорами та

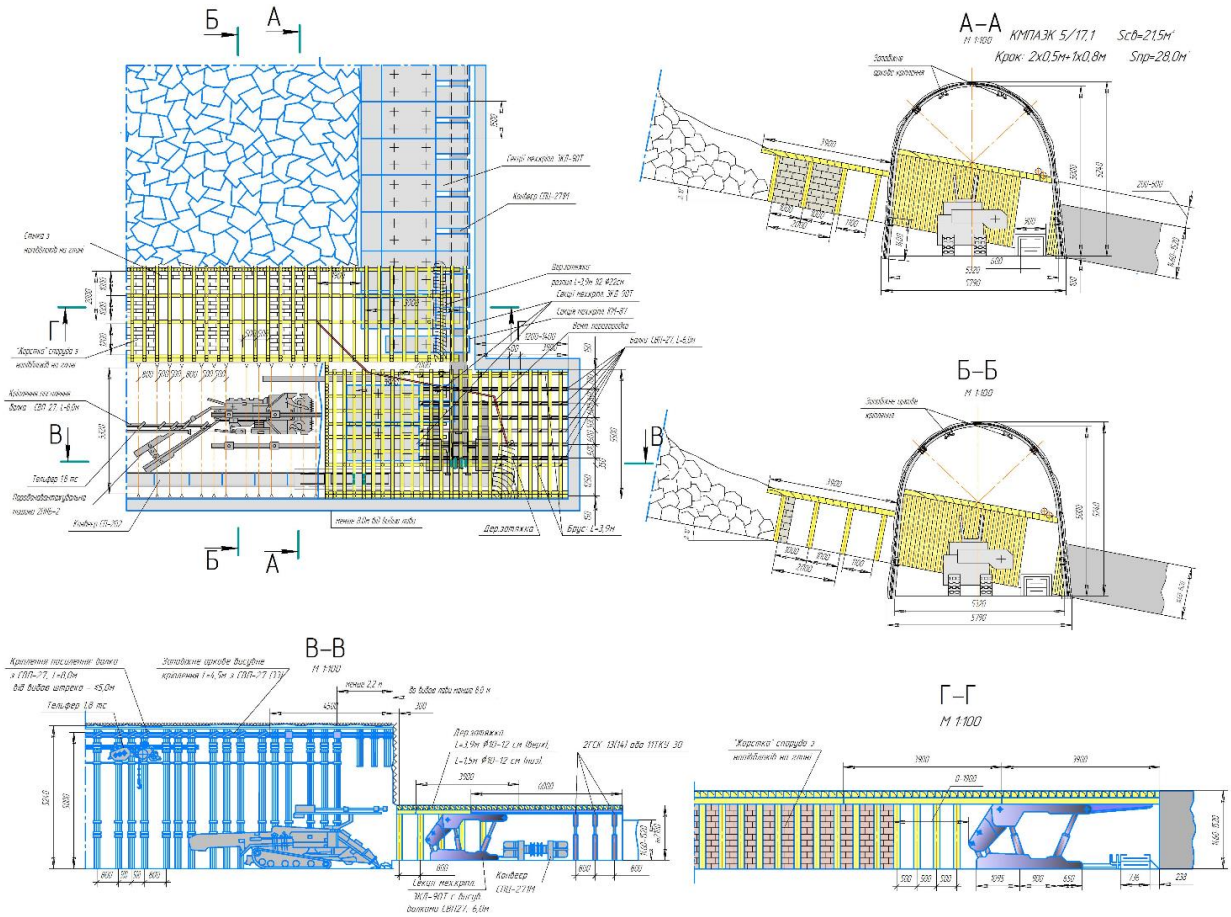


Рисунок 5.18 – Технологічна схема кріплення кінцевої ділянки та спорудження жорстких опор з компенсаційними порожнинами поряд з 5-им східним конвеєрним штреком пл. m_3 гор. 915 м шахти «Щегловська-Глибока»

стояком кріплення виробки розміщувалася порода, але у меншому об’ємі, ніж на контрольній ділянці. Для запобігання витоків повітря через вироблений простір по ширині компенсаційної порожнини з боку виробленого простору з напівблоків між покрівлею та підошвою викладалася стінка товщиною 0,5 м.

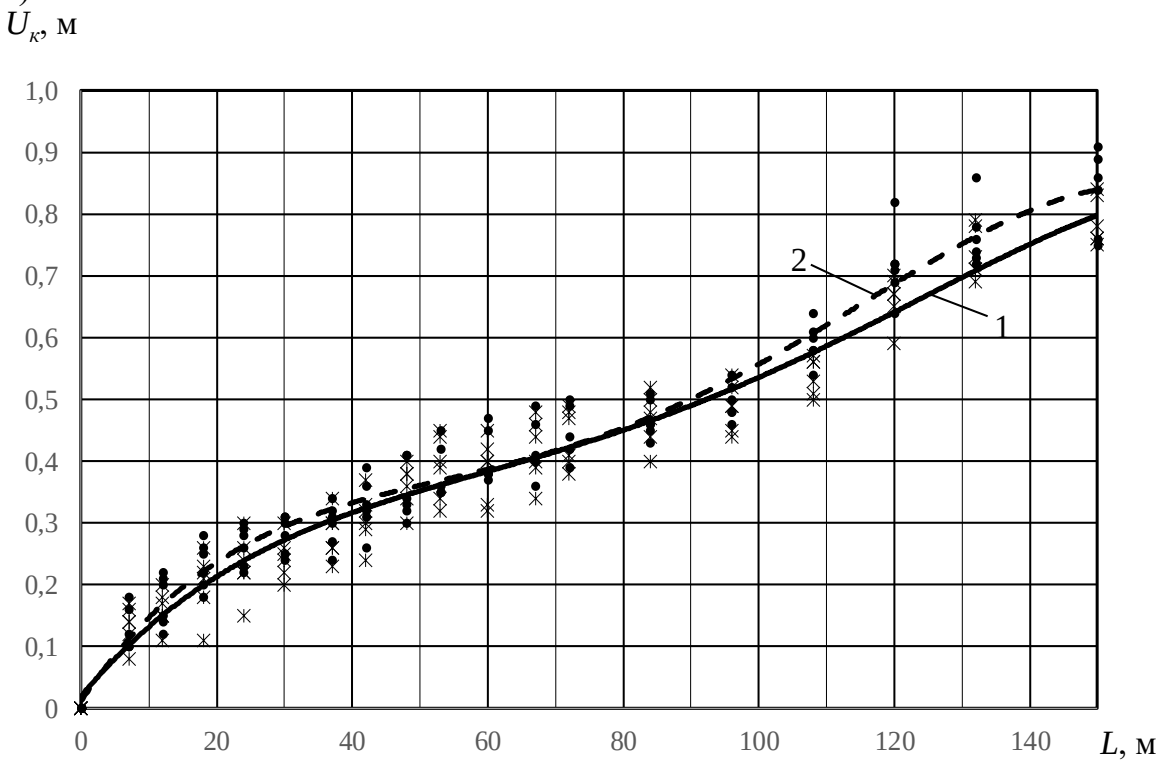
Опис контрольної та експериментальної ділянок, а також методика проведення інструментальних вимірів наведені у додатку Н.

На контрольній ділянці за час інструментальних спостережень величина зміщень порід підошви досягла 1,05 м, а на експериментальній – 0,65 м (рис. 5.19). Треба відзначити, що на відстані 50 м позаду лави зміщення підошви складали, відповідно, 0,68 та 0,41 м, а на відстані 100 м– відповідно, 0,98 та 0,57 м, при 150 м – відповідно, 1,05 та 0,65 м. Зміщення покрівлі на обох ділянках були майже однаковими та складали на відстані 50 м поза лавою 0,38 та 0,37 м, відповідно, на контрольній та експериментальній ділянках, а на відстані 100 м – відповідно, 0,51 та 0,54 м, 150 м – відповідно, 0,79 та 0,84 м.

Таким чином, спорудження відокремлених опор з компенсаційними порожнинами дозволило у виробці, що охоронялася, зменшити видавлювання порід її підошви у 1,6 рази. Це вказує на ефективність даного технологічного рішення для зменшення зміщень порід підошви у порожнину виробки.

Для порід покрівлі ефекту від використання технології отримано не було, крім того, візуальними спостереженнями було відзначено, що в процесі навантаження відокремлених опор мало місце руйнування окремих напівблоків у стінках, які відокремлювали порожнину від виробленого простору. В окремих місцях над запасним виходом, напроти компенсаційних порожнин мало місце руйнування дерев’яних брусів та незначне провисання порід покрівлі. У порожнинах інколи руйнувалися дерев’яні стінки та частково розповзалися опори. Для вирішення проблем, що виникли, у порожнинах необхідно збільшити щільність встановлення дерев’яних стійок, а над запасним виходом – використовувати стійки тертя або гідравлічні стійки, які мають більшу несучу здатність ніж дерев’яні. У міру відходу від лави гідравлічні (або тертя) стійки

а)



б)

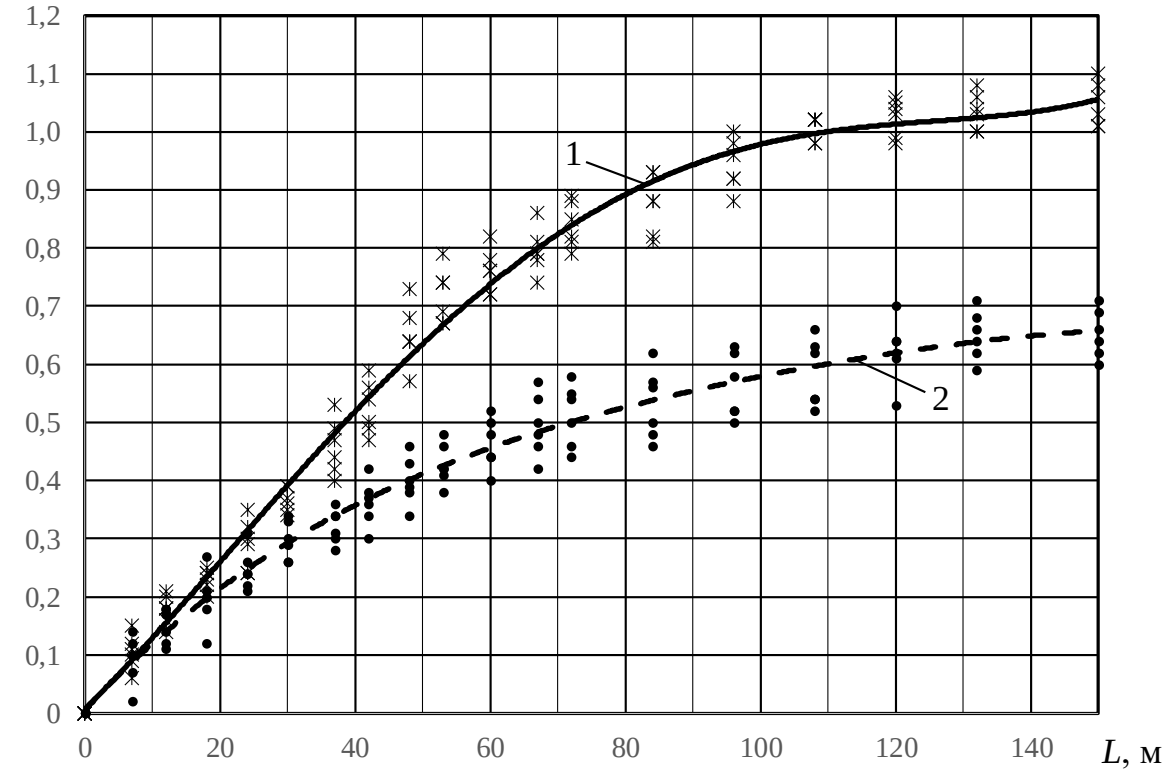


Рисунок 5.19 – Графіки зміщень порід покрівлі (а) та підошви (б) конвеєрного штреку 5-ої східної лави пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока» на контрольній (1) та експериментальній (2) ділянках (⁎ та • – маркери вимірів зміщень, відповідно, на контрольній та експериментальній ділянках)

будуть замінюватись на дерев’яні.

Таким чином, в результаті проведених випробувань нових технологій у шахтних умовах було підтверджено результати теоретичних та лабораторних досліджень та доведено, що:

- використання обмежуючих поверхонь у конструкціях з рядової породи дозволяє збільшити їх несучу здатність та зменшити піддатливість. У певних випадках, зокрема, в умовах слабких бічних порід, вони можуть замінити жорсткі охоронні конструкції;

- при використанні породних конструкцій з обмежуючими поверхнями можна значно зменшити об’єм рядової породи без значної втрати несучої здатності цих конструкцій;

- використання відокремлених опор зі спеціальними формами та залишенням компенсаційних порожнин дозволяє суттєво зменшити видавлювання порід підошви у виробку, що охороняється.

Наступною задачею досліджень має бути оцінка безпеки реалізації запропонованих технологічних рішень та визначення їх економічної ефективності, оскільки це основні критерії, на яких ґрунтується доцільність використання технології охорони.

Оскільки умовами праці є сукупність факторів виробничого середовища та трудового процесу, які впливають на здоров’я та працездатність людини під час виконання нею трудових обов’язків, то необхідно розмежувати умови праці, що пов’язані з технологіями охорони підготовчих виробок, між етапами їх реалізації та експлуатації, тому що вони передбачають різні набори виробничих операцій. Ці технології відносяться до VI-ої технологічної зони в очисному вибої [349] – зони кріплення під час виконання заходів з охорони підготовчих виробок. Умови праці у даній зоні характеризуються, як шкідливі, оскільки передбачають виконання робіт, які виконуються гірниками в умовах запиленості повітря, впливу вібрації, підвищених температур і вологості, шуму та недостатнього освітлення [298]. Ця зона є найбільш захараченою, оскільки на одного робітника

припадає найменша площа робочої зони, а рівень механізації робіт найнижчий та у більшості випадків взагалі нульовий. Всі ці фактори та розподіл рівнів їх небезпеки не залежать або побічно залежать від технологій охорони виробок, які реалізуються у зоні VI. До залежних факторів, які пов'язані з технологією охорони на етапі її спорудження, відносяться психофізіологічні, оскільки визначаються важкістю виконання робіт, та обвалення порід на кінцевій ділянці лави. На етапі експлуатації технології мають розглядатися обвалення порід покрівлі на кінцевій ділянці лави та у виробці, що охороняється.

Ймовірність обвалення порід на кінцевій ділянці залежить від піддатливості охоронної споруди, оскільки зі збільшенням останньої збільшується осідання порід покрівлі на кінцевій ділянці лави, а при перевищенні критичного значення зміщень для певних порід можливі обвалення. Дані висновки були зроблені на основі проведених досліджень щодо прогнозування зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав [296] та визначення їх параметрів у конкретних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах [274, 289]. Щодо обвалень порід у підготовчій виробці, то вони мають місце при інтенсивних зміщеннях її контуру та деформаціях елементів кріплення. Ймовірність обвалення порід у виробці можна визначити за ступенем її деформації ΔS з урахуванням стану підошви виробки (табл. 5.1).

Ступінь деформації виробки визначається виразом

$$\Delta S = \frac{S_{пр} - S_{ф}}{S_{пр}} \cdot 100\%, \qquad (5.5)$$

де $S_{пр}$, $S_{ф}$– відповідно, проектна та фактична площі поперечного перетину виробки, м^2.

Фактична (залишкова) площа поперечного перетину підготовчої виробки визначається за шахтними даними [128, 232] або розрахунково [240, 391]. Зокрема, розрахункова схема визначення залишкового перетину виробки аркової форми показана на рисунку 5.20.

Таблиця 5.1

Ступінь деформацій постійного кріплення, що характеризує ймовірність вивалу [125]

Стан підошви виробки	Ступінь ймовірності вивалоутворення	Ступінь деформації виробки ΔS,%
Стійкий, здимання до 200 мм	Малоймовірна	до 20
	Ймовірна	20-30
	Неминуча	понад 30
Нестійкий, здимання 200-500 мм	Малоймовірна	до 15
	Ймовірна	15-20
	Неминуча	понад 20
Вельми нестійкий, здимання більше 500 мм	Малоймовірна	до 10
	Ймовірна	10-15
	Неминуча	понад 15

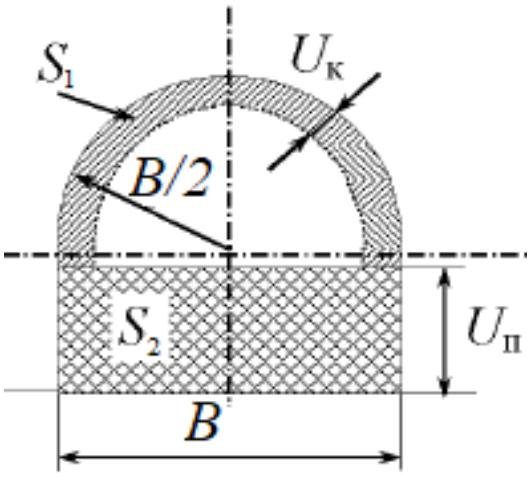


Рисунок 5.20 – Схема для визначення величини залишкового перетину виробки [240] (B– ширина виробки; $U_к$ та $U_п$ – відповідно, зміщення порід покрівлі та підошви виробки; S_1 та S_2 – площі, які займають перетин виробки при зміщеннях, відповідно, покрівлі з боками та підошви)

Згідно з наведеною схемою, залишковий перетин виробки визначається вирахуванням площ S_1 та S_2 з проектного перетину, тобто

$$S_{ф} = S_{пр} - S_1 - S_2, \tag{5.6}$$

де площі S_1 та S_2 визначаються виразами [240]:

$$S_1 = 0{,}5\pi\left(\left(\frac{B}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} - U_к\right)^2\right), \tag{5.7}$$

$$S_2 = BU_п. \tag{5.8}$$

Тоді
$$S_{ф} = S_{пр} - 0{,}5\pi\left(BU_к - U_к^2\right) - BU_п, \tag{5.9}$$

а
$$\Delta S = \frac{0{,}5\pi\left(BU_к - U_к^2\right) + BU_п}{S_{пр}} \cdot 100\%. \tag{5.10}$$

Для умов експериментальної та контрольної ділянок конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова (рис. 5.16, Н.1 додатку Н) ступінь деформації виробки за результатами розрахунку склав, відповідно, 62 та 79 % (додаток П). Втрата площі перерізу, що припадає на породи покрівлі на контрольній ділянці склала 44 %, а підошви – 35 %. Для експериментальної ділянки ці значення склали, відповідно, 27 та 35 %. Тобто за рахунок зменшення піддатливості засобу охорони ступінь деформації виробки зменшив на 17 %, а за фактичними даними – на 12,1 % (67,9 та 80 %, відповідно, для експериментальної та контрольної ділянок). Тобто вираз (5.10) дає збіжність з фактом близько 5 %, тому може бути використаний для встановлення ступеню ймовірності вивалоутворення. Для даної виробки вивалоутворення буде неминучим на контрольній ділянці, а на експериментальній – воно теж не виключене, але тільки у місцях неякісного кріплення, оскільки зміщення покрівлі менші за піддатливість

рам кріплення. У цьому випадку до заходів на експериментальній ділянці необхідно додати заходи щодо запобігання видавлюванню підошви.

Аналогічно було розраховано показники деформацій виробок для умов конвеєрного штреку 5-ої східної лави пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока» та конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», які наведено у таблиці П.1 (додаток П).

Як випливає з таблиць 5.4 та П.1 (додаток П), для умов підготовчих виробок, які розглядалися, вивалоутворення будуть неминучі. Умови закладення даних виробок охоплюють глибини розробки від 310 до 1170 м, кути падіння від 4° до 17 °, міцності порід безпосередньої покрівлі на стиск від 13 до 42 МПа, а підошви – від 20 до 40 МПа. Це дозволяє зробити висновок про те, що запобігти вивалоутворенням порід у виробках засобами охорони неможливо, якщо не буде забезпечене якісне кріплення виробок.

Гірники при спорудженні засобів охорони працюють у вимушених, незручних робочих позах в залежності від потужності пласта, розмірів робочого простору, його захараченості, маси вантажів та протяжності їх переміщення впродовж зміни. Вони відчувають фізичні навантаження різної інтенсивності, які оцінюються енергетичними витратами організму [297, 298]. Виконуються такі роботи: підготовка місця для укладання засобів охорони, приведення в безпечний стан, переміщення їх елементів гірничою виробкою та кінцевою ділянкою, а також укладання у необхідну конструкцію. За цими операціями мають визначатися енергетичні витрати гірників впродовж зміни для планування часу на компенсаційні перерви, а також чисельності виконавців за методикою, що запропонована у роботах [295, 297, 298]. Це дозволить скласти графіки організації робіт з допустимими за тяжкістю праці показниками. Для забезпечення допустимих значень тяжкості праці темп виконання трудових операцій протягом зміни має плануватися відповідно до нормативів часу та необхідної величини компенсаційного відпочинку. Маса утримуваного вантажу не має перевищувати 18 кг, а при його перенесенні - 30 або 40 кг при різній висоті робочого простору

(до 1 м або більше).

Результати визначення середніх енерговитрат та відносної тривалості перерв на компенсаційний відпочинок при виконанні операцій зі спорудження запропонованих охоронних конструкцій наведені в таблиці Р.1 (додаток Р). Встановлено, що майже всі роботи за важкістю відносяться до шкідливих й мають обов'язково виконуватись з перервами на компенсаційний відпочинок. Для зменшення навантаження на гірників при виконанні робіт з мінімальними простоями необхідне залучення до виконання операцій двох та більше осіб.

5.4 Визначення економічної ефективності розроблених технологій охорони виробок

Розроблені технології охорони підготовчих виробок для своєї реалізації передбачають виконання комплексів операцій, які виконуються в певній послідовності для спорудження стійких охоронних конструкцій. Основним матеріалом даних конструкцій є рядова порода. Для забезпечення їх стійкості необхідне використання обмежуючих поверхонь, якими можуть бути металеві сітки, мішки, породо-цементні або породо-анкерні об'єми. За рахунок використання різних конструкцій з різними параметрами досягаються відповідні техніко-економічні показники охорони гірничих виробок. Результатом їх використання будуть деформації порід навколо виробки, що охороняється, від яких залежить, у першу чергу, обсяг ремонтних робіт, до яких відноситься перекріплення виробки та підривка порід підошви.

Для визначення економічної ефективності будь-якої технології охорони необхідне порівняння витрат на її реалізацію, а також витрати на ремонт виробки з аналогічними витратами до використання даної технології. Вираз для визначення економічної ефективності від застосування нової технології охорони матиме вигляд

$$E = \left(B_Б - B_Н\right) L_Н \text{, грн.} \qquad (5.11)$$

де $B_Б$, $B_Н$– питомі витрати на 1 м виробки, що охороняється, відповідно, для базового та нового варіантів технології, грн./м; $L_Н$– протяжність ділянки виробки, яка охоронялася за допомогою нової технології, м.

Витрати на реалізацію технології, а також ремонт виробки передбачають придбання матеріалів, оплату праці, транспортні витрати. Супутніми витрати, до яких відносяться, наприклад, вартості електричної та пневматичної енергій при використанні обладнання, можна знехтувати, якщо вони будуть несуттєвими.

Перекріплення виробки передбачає демонтаж рам кріплення, відбивання породи відбійними молотками, її прибирання немеханізованим способом (вручну) на конвеєр або у вагонетку, кріплення виробки. Підривка порід підошви включає відбивання породи відбійними молотками, її прибирання немеханізованим способом (вручну) у вироблений простір або перекидання та (або) вантаження на конвеєр або у вагонетку. За необхідності виконуються роботи щодо забезпечення експлуатації рейкових шляхів та конвеєрів у містах проведення ремонтів. Ці роботи відносяться до переліку основних операцій, які здійснюються у гірничих виробках, тому норми виробітку за ними можуть визначатися згідно [157], а також за нормами, прийнятими на шахті. Норми виробітку на роботи щодо кріплення кінцевих ділянок лав та спорудження традиційних охоронних конструкцій передбачені документом [158], але й можуть прийматися за шахтними даними. При виконанні робіт, які не передбачені діючими документами, норми виробітку мають визначатися розрахунковим шляхом на основі хронометражних спостережень та визначення нормативів часу.

При впроваджені засобу охорони відокремленими опорами з компенсаційними порожнинами використовувались напівблоки, як і при охороні стрічковою смугою до цього. При цьому кількість напівблоків на 1 м довжини виробки, як до так і після впровадження, була однаковою. Тому ефективність технології охорони відокремленими опорами визначалась з врахуванням витрат на підривку порід підошви та на додаткові операції з розчищення місця під опори та перекидання зайвої породи на конвеєр. Розрахунок очікуваного економічного

ефекту при використанні даної технології для умов конвеєрного штреку 5-ої східної лави пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока» наведений у додатку С. Взагалі він склав 200, 00 грн. на 1 м довжини виробки (у цінах 2011 р.).

Для охоронних конструкцій, які передбачають використання мішків з породою, на основі хронометражних спостережень, було встановлено норми виробітку на основні операції, до яких відносяться: заповнення мішків породою (в шахтних умовах), транспортування та переміщення цих мішків, укладання в конструкції [270]. Ці норми були використані для розрахунку економічної ефективності від застосування комбінованої породної конструкції з рядової породи та мішків в умовах конвеєрного хідника 26-ої західної лави пласту c_{13} (додаток Т). При розрахунку даної ефективності, внаслідок того, що зміщення на контурі як у шахтному, так і пропонованому варіанті були менше граничних, було порівняно тільки витрати на спорудження пакетованої смуги або накатного костра з витратами на комбіновану споруду. Виходячи з цього було встановлено, що економія коштів від застосування конструкції з породними мішками склала 1077,10 і 6452,09 грн./м (у цінах 2020 року) в порівнянні, відповідно, з накатними кострами та пакетованою смугою з суміші “TEKHARD”.

Для технології охорони виробки породною смугою з металевими сітками, яка використовувалась в умовах конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова (рис. Н.1, додаток Н) економічна ефективність визначалася з врахуванням витрат на оплату праці гірників, що були задіяні у спорудженні неармованих та армованих породних смуг, а також витрат на підривку підошви виробки та перекріплення виробки (додаток У). Економічна ефективність від зменшення зміщень порід покрівлі на 0,5 м в умовах конвеєрного штреку 8-ої західної лави склала 6303,33 грн./м (у цінах 2011 р.) при повній заміні 40 % деформованих рам на нові.

Таким чином, приведені результати розрахунків підтверджують те, що розроблені технології охорони підготовчих виробок є ресурсозберігаючими, які,

окрім зменшення фінансових витрат на реалізацію, передбачають збільшення рівня безпеки праці, зменшення трудомісткості робіт та витрат на підтримання виробок.

Висновки до розділу 5

1. Розроблено методику вибору технологій охорони підготовчих виробок та визначення їх раціональних параметрів, яка ґрунтується на поетапному, консеквентному пошуку нових технічних рішень.

2. Результати виконаних досліджень створюють наукову основу охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід та дозволяють:

- визначати умови підтримання підготовчих виробок позаду очисних вибоїв та оперативно визначати заходи охорони підготовчих виробок позаду лав щодо забезпечення експлуатаційного та безпечного стану виробок, у тому числі в умовах слабких бічних порід;

- визначати параметри технологій охорони підготовчих виробок, в тому числі в умовах слабких бічних порід;

- розраховувати величини усадки та просідання засобів охорони, а також зміщень бічних порід навколо виробки, що охороняється, в залежності від основних факторів, що впливають;

- обґрунтовувати та синтезувати нові технічні рішення щодо охорони підготовчих виробок.

3. Розроблено технологічні схеми нових технологій охорони підготовчих виробок позаду очисних вибоїв в умовах слабких бічних порід, що ґрунтуються на встановлених закономірностях забезпечення стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» та управління напружено-деформованим станом у даній системі.

4. Розроблені та вдосконалені технології охорони підготовчих виробок позаду очисних вибоїв забезпечують ефективність підтримання виробок в умовах слабких бічних порід у порівнянні з існуючими технологіями, що було

доведено результатами їх випробувань у шахтних умовах та техніко-економічними розрахунками.

5. Застосування розроблених технологій дозволяє зменшити вірогідність обвалень порід на кінцевій ділянці лави та у виробці, що охороняється, за рахунок зменшення зміщень порід покрівлі над засобом охорони, зменшення ширини зони обвалення порід покрівлі в межах привибійного простору кінцевої ділянки лави та зменшення ступеня деформації виробки.

6. Отримано економічний ефект від впровадження нових технологій охорони підготовчих виробок в умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (очікуваний економічний ефект від 1077,10 до 6452,09 грн. на 1 п.м виробки (у цінах 2020 року), шахт ім. Є.Т. Абакумова (економічний ефект 6303,33 грн./м (у цінах 2011 р.)) та «Щегловська-Глибока» (економічний ефект 200,00 грн./м (у цінах 2011 р.)).

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій дано наукове рішення проблеми, яка полягає у визначенні закономірностей, характеристик і параметрів охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід на основі досліджених механічних явищ у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» для обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих технологій охорони виробок позаду лав, що особливо важливе для перспективних вугленосних районів Донбасу та має наукове, техніко-економічне та соціальне значення.

Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. Установлено, що зміщення порід покрівель виробок над крайовими частинами пласта, кінцевими ділянками лав та засобами охорони лінійно збільшуються при посуванні очисних вибоїв. Вони мають враховуватись при прогнозуванні осідань порід покрівлі у виробці, яка охороняється позаду лави. При цьому зміщення порід покрівлі над засобом охорони є результатом порушення стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», що супроводжується усадкою засобу охорони та (або) його просіданням відносно поверхні підстилаючих порід. Даний підхід дозволив розробити методику розрахунку зміщень порід покрівлі у підготовчій виробці позаду лави на основі встановленої залежності цих зміщень від таких факторів: глибини робіт, потужності вугільного пласта, фізико-механічних характеристик пласта та вміщуючих порід, параметрів кріплення кінцевої ділянки лави, засобу охорони та виробки (розбіжність розрахункових та експериментальних даних становить 8,6…15%).

2. Аналітико-експериментальним методом визначено діапазон зміни навантаження на засіб охорони у зоні впливу лави (від 1,1γH до 1,5γH), від якого близько 90 % передається на підстилаючі породи, незалежно від параметрів

охоронної споруди. Таким чином, на породи підошви, у зоні тимчасового опорного тиску позаду лави, діє навантаження (1,0...1,3)γH.

3. Установлені залежності величини просідання та усадки засобу охорони підготовчих виробок від основних факторів, що впливають, до яких відносяться: величина навантаження на засіб охорони, його ширина, початкова висота, модуль деформацій і коефіцієнт поперечних деформацій засобу, а також показник відносної стисливості підстилаючих порід, який залежить від модуля деформацій порід та коефіцієнта їх поперечних деформацій (розбіжності аналітичних та експериментальних результатів не перевищує 7,5 %).

4. Набули подальшого розвитку дослідження щодо визначення опору зруйнованих осадових порід стисканню на межі залишкової міцності, який визначається за встановленою кореляційною логарифмічною залежністю, з врахуванням граничної міцності цих порід у зразку, їх обводненості, тріщинуватості та реологічних властивостей.

5. Установлено, що просідання засобів охорони відносно поверхні слабких підстилаючих порід є циклічним і відбувається на ділянці залишкового тертя зруйнованих порід, коли загальні поздовжні деформації шару гірських порід досягнуть 12 ‰, а напруження від дії засобу охорони перевищать опір порід стисненню на межі залишкової міцності, що супроводжується порушенням структурних зв’язків у зруйнованому породному об’ємі з його подальшим ущільненням, внаслідок зсувів та провертань породних окремостей між собою.

6. На основі сформульованого критерію стійкості порід під засобом охорони та умови стійкості геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи» обґрунтована необхідність застосовування в умовах слабких порід технологій охорони підготовчих виробок позаду лав, що передбачають зменшення напружень у приконтурному масиві або їх перерозподіл для забезпечення стійкості виробки, що охороняється.

7. Науково обґрунтовано можливість та доведено ефективність створення локальних укріплених зон під засобами охорони в умовах слабких порід

підошви, які представляють собою породо-анкерні, породо-полімерні або породо-цементні конструкції. При цьому вперше встановлено:

- емпіричну ступеневу залежність величини просідання поверхні підошви під засобом охорони, під яким розміщується локальна укріплена зона, від основних факторів, що впливають: навантаження з боку засобу охорони, деформаційних характеристик цієї зони та вміщуючих порід, ширини засобу охорони, потужності слабких підстилаючих порід та геометричних розмірів локальної укріпленої зони;

- відносний показник ефективності локального укріплення порід підошви, який доцільно використовувати для визначення раціональних параметрів даної зони та який враховує її геометричні розміри, ширину засобу охорони та деформаційні характеристики зони і вміщуючих порід;

- ефективну глибину таких зон, яка дорівнює величині, що знаходиться у діапазоні від 0,8 до 2,0 від ширини засобу охорони.

8. Набули подальшого розвитку дослідження щодо особливостей розподілу напружень в засобах охорони з рядової породи, які є елементом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи», та встановлено, що рівновага в цій системі забезпечується використанням обмежуючих поверхонь, у якості яких можуть бути металеві сітчасті перегородки та (або) стінки з мішків, і доведено, що:

- у конструкціях з сітчастими перегородками виникають напруження, які в 1,1-1,5 рази більші за напруження в конструкціях без них, а загальні зсуви зменшуються у 1,73 рази;

- основними параметрами, які визначають ефективність використання сітчастих перегородок у спорудах з рядової породи, при яких забезпечується обмеження піддатливості до 16 %, є: ширина та висота конструкції, розмір чарунок у перегородках, міцність арматури (волокон) на розтягнення, кількість перегородок по висоті споруди та кут внутрішнього тертя порід;

- міцність арматури (волокон) на розтягнення має порівнюватись з максимальними напруженнями у перегородці, що визначаються величиною навантаження на засіб охорони, діаметрами арматури (волокон) та максимальних шматків породи, а також відносною деформацією видовження арматури (волокон);

- загальна ефективна ширина споруд з рядової породи та обмежуючих поверхонь знаходиться у діапазоні від $3h$ до $6h$ (де h – початкова висота споруди), піддатливість – від 0,08 h до 0,3 h,

- кількість перегородок по висоті окремо розташованої породної опори визначається за встановленими експоненціальними залежностями для заданих величин усадки або розширення споруд;

- піддатливість охоронних конструкцій зі стінок з мішків можна обмежити до 16-17 % за допомогою попереднього ущільнення мішків та зменшення пустотності сипкого матеріалу у мішках до 28-29 %, що може контролюватися за величиною відносної усадки кожного мішка з використанням встановленої емпіричної лінійної залежності;

- стійкість окремо розташованої опори визначається шириною її вужчої сторони.

9. Для слабких порід підошви розроблені та обґрунтовані параметри нових технологій охорони підготовчих виробок, що передбачають використання рядової породи й обмежуючих поверхонь в окремо розташованих охоронних конструкціях (опор) у формі прямокутних паралелепіпедів або трапецієподібних призм, між якими залишаються компенсаційні порожнини для перерозподілу напружень у геотехнічній системі «засіб охорони-бічні породи» та спрямування видавлюючих зусиль від виробки. Зменшення величини видавлювання слабких порід підошви у виробку забезпечується розміщенням таких опор з орієнтацією їх вужчими гранями до виробки, при цьому ширина цих граней має дорівнювати або бути більшою за висоту опор, ширина порожнин визначається в залежності від ширини вужчої грані та кута внутрішнього тертя порід підошви, а глибина

порожнин, яка дорівнює довжині опор, має перевищувати ширину вужчої грані у 2…3 рази.

10. Розроблено методику вибору технологій охорони даних виробок та визначення їх раціональних параметрів, яка ґрунтується на поетапному, консеквентному пошуку нових технічних рішень.

11. Для умовах слабких бічних порід запропоновано нові технологічні схеми охорони підготовчих виробок позаду лав на основі розроблених та вдосконалених технологій, що ґрунтуються на управлінні напружено-деформованим станом геотехнічної системи «засіб охорони-бічні породи».

12. Доведено, що розроблені технології охорони підготовчих виробок забезпечують ефективність та безпеку підтримання виробок та кінцевих ділянок лав в умовах слабких бічних порід, що доведено результатами їх випробувань у шахтних умовах, техніко-економічними розрахунками, оцінкою умов праці гірників за важкістю виконання робіт при їх реалізації та визначенням ступеня деформації виробки.

13. Економічний ефект від впровадження нових технологій охорони підготовчих виробок в умовах «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (очікуваний економічний ефект від 1077,10 до 6452,09 грн. на 1 п.м виробки (у цінах 2020 року), шахт імені Є.Т. Абакумова (економічний ефект 6303,33 грн./м (у цінах 2011 р.)) та «Щегловська-Глибока» (економічний ефект 200, 00 грн./м (у цінах 2011 р.)) пояснюється зменшенням матеріальних та трудових ресурсів при їх реалізації використанням у якості основного матеріалу рядової породи у відносно невеликих об’ємах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdullah R.A., Amin M.F.M Verification of post failurebehaviour of rock using closed-circuit servo-controlled testingmachine. Bulletin of the Geological Society of Malaysia. 2008. Vol. 54. P. 17–20 (http://doi.org/10/7186/bgsm2008003).

2. Alejano L.R., Alonso E. Considerations of the dilatancy angle in rocks and rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2005. Vol. 42(4). P. 481-507 (https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.01.003).

3. Alejano L.R., Rodriguez-Dono A., Alonso E., Fdez.-Manín G. Ground reaction curves for tunnels excavated in different quality rock masses showing several types of post-failure behaviour. Tunnelling and Underground Space Technology. 2009. Volume 24, Issue 6. P. 689-705. (https://doi.org/10.1016/j.tust.2009.07.004).

4. Baotang S., Shi J., Barton N. An approximate nonlinear modified Mohr-Coulomb shear strength criterion with critical state for intact rock. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2018. №10. P. 645-652. (https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.04.002).

5. Barczak T.M., Esterhuizen G.S., and Dolinar D.R. Evaluation of the impact of standing support on ground behavior in longwall tailgates. Ground Control in Mining: Proceedings of the 24th International Conference, 2005. P. 23–32.

6. Barczak T.M., Tadolini S.C. Standing Support Alternatives in Western United States Longwalls. Mining engineering, 2006, Volume 58, № 2, P. 49-49.

7. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for underground mining. Springer Science + Business Media, XVIII. 2006. 628 p. (http://doi.org/10.1007/978-1-4020-2116-9).

8. Clayton C.R.I. Stiffness at small strain: research and practice. Ge´otechnique, 2011. Vol. 61. № 1. P. 5–37 (http://doi.org/10.1680/geot.2011.61.1.5).

9. Deere D.U., Miller R.P. Engineering classification and index properties for intact rock. New Mexico: Air Force Weapons Laboratory, Technical Report No. AFWL-TR, 1966. P. 65-116.

10. Derek M. Seventeenth Canadian Geotechnical Colloquium: The effect of cohesion loss and stress path on brittle rock strength. Canadian Geotechnical Journal. 1997. Vol. 34 (5). P. 698-725 (http://doi.org/10.1139/cgj-34-5-698.10.1139/cgj-34-5-698).

11. Diego Mas Ivars. Bonded particle model for jointed rock mass: Diss. ... Doctoral Thesis: KTH Land and Water Resources Engineering, Stockholm, 2010. 94 p.

12. Dolinar D. Ground and Standing Support Interaction in Tailgates of Western U.S.Longwall Mines Used in the Development of a Design Methodology Based on the Ground Reaction Curve. Proceedings of the 29th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia, July 27-29, 2010. Barczak T, ed., Morgantown, WV: West Virginia University, 2010. P. 152-160.

13. Eberhardt E. Brittle rock fracture and progressive damage in uniaxial compression: Diss. ... Doctor of Philosophy: Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan, Saskatoon, 1998. 334 p.

14. Esterhuizen E., Barczak T. Development of ground response curves for longwall tailgate support design. Golden Rocks 2006: The 41st US Symposium on Rock Mechanics, 2006 URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Development-Of-Ground-Response-Curves-For-Longwall-Esterhuizen-Barczak/41a1ff3e5d11061af2644d28c68f5b6d28972a1b (дата звернення 12.09.2019).

15. Farmer I. Coal mine structures. London: Chapman and Hall, 1985. 310 p. (http://doi.org/10.1007/978-94-009-4834-1).

16. Galvin J.M. Ground Engineering – Principles and Practices for Undeground Coal Mining. New York, London: Springer International Publishing Switzerland, 2016. 684 p. (https://doi.org/10.1007/978-3-319-25005-2).

17. Guodong Li, Shugang Cao, Feng Luo, Yong Li, Yaxing Wei. Research on mining-induced deformation and stress, insights from physical modeling and theoretical analysis. Arabian Journal of Geosciences, 2018. 11:100. (http://doi.org/10.1007/s12517-018-3422-9).

18. Hilar M., John V. Numerical modelling of the brezno tunnel re-excavation. ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in

Tunnelling. J. August 27-29. Vienna, Austria. 2007. (http://www.d2-consult.cz/publikace/hilar_john_brezno_ wien.pdf).

19. Hobbs D.W. Stress-strain behaviour of some coal measure rocks. Galliery Guard. 1971. 219. №4. P. 200-202.

20. Houari N. El, Allal M.A., N. Abou Bekr. Numerical Simulation of the Mechanical Response of the Tunnels in the Saturated Soils by Plaxis. Jordan Journal of Civil Engineering. 2011. Vol. 5, № 1. P. 9-31.

21. Huang W., Wang X., Shen Y., Feng F., Wu K., Li C. Application of concrete-filled steel tubular columns in gob-side entry retaining under thick and hard roof stratum: A case study. Energy Science & Engineering. 2019. Vol. 7. 2540–2553. (https://doi.org/10.1002/ese3.442).

22. Jaeger J.C., Cook N.G.W., Zimmerman R.W. Fundamentals of rock mechanics. Oxford: Blackwell Malden, Mass, 2007. 475 p.

23. Jie Li, Mingyang Wang, Kaiwen Xia, Ning Zhang, Houxu Huang, Time-dependent dilatancy for brittle rocks. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 9, Issue 6. P. 1054-1070. (https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.08.002).

24. Jun Guo, Guorui Feng, Pengfei Wang, Tingye Qi, Xiaorong Zhang and Yonggan Yan. Roof Strata Behavior and Support Resistance Determination for Ultra-Thick Longwall Top Coal Caving Panel: A Case Study of the Tashan Coal Mine. Energies. 2018. Vol. 11. P. 1041 (http://doi.org/10.3390/en11051041).

25. Kang J., Shen W., Bai J., Yan S., Wang X., Li W., Wang R. Influence of abnormal stress under a residual bearing coal pillar on the stability of a mine entry. International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27, Issue 6. P. 945-954 (https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.06.012).

26. Karpov G.N., Leisle A.V. Qualitative assessment of strain stress distribution of rock massif in the vicinity of pre-driven recovery room. Jr. of Industrial Pollution Control. 2017. Vol. 33(1). P. 840-846.

27. Luan H., Jiang Y., Lin H., Wang Y. A New Thin Seam Backfill Mining Technology and Its Application. Energies. 2017, 10, 2023 (http://doi.org/10.3390/en10122023).

28. Mucho T. P., Barczak T. M., Dolinar D. R., Bower J., Bryja J. J. Design methodology for standing secondary roof support in longwall tailgates. Ground Control in Mining: Proceedings of the 18th International Conference. Morgantown, WV, 1999. P. 136–148.

29.Nehrii S., Nehrii T., Kultaev S., Zolotarova O. Providing resistance of protection means on the soft adjoining rocks. E3S Web Conf. II International Conference Essays of Mining Science and Practice, 2020. Vol. 168. 00033 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800033).

30.Nehrii S., Nehrii T., Piskurska H. Physical simulation of integrated protective structures. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2018. Vol. 60. 00038 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000038).

31. Nehrii S., Sakhno S., Sakhno I., Nehrii T. Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings. Mining of Mineral Deposits. 2018. Vol. 12, Issue 4. P. 115-123 (https://doi.org/10.15407/mining12.04.115).

32.Nehrii, S., Nehrii T., Bachurin L. and Piskurska H. Problems of mining the prospective coal-bearing areas in Donbas. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2019. Vol. 123. 01011 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301011).

33. Nekache Radouane, Boukelloul M., Fredj M. Stability Analysis of Underground Mining and their Application on the Mine Chaabte El Hamra, Algeria. Procedia Earth and Planetary Science. 2015. Vol. 15. P. 237-243 (https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.058).

34. Ostrowski Ł., Małkowski P. Wpływ zawodnienia na wypiętrzanie skał spągowych wyrobiska korytarzowego. Przegląd górniczy. 2016. № 3.– P. 28-38.

35. Ozbay M. U. Dedet T., Napiert J. A. L. Physical and numerical modeling of rock fracture. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 1996. P. 317-323.

36. Peng G., Zhanguo M., Ray R.Z., Xiaoyan N., Fei L., Zhimin H. Surrounding Rock Deformation Mechanism and Control Technology for Gob-Side Entry Retaining with Fully Mechanized Gangue Backfilling Mining: A Case Study. Hindawi. Shock and Vibration. Volume 2017, ID 6085941, 15 p. (https://doi.org/10.1155/2017/6085941).

37. Paone J. Inelastic deformation of rock under a hemispherical drill bit, by James Paone and Sathit Tandanand. Washington: U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines. 1966. 26 p.

38. Plaxis Events. https://www.plaxis.com/

39. Ren Y., Feng G., Wang P., Guo J., Luo Y., Qian R., Sun Q., Li S., Yan Y. Vertical Stress and Deformation Characteristics of Roadside Backfilling Body in Gob-Side Entry for Thick Coal Seams with Different Pre-Split Angles. Energies. 2019. Vol. 12. 1316. (https://doi.org/10.3390/en12071316).

40. Qiangling Yao, Xuehua Li, Boyang Sun, Minghe Ju, Tian Chen, Jian Zhou, Shun Liang, Qundi Qu. Numerical investigation of the effects of coal seam dip angle on coal wall stability. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. Vol. 100. P. 298-309 (https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.10.002).

41. Qibin L., Cao P., Wang P. Study of Post-Peak Strain Softening Mechanical Behaviour of Rock Material Based on Hoek–Brown Criterion. Advances in Civil Engineering. 2018. vol. 2018. P. 1-9 (https://doi.org/10.1155/2018/6190376).

42. Santarelli F.J. Theoretical and experimental investigation of the stability of the axisymmetric wellbore: Diss. ... Doctor of Philosophy: Imperial College of Science and Technology. London, 1987. 472 p.

43. Shukla S. An Introduction to Geosynthetic Engineering. London: CRC, Press, 2016. 472 p. (https://doi.org/10.1201/b21582).

44. Singh R.N., Ghose A.K. Engineered Rock Structures in Mining and Civil Construction. London, New York: Taylor & Francis, CRC Press, 2006. 520 p.

45. Skrzypkowski K. Comparative Analysis of the Mining Cribs Models Filled with Gangue. Energies. 2020. 13. 5290 (https://doi.org/10.3390/en13205290).

46. Skrzypkowski K. Decreasing Mining Losses for the Room and Pillar Method by Replacing the Inter-Room Pillars by the Construction of Wooden Cribs Filled with Waste Rocks. Energies. 2020. 13(14). 3564 (https://doi.org/10.3390/en13143564).

47. Slaker Brent Allan. Monitoring Underground Mine Displacement Using Photogrammetry and Laser Scanning: Diss. ... Doctor of Philosophy In Mining Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 2015. 144 p.

48. Šňupárek R., Konečný P. Stability of roadways in coalmines alias rock mechanics in practice. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2010. № 2(3). P. 281–288.

49. Tutluoğlu, L., Öge, İ.F. & Karpuz, C. Relationship Between Pre-failure and Post-failure Mechanical Properties of Rock Material of Different Origin. Rock Mech Rock Eng. 2015. № 48. P. 121–141 (http://doi.org/10.1007/s00603-014-0549-1).

50. Walton Gabriel. Improving continuum models for excavations in rockmasses under high stress through an enhanced understanding of post-yield dilatancy: Diss. ... Doctor of Philosophy, Queen's University Kingston, Ontario, 2014.– 569 p.

51. Wang B., Zhang Z., Zhu J. The Impact law of Confining Pressure and Plastic Parameter on Dilatancy of Rock. AIP Conference Proceedings 1864, 020073. 2017 (https://doi.org/10.1063/1.4992890).

52. Wang X., Xie J., Xu J., Zhu W., Wang L. Effects of Coal Mining Height and Width on Overburden Subsidence in Longwall Pier-Column Backfilling. Applied Sciences. 2021, 11, 3105. (https://doi.org/10.3390/app11073105).

53. Wilfing L.S.F.The Influence of Geotechnical Parameters on Penetration Prediction in TBM Tunneling in Hard Rock. Special focus on the parameter of rock toughness and discontinuity pattern in rock mass: Diss. ... Doktor-Ingenieurs: Technischen Universität München, München, 2016. 168 p.

54. Woodley, J.N.L. and Osborne, B.A. MRDE experience in pump packing. Min. Engr. 140. 1980. P. 437-443.

55. Wu R., He Q., Oh J., Li Z., Zhang C. A New Gob-Side Entry Layout Method for Two-Entry Longwall Systems. Energies. 2018. 11, 2084. (https://doi.org/10.3390/en11082084).

56. Yang H., Guo Z., Chen D., Wang C., Zhang F., Du Z. Study on Reasonable Roadway Position of Working Face under Strip Coal Pillar in Rock Burst Mine. Hindawi Shock and Vibration. Volume 2020, ID 8832791, 21 p. (https://doi.org/10.1155/2020/8832791).

57. Yang P., Wu X., Chen J. Elastic and plastic-flow damage constitutive model of rock based on conventional triaxial compression test. International Journal of Heat and Technology. 2018. Vol. 36, № 3. P. 927-935 (http://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.011).

58. Yuhang Xu. Influence of test conditions on post-peak deformation behavior of rock: Diss. ... Doctor of Philosophy: Laurentian University, Судбері, Онтаріо, Канада, 2017. 198 p.

59. Zhang J., Li Y. The Stability of Gob-Side Entry Retaining in a High-Gas-Risk Mine. Hindawi Advances in Civil Engineering Volume 2019, Article ID 7540749, 12 p. (https://doi.org/10.1155/2019/7540749).

60. Zhang Q., Zhang J., Guo S., Gao R., Li W. Design and application of solid, dense backfill advanced mining technology with two pre-driving entries. International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Volume 25, Issue 1, P. 127-132 (https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.12.008).

61. Zhang S., Wu S., Chu C. et al. Acoustic Emission Associated with Self-Sustaining Failure in Low-Porosity Sandstone Under Uniaxial Comp. Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019. 52: 2067 (https://doi.org/10.1007/s00603-018-1686-8).

62. Zhang Z., Shimada H., Sasaoka T., Hamanaka A. Stability Control of Retained Goaf-Side Gateroad under Different Roof Conditions in Deep Underground Y

Type Longwall Mining. Sustainability. 2017. 9, 1671. (https://doi.org/10.3390/su9101671).

63. Zhao H. State-of-the-art of standing supports for gob-side entry retaining technology in China. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2019. 119(11), P. 891-906. (https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/17/449/2019).

64. Zhao J-J, Zhang Y. Studies on rock failure of layered rockin underground mining-face and control techniques. Geomech Geophys Geo-Energy Geo-Resour 2017. 3. P. 405–414 (https://doi.org/10.1007/s40948-017-0068-0).

65. Zhao X.G., Cai M., Cai M.F. A rock dilation angle model and its verification. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2010. Vol. 29(5). P. 970-980.

66. Zhi-liang Wang, Yong-chi Li, Wang J.G. A damage-softening statistical constitutive model considering rock residual strength. Computers & Geosciences. 2007. Vol. 33, Issue 1. P. 1-9. (https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.011).

67. Zong Y., Han L., Meng Q., Wang Y. Strength properties and evolution laws of cracked sandstone samples in re-loading tests. International Journal of Mining Science and Technology. 2020. №30. P. 251–258.

68. А.с. 1065610 А СССР, E21D11/10. Способ охраны подготовительных выработок / В.Н. Рева, Н.П. Бажин, Л.К. Нейман, О.И. Мельников; № 3492984/22-03; заявл. 20.0982; опубл. 07.01.84, бюл. №1.

69. А.с. 1495437 СССР, А1, E21D11/00, E21D13/02. Компенсационная система для охраны горных выработок / В.Н. Рева, Л.К. Нейман, О.И. Мельников, А.В. Шмиголь, В.Я. Кириченко, С.М. Бучатский. № 4275691/23-03; заявл. 02.07.87, опубл. 23.07.89, бюл. №27.

70. А.с. 1800041 А1 СССР, E21D11/00. Устройство для охраны выемочных выработок / Ф.А. Чакветадзе, А.Е. Кусов, В.Л. Ерохин, А.С. Димаштейн, В.М. Андренков, В.Ф. Копашко; №4937045/03; заявл. 21.05.91; опубл. 07.03.93, бюл. № 9.

71. А.с. 461230, E21D15/48. Устройство для охраны выемочных штреков / И.Я. Лещенко, Мартыненко И.А., А.В. Литвинов; №1635407/22-3; заявл. 16.03.71; опубл. 25.02.75, бюл. № 7.

72. Аверін Г.О. Компенсаційна система для охорони гірничих виробок: пат. 4582 Україна, E21D11/00, E21D13/00. № 94230282, заявл. 14.06.91, опубл. 28.12.94, бюл. №7-1.

73. Аверкин Д.И. Обоснование параметров способа охраны выемочных штреков бетонной пакетированной полосой: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / ИГТМ им. Н.С. Поляковаю Днепр, 2017. 197 с.

74. Агафонов А.В., Кожушок О.Д., Халимендиков Е.Н., Прохорец Л.В. Синтез комбинированных охранных систем для поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях. Геотехническая механика. 2008. Вип. 78. С. 73-86.

75. Адонкин А.С. Опыт поддержания подготовительных выработок. Уголь. 1975. №5. С. 34-37.

76. Акопян К.Л. Разработка метода снижения напряжений в массиве горных пород поверхностно-активным веществом при комбинированной разработке месторождения (на примере медно-никелевого месторождения «Шануч»): автореф. дис… на здобуття ступеня канд. техн. наук: 25.00.20 / РГГРУ. М. 2013. 24 с.

77. Амелин В.А., Трипольский В.Н., Янжула А.С., Онопченко С.Е. Моделирование на эквивалентных материалах работы охранной конструкции из двух разнесенных литых полос. Геотехническая механика. 2008. вип. 78. С. 173-177.

78. Аналітико-експериментальні дослідження стійкості виїмкових виробок і розрахунок параметрів кріпильної системи: монографія / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська [та ін.]. Дніпропетровськ: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. 178 с.

79. Андреев В.И., Фролова И.И. Зависимость деформационных свойств грунтов и горных пород от различных физических факторов. Вестник МГСУ. 2011. №4. С. 201-204.

80. Андрощук Н.В. Совершенствование способов охраны повторно используемых подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: 05.15.02 / СПГГИ (ТУ)– Санкт-Петербург. 1997. 21с.

81. Антюхов С.В., Нікішин Д.О., Брюханов О.М., Климашевський М.Й., Нікішин О.І. Спосіб охорони оконтурюючих виїмкове поле виробок та кострове кріплення для його здійснення: пат. 25239 А Україна: МПК E21C41/16; E21D15/48. № 97084218; заявл. 25.03.1998; опубл. 25.12.1998, бюл. №6.

82. Антюхов С.В., Чумак Н.О. Спосіб зведення пришгрекової охоронної смуги: пат. 18719 Україна: МПК (2006), E21D15/00. № u200605879; заявл. 29.05.2006; опубл. 15.11.06, бюл. №11.

83. Ануфриев В.Е., Ремезов А.В., Тризно С.К., Дубровский В.И. Проявления горного давления в окрестности охраняемой для повторного использования выработки в зависимости от свойств опор и технологии их применения. Уголь. 1992. №9. С. 20-23.

84. Армовані основи будівель та споруд: монографія / М.Ф. Друкований, С.В. Матвєєв, Б.Б. Корчевський [та ін.]. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2006. 235 с.

85. Бабенко П. С., Десятерик Н.И., Кардаков В.Е. Об охране выработок на шахтах объединения Октябрьуголь. Уголь Украины. 1982. №5. С. 9-10.

86. Бабиюк Г.В. Системное обоснование и разработка адаптивных способов обеспечения надежности горных выработок: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04 / НГУ. Дніпропетровськ, 2005. 522 с.

87. Бажин Н.П., Глушихин Ф.П., Шклярский М.Ф. Влияние основных факторов на проявления горного давления в подготовительных выработках. Уголь Украины. 1982. № 8. С. 7-9.

88. Байсаров Л.В. Обоснование параметров и разработка технологии комбинированного способа поддержания повторно используемых выработок: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / НГУ, Днепропетровск, 2004. 252 с.

89. Байсаров Л.В., Демченко А.И., Ильяшов М.А., Зборщик М.П., Яйцов А.А., Болбат В.А. Охрана штреков литыми полосам при разработке пологих пластов средней мощности. Уголь Украины. 2001. № 9. С. 3-6.

90. Байсаров Л.В., Ільяшов М.О., Демченко А.І., Болбат В.О., Чернишев Ю.П. Кольчик Є.І., Яйцов О.О., Хрипун М.Д. Спосіб охорони виїмкових виробок: пат. 81856 Україна: МПК (2006), E21D11/00. № a200606188; заявл. 05.06.2006; опубл. 11.02.08, бюл. № 3.

91. Байсаров Л.В., Яйцов А.А., Болбат В.А. Опыт применения импортных и отечественных составов сухих смесей при возведении литых околоштрековых полос на шахте «Красноармейская-Западная» №1. Уголь Украины. 2005. №11. С. 3-5.

92. Баклашов И.В,, Картозия Б.А. Механика горных пород. М.: Недра, 1975. 271 с.

93. Бакуменко С.В., Кузьмин С.В., Демехин Д.Н., Власенко Д.С. К вопросу о размерах охранных целиков у горных выработок на подработанных пластах (состояние вопроса). Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №7. С. 11-16.

94. Барабаш М. Стратегия развития угледобычи на шахтах ДТЭК Энерго как основа энергетической безопасности Украины: доклад. Режим доступа: https://dtek.com/content/files/barabash.pdf (дата звернення 21.09.2020). Назва з екрану.

95. Белаенко Ф.А., Глушко В.Т. Исследование пучения горных пород в капитальных и подготовительных выработках на шахтах Донбасса. Труды Украинского научно-исследовательского института организации и механизации шахтного строительства. 1960. Вып. XI. С. 117-138.

96. Беликов А.В. Обоснование эффективных параметров крепей и охранных конструкций в выемочных штреках с крепкими породами кровли, содержащими слабые контакты : дисс ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, Новочеркасск, 2009. 196 с.

97. Беликов В.В. Эффективность охраны выемочных выработок на тонких и средней мощности угольных пластах тумбами из блоков. Уголь. 2009. №3. С. 40-42.

98. Беликова Н.В. Обоснование оптимальных параметров и конструкции искусственных опор для охраны выемочных выработок: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, Новочеркасск, 2004. 174с.

99. Бобер Е.А. К вопросу о направлениях в конструировании металических костров. Известия Томского политехнического университета. 1958. Т. 84. С. 97-101.

100. Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Вивчаренко А.В., Малыхин А.В. Повышение устойчивости выемочных выработок в слоистом массиве слабых пород. Уголь Украины. 2014. №2. С. 8-11.

101. Бондаренко В.И., Русских В.В., Яркович А.И., Малашкевич Д.С. К вопросу оставления породы в выработанном пространстве угольных шахт. Розробка родовищ. 2014. Т. 8. С. 19-24.

102. Бондаренко Ю.В. Научные основы безлюдной и безотходной технологии выемки весьма тонких пологих пластов: дисс…д-ра техн. наук: 05.15.02 / ДПИ, Донецк, 1991. 355с.

103. Бондаренко Ю.В., Александров С.Н., Кузык И.Н., Бондаренко А.Ю. Определение компрессионных характеристик разделенных саморазрушающимися прокладками породных опор со свободными откосами. Горный журнал. 1994. № 3. С. 1-3.

104. Бондаренко Ю.В., Макеев А.Ю., Теличко В.И., Сапицкий К.Ф. Способ возведения бутовой полосы: пат. 1701920 СССР: Е 21 С 41/20 41/18. № 4790416/03; заявл. 12.02.90; опубл. 30.12.91, бюл. №48.

105. Бондаренко Ю.В., Носач А.К., Макеев, А.Ю., Антипов И.В. Исследования силового взаимодействия свободнорасширяющихся породных опор с боковыми породами. Разработка месторождений полезных ископаемых. 1989. № 84. С. 37-39.

106. Борзых А.Ф. Разработка способов охраны подготовительных выработок при отработке пологих угольных пластов восточного региона Украинского Донбасса: дис... д-ра техн. наук: 05.15.02 / ДонГТУ, Донецк, 1998. 367 с.

107. Борзых А.Ф., Офицеров С.П. Формирование технологических целиков для охраны прилегающих к лаве выработок. УгольУкраины. 2005. №2. С. 12-14.

108. Борзых А.Ф., Посохов Е.В. Определение силовых характеристик костров из стальных специальных взаимозаменяемых профилей. Сборник научных трудов Дон ГТУ. 2012. С. 44-52.

109. Борзых А.Ф., Скрыпник К.Е., Трофимов Е.В., Посохов Е.В. Охрана выемочных выработок с помощью технологических целиков. Уголь Украины. 2015. №5. С. 3-11.

110. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.

111. Борисов А.А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов. М.: Недра, 1964. 278 с.

112. Борщ-Компониец В.И. Практическая механика горных пород. М.: Горная книга, 2013. 322 с.

113. Бузило В., Савельева Т., Сердюк В., Савельев В., Демченко Ю. Исследование напряженно-деформированного состояния массива при отработке свиты пологих пластов. Mining of Mineral Deposits. 2017. Volume 11, Issue 1. P. 80-86 (https://doi.org/10.15407/mining11.01.080).

114. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2002. 372 с.

115. Булат А.Ф., Перепелиця В.Г., Коломієць О.М. Спосіб охорони підготовчих виробок при розробці пластових корисних копалин: пат. 59991 А Україна: МПК (2006) Е21 F15/00. № 2003010091; заявл. 03.01.2003; опубл. 15.09.03, бюл. №9.

116. Булычев Н.С., Амусин Б.З., Оловянный А.Г. Расчет крепи капитальных горных выработок. М.: Недра, 1974. 320 с.

117. Бурма И.И. Разработка и внедрение способов повышения устойчивости выработок глубоких шахт Донбасса: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: 05.15.02 / ДПИ. Донецк. 1992. 23 с.

118. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. К.: Наук. думка, 1989. 192 с.

119. Виробництво та споживання електроенергії в Україні у грудні та за 12 місяців 2020 року https://vse.energy/news/pek-news/electro/1472-electricity-2020-12 (дата звернення 11.01.2021). Назва з екрану

120. Волошин А.И., Рябцев О.В., Коваль А.И. Рекомендации по охране и поддержанию подготовительной выработки позади лавы. Уголь Украины. 2012. №1. С. 20-23.

121. Временная инструкция по охране выемочных выработок полосами из твердеющих материалов: МУП СССР, АН СССР, ИГД им. А.А. Скочинского, М. 1981. 20 с.

122. Временная инструкция по укреплению горных пород химическими растворами: МУП СССР, АН СССР, ИГД им. А.А. Скочинского, М. 1974. 34 с.

123. Временное руководство по применению фосфогипсового вяжущего на угольных шахтах: МУП СССР, АН СССР, ИГД им. А.А. Скочинского, М. 1985. 36 с.

124. Временные технологические схемы охраны подготовительных выработок полосами из твердеющих смесей для бесцеликовой отработки угольных пластов: МУП СССР, АН СССР, ИГД им. А.А. Скочинского, М. 1987. 16 с.

125. Вывалообразования в горных выработках шахт Донбасса / К.В. Кошелев, И.И. Бурма, Д.А. Герасимчук, О.К. Кошелев. К.: Техніка, 1994. 135 с.

126. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / А.В. Анциферов, А.А. Голубев, В.А. Канин [и др]. Донецк: Вебер, 2009. Т.1. 456 с.

127. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / А.В. Анциферов, А.А. Голубев, В.А. Канин [и др]. Донецк: Вебер, 2010. Т.3. 478 с.

128. Гапеев С.Н., Барабаш М.В., Логунова А.О. К выбору критерия целесообразности повторного использования подготовительных выработок. Уголь Украины. 2017. №3. С. 25-29.

129. Гапєєв С.М. Моделювання і прогноз геомеханічних процесів у виробках глибоких шахт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.15.09 / ДВНЗ НГУ. Дніпропетровськ. 2014. 35 с.

130. Гапєєв С.М., Старотіторов І.Ю. Імітаційне моделювання деформування неоднорідних гірських порід в умовах контрольованого руйнування. Геотехническая механика. 2011. Вип. 94. С. 31-40.

131. Геологічні роботи на вуглевидобувних підприємствах України. Керівний документ (КД 12.06.204-99). Мінпаливенерго України. Донецьк. 2001. 384 с.

132. Геомеханіка навантаження і розрахунок параметрів кріпильної й охоронної систем підготовчих виробок шахт Західного Донбасу: монографія / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська [та ін.]. Дніпропетровськ: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. 228 с.

133. Гетце В., Бушман Н., Шроер Д. Требования к вяжущим материалам, используемых для упрочнения пород, охраны и крепления горных выработок. Глюкауф. 1984. №2. С. 18-26.

134. Гик Л.Д. Нелинейность гранулированных и трещиноватых горных пород в условиях малых деформаций. Физическая мезомеханика. 2005. Т.8. № 1. С. 81-89.

135. Гірничий закон України / Відомості Верховної Ради. 1999. №50. С. 453-468.

136. Глушко В.Т., Цай Т.Н., Ваганов И.И. Охрана выработок глубоких шахт. М.: Недра. 1975. 200 с.

137. Гмошинский В.Г. Горное давление и расчет крепей горизонтальных выработок. Исследования горного давления М.: Госгортехиздат. 1976. С. 411-434.

138. Гого В.Б., Кипко А.Э., Власенко Н.Н., Симонова Ю.И., Положий А.В., Подкопаев Е.С. Особенности напряженно-деформированного состояния боковых пород в оценке эксплуатационного состояния горных выработок. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №1(44). С. 53-64.

139. Гоголин В.А. Деформационные и прочностные характристики хрупких горных пород при сжатии. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. №3. С. 3-7.

140. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат. 1973. 627 с.

141. Гордиенко В.Н. Обоснование параметров технологии размещения породы от проведения подготовительных выработок в шахте: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: 05.15.02 / МГИ. М. 1994. 21 с.

142. Давидянц В. Т. Совершенствование способов и средств управления кровлей на шахтах Донбасса. М.: Недра. 1969. 277 с.

143. Дементьев Л.Ф., Жданов М.А., Кирсанов А.Н. Применение математической статистики в нефтегазопромысловой геологии. М.: Недра. 1977. 255 с.

144. Демин В.Ф., Тулепов Н.Н., Демин В.В. Обоснование эффективного способа охраны выемочных выработок при отработке маломощных пластов. Труды университета. 2006. №4. С. 44-48.

145. Демченко А.И. Разработка и обоснование способов обеспечения устойчивости выработок при интенсивной отработке угольных пластов. Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02: ІФГП, Донецьк, 2005 – 140 с.

146. Десятерик Н.И., Кардаков В.Е., Нелюбов А.И. Охрана подготовительных выработок разгруженными от опорного давления ленточными целиками угля. Уголь Украины. 1981. № 11. С. 14-15.

147. Дєглін Б.М., Ільяшов М.О., Кожушок О.Д., Мєлконян А.А., Радченко В.В. Спосіб зведення колоштрекової охоронної смуги: пат. 88752 Україна: МПК (2009), E21D15/00. № a200900346; заявл. 19.01.2009; опубл. 10.11.09, бюл. №21.

148. Диманштейн А.С., Лисичкин В.Г., Мининберг В.Я., Хуторной В.Ф. Исследование деформаций выемочных выработок при различных способах их охраны. Уголь Украины. 1982. № 10. С. 3-5.

149. Дмитриев В.А. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на смещение кровли. Уголь Украины. 1980. №5. С. 10-11.

150. Долгий И.Е. Устойчивость подготовительных выработок угольных шахт в условиях активного проявления горного давления: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: 05.15.04, 05.15.02 / СПГГИ. СПб. 1998. 42 с.

151. Друцко В.П. Физико-технические основы комбинированных способов крепления капитальных горных выработок в сложных горно-геологических условиях: автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11 / ГГА Украины. Днепропетровск, 1996. 18 с.

152. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Грунты. Классификация: К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 47 с.

153. ДСТУ Б В.2.6- 156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: К.: Мінрегіон України, 2011. 114 с.

154. Експериментальні дослідження здимання порід підошви підготовчих виробок на пологих пластах Донбасу: монографія / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська, Г.А. Симанович, В.Г. Снігур. Дніпропетровськ: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. 224 с.

155. Експериментальні дослідження стійкості виїмкових виробок, які повторно використовуються на пологих пластах Донбасу: монографія / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська, Г.А. Симанович [й ін.]. Дніпропетровськ, 2012. 426 с.

156. Ефименко А.А. Околоштрековая охранная полоса из автомобильных шин. Уголь Украины. 1998. С. 13-14.

157. Єдині норми виробітку на гірничопідготовчі роботи для вугільних шахт: Мінпаливенерго України, Київ, 2004. 302 с.

158. Єдині норми виробітку на очисні роботи для вугільних шахт: Мінвуглепром України, Київ, 2006. 352 с.

159. Жаров А.И. Обоснование и разработка перспективных технологических решений по бесцеликовой охране выработок на пологих пластах средней мощности Кузбасса: автореф. дис. на соиск. науч. степени д-ра. тех. наук: 05.15.02 / МГУ. Москва, 1997. 31 с.

160. Заславский И.Ю. О бесцеликовой охране выемочных выработок. Уголь Украины. 1984. №2. С. 17-18.

161. Заславский И.Ю., Боев Н.А., Чураков В.Н. Охрана повторно используемых выработок на шахте «Комсомолец Донбасса». Уголь Украины. 1983. №12. С. 10-11.

162. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках шахт Донецкого бассейна. Харьков: Недра, 1966. 180 с.

163. Заславский Ю.З., Дружко Е.Б. Новые виды крепи горных выработок. М.: Недра, 1989. 256 с.

164. Зборщик М.П. Разработка технологий управления вмещающим массивом и устойчивостью основных подготовительных выработок пологих пластов на больших глубинах: дисс…д-ра. техн. наук: 05.15.02 /ДПИ. Донецк, 1983. 445с.

165. Зборщик М.П., Сахно И.Г. Повторное использование выработок высоконагруженных лав – крупный резерв снижения производственных затрат. Уголь Украины. 2013. №8. С. 6-12.

166. Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения породного массива и использование его энегрии при добыче полезных ископаемых. М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. 413 с.

167. Зубов В.П., Чернышков Л.И., Лазненко К.Н. Влияние подрывок на пучение пород в подготовительных выработках. Уголь Украины. 1985. №7. С. 15-16.

168. Иванов А.Г., Стародубцев Ю.И. Охрана подготовительных выработок железобетонными тумбами в кострах. Уголь Украины. 1972. №3. С. 20-22.

169. Иващенко В.Д., Артамонов В.Н., Кузык И.Н., Сердюченко М.В. Способы повышения жесткости породных опор. Горный журнал. 1994. № 3. С. 50-52.

170. Ивлев Д.Д., Быковцев Г. И. Теория упрочняющегося пластического тела. М.: Наука, 1971. 232 с.

171. Ильин А.И., Теросипов В.М., Баранов С.А. Шахтные специальные крепи из породных стоек. Уголь Украины. 2003. №3. С. 14-15.

172. Ильяшов М.А. Повторное использование подготовительных выработок как элемент обеспечения эффективной угледобычи. Записки Горного института. 2010. Т.188. С. 66-69.

173. Ильяшов М.А., Байсаров Л.В. Новые технологические решения в охране концевых участков высоконагруженных лав. Геотехнічна механіка. 2005. Вип. 61. С. 79-92.

174. Иудин М.М. Геомеханическая модель оценки механических свойств мерзлых горных пород в массиве. Вестник ЯГУ. 2008. №2, т. 5. С. 40-45.

175. Ільїн А.І., Ніколенко М.О., Горячий В.Г., Орлов В.І., Ходос М.Я., Стеблін В.В., Вітка М.О. Спосіб керування гірничим тиском: пат. 45019 А

Україна: МПК (2006), E21D 15/00. № 2001020845; заявл. 06.02.2001; опубл. 15.03.2002, бюл. № 3.

176. Ісаєнков О.О. Геомеханічне обґрунтування параметрів локального укріплення підошви гірничих виробок в умовах інтенсивного здимання: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / ДонНТУ. Покровськ, 2018. 221 с.

177. Ісаєнков О.О., Сахно І.Г. Обґрунтування параметрів локального укріплення підошви за рахунок консолідації порід сумішами, що саморозширюються. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №1(40). С. 35-40.

178. Казанин О. И., Долоткин Ю. Н., Скрыльников И. В. Использование охранных сооружений для поддержания выемочных выработок на угольных шахтах. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 1, С. 34-39.

179. Канин В.А. Физико-технические основы охраны выемочных выработок в условиях неустойчивых пород: дисс…д-ра техн. наук: 05.15.02 / УкрНИМИ НАН Украины. Донецк, 2010. 364 с.

180. Кардаков В.Е., Беспорточный Г.К. Охрана подготовительных выработок тумбами из сборного железобетона. Уголь Украины. 1964. №5. С. 13-14.

181. Касаткіна М.В., Калюжна В.С., Красюк В.О. Вугільна промисловість Луганської області: проблеми та перспективи розвитку. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2018. №4 (245). С. 55-60.

182. Касьян М.М., Негрій С.Г., Мокрієнко В.М., Хазіпов І.В. Спосіб охорони гірничих виробок: пат. 94327 Україна, МПК(2011.01) E21D 11/00 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01), № a200911242; заявл. 05.11.2009, опубл. 26.04.2011, бюл. № 8.

183. Касьян М.М., Овчаренко М.А., Сахно І.Г. Петренко Ю.А., Негрій С.Г. Обгрунтування параметрів нової технології перекріплення виробок за допомогою методу скінчених елементів. Вісті Донецького гірничого інституту. 2008. №2. С. 104-109.

184. Касьян М.М., Сахно І.Г., Малишева Н.М. Спосіб охорони підготовчої виробки: пат. 52335 Україна: МПК (2009) E21F15/00. № u201001482; заявл. 12.02.2010; опубл. 25.08.10, бюл. №16.

185. Касьян М.М., Сахно І.Г., Мокрієнко В.М. Спосіб охорони підготовчої виробки: пат. 61547 Україна: МПК (2011.01), E21F11/00. № u201014964; заявл. 13.12.2010; опубл. 25.07.11, бюл. №14.

186. Касьян М.М., Фельдман Е.П., Хазіпов І.В., Негрій С.Г., Мокрієнко В.М. Спосіб охорони підготовчих виробок: пат. № 54012 Україна, МПК(2011.01) E21D 15/00, № u201004634; заявл. 19.04.2010, опубл. 25.10.2010, бюл. № 20.

187. Касьян Н.Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспечения их устойчивости на больших глубинах: дис... д-ра техн. наук: 05.15.02 / ДонНТУ. Донецьк. 2002. 247с.

188. Касьян Н.Н., Иващенко В.Д., Хазипов И.В., Лабынцев В.Ю. Исследование влияния ограничивающих поверхностей внутри охранного искусственного сооружения из рядовой породы на его нагрузочно-деформационную характеристику. VII школа геомеханики 2007: междунар. науч.-техн. конф., 16-19 окт. 2007 г.: мат. науч.-техн. конф. – Гливице-Устронь, 2007. – С.89-95.

189. Касьян Н.Н., Ильин А.И., Иващенко В.Д., Хазипов И.В. Лабораторные испытания охранных сооружений с использованием породных стоек. Геотехнології та управління виробництвом XXI сторіччя. 2006. Т. 1. С. 93-97.

190. Касьян Н.Н., Клюев А.П., Азаматов Р.И. Способ повышения устойчивости горных выработок: пат. 38094 Україна: E21D13/00, E21D11/00, E21C41/16. № 2000053036; заявл. 29.05.2000; опубл. 15.05.2001, бюл. №4.

191. Касьян Н.Н., Мокриенко В.Н., Сахно И.Г. Опытно-промышленная проверка способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями в условиях шахты «Щегловская-Глубокая». Науковий вісник НГУ. 2012. №6. С. 30-36.

192. Касьян Н.Н., Негрей С.Г., Александров С.Н., Мокриенко В.Н., Курдюмов Д.Н. Обоснование возможности применения метода конечных элементов при расчете напряженно-деформированного состояния дискретизированных пород. Вісті Донецького гірничого інституту. 2010. № 2. С. 138-143.

193. Касьян Н.Н., Негрей С.Г., Мокриенко В.Н., Касьяненко А.Л. Новый подход к методике выбора способов охраны выработок глубоких шахт. Вісті Донецького гірничого інституту. 2012. №1. С. 165-172.

194. Касьян Н.Н., Негрей С.Г., Хазипов И.В. Лабораторные испытания опорных породных конструкций, сооружаемых с использованием гибких разделительных прокладок. Физико-технические проблемы горного производства. 2007. Вып. 10. С. 106-111.

195. Касьян Н.Н., Негрій С.Г., Мокриенко В.Н. Исследование проявлений горного давления в условиях выемочных выработок пласта m_3 шахты «Щегловская-Глубокая». Проблеми гірничої технології: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ: КІІ ДонНТУ, 2010. С. 34-38.

196. Касьян Н.Н., Самойлов В.Л., Хазипов И.В. Результаты лабораторных испытаний опорных породных конструкций с использованием ограничивающих поверхностей. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 3. С. 240-243.

197. Касьян С.И. Обоснование параметров упрочнения неустойчивой кровли химическим анкерованием на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками Сборник научный трудов Донбасского государственного технического университета. 2009. Вып. 28. С. 116-133.

198. Каталымов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. Л.: Химия, 1990. 240с.

199. Качурин В.К. Гибкие нити с малыми стрелками. М.: Гостехиздат, 1956. 224 с.

200. КД 12.01.01.503-2001. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Керівний документ. Київ, 2002. 141с.

201. Кириченко В.Я. Ресурсосберегающие крепи горных выработок для больших глубин разработки. Розробка родовищ. 2013. Т.7. С. 49-57.

202. Кириченко В.Я., Усаченко Б.М. Штрековые металлокрепи, отвечающие экономическим требованиям и геомеханическим задачам больших глубин. Геотехнічна механіка. 2008. Вип. 78. С. 178-189.

203. Кишинский А.В. Разработка технологии поддержания и охраны повторно используемых подготовительных выработок. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 12. С. 164-168.

204. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. М.: Стройиздат, 1977. 256 с.

205. Коваль О.И. Обоснование параметров охранных конструкций выемочных штреков для их повторного использования: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / НГУ. Днепропетровск. 2008. 187 с.

206. Кожушок О.Д. Обґрунтування параметрів комбінованої охоронної системи зростаючого опору для підтримання виїмкових штреків: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / ІФГП, Донецьк. 2009. 199 с.

207. Колоколов О.В., Табаченко М.М., Медяник В.Ю., Пронько Ю.В., Медяник Ю.О., Новіков Ю.І. Спосіб охорони підготовчої виробки: пат. 36714 Україна: МПК(2006) E21D13/02, E21D11/00, E21C41/18. № 2000020523; заявл. 01.02.2000; опубл. 16.04.2001, бюл. № 3/2001.

208. Коломієць О.М., Перепелиця В.Г., Булат А.Ф. Спосіб підтримання сполучення очисного забою та підготовчої виробки при розробці пластових корисних копалин: пат. 68484 Україна: МПК (2006) E21 F15/00. № 2003010663; заявл. 27.01.2003; опубл. 16.08.04, бюл. №8.

209. Колчин А.М., Андриенко В.М., Селезень А.Л. Охрана выработки полосой из бетона. Уголь Украины. 1978. №2. С. 16-17.

210. Комбіновані анкерні системи для повторного використання гірничих виробок. монографія / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська [та ін.]. Дніпропетровськ: ТОВ «ЛізуновПрес», 2017. 188 с.

211. Копишінська К.О., Широкова І.С. Сучасний стан та перспективи інноваційного розвитку атомної енергетики України. Економічний вісник НТТУ «КПІ». 2019. № 16. С. 350-359.

212. Королев К.В. Несущая способность оснований в стабилизированном и нестабилизированном состоянии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02 / СГУПС. Новосибирск, 2014. 326 с.

213. Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок М.: Недра, 1990. 218 с.

214. Круковский А.П., Курносов С.А., Круковская В.В., Аверкин Д.И., Задерий В.В. Определение рациональных параметров породно-анкерных и охранных конструкций на сопряжении лавы с выемочным штреком. Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві. 2016. Вип. 4 (99). С. 54-60.

215. Кужель С.В. Обґрунтування способу підвищення стійкості камер великого поперечного перерізу у вугільних шахтах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн наук: 05.15.04. / НГА України. Дніпропетровськ. 2000. 16 с.

216. Кузнецов Г.И., Леман А.А. Технологические схемы охраны и поддержания выемочных выработок. М.: ЦНИЭИуголь.1983. С. 27.

217. Кузяра В.И., Сусло А.И., Афендиков В.С. Охрана выработок на шахтах объединения Макеевуголь. Уголь Украины. 1984. №10. С. 9-11.

218. Курдюмов Д.Н., Негрей С.Г., Разработка новой ресурсосберегающей технологии охраны горных выработок. Проблемы недропользования: междунар. форум-конкурс молод. ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПГУ, 2011. Ч.1. С. 145-147.

219. Курносов С.А., Задерий В.В., Пилюгин В.И., Демиденко А.Г., Цикра А.А., Аверкин Д.И., Силищев А.Г. Влияние жесткости околоштрековых полос на конвергенцию контура выемочного штрека и состояние вмещающего массива. Геотехнічна механіка. 2015. № 121. С. 160-172.

220. Курносов С.А., Задерий В.В., Цикра А.А., Аверкин Д.И., Филимонов П.Е., Васильев А.В., Васильев В.Г., Перетятько Д.А. Опыт применения сборной охранно-изолирующей полосы из быстротвердеющей бетонной смеси "Текхард". Геотехнічна механіка. 2013. Вип. 112. С. 267-280.

221. Курносов С.А., Осенний В.Я., Задерий В.В., Цикра А.А., Аверкин Д.И. Исследование влияния способов сооружения бетонных околоштрековых полос на их прочностные и деформационные параметры. Геотехническая механика. 2015. Вип. 122. С. 95-106.

222. Курченко И.П. Надежность работы комплексно-механизированного забоя в сложных горно-геологических условиях. Уголь Украины. 1980. №4. С. 18-19.

223. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Груба В.И. Минералогия Донецкого бассейна. К.: Наукова думка. 1975. Ч. 1: 254 с.

224. Лезин Г.Д., Сыздыков М.М., Сакенов Е.К., Герцен А.И. А.С. Способ охраны подготовительных выработок: пат. 1719645 А1 СССР: E21D11/00, E21F15/00. № 4823523/03; заявл. 07.05.90; опубл. 15.03.92, бюл. №10.

225. Лезина Е.Г. Разработка способа определения характеристик горных пород за пределом прочности применительно к задачам разрушения и устойчивости криволинейных обнажений: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.15.11 / МГД им. А.А. Скочинского. М, 1992. 18 с.

226. Литвинов А.В. Устройство для охраны выемочных штреков: пат. 2105155 С1 РФ: МПК E21F15/00. №95120706/03; заявл. 08.12.1995; опубл. 20.02.1998.

227. Литвинов А.В., Ткачев В.А., Туркеничева О.А. Искусственная охранная опора: пат. 2162943 РФ: E21D15/48, № 2000101751/03; заявл. 27.01.2000, опубл. 10.02.2001.

228. Литвинский Г.Г., Бабиюк Г.В. Охрана подготовительных выработок бутовыми полосами с разгрузкой краевой части пласта. Уголь. 1976. №9. С. 39.

229. Литвинский Г.Г., Бабиюк Г.В., Быков А.В. Эффективные способы предотвращения пучения пород в шахтах // ЦНИЭИуголь, ЦБНТИ Минуглепрома УССР.– М., 1985.– 48 с.

230. Литвинский Г.Г., Волошин В.Б., Горбунов И.А. Управление устойчивостью подготовительной выработки взрывной бутовой полосой. Уголь Украины. 1989. №2. С. 19-21.

231. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И. О закономерностях взаимодействия крепи и массива в подготовительной выработке вблизи лавы. Геотехнічна механіка. 2004. Вип. 51. С. 18-23.

232. Логунова А.О. Геомеханическое обоснование целесообразности повторного использования подготовительных выработок угольных шахт: дис.... канд. техн. наук: 05.15.09 / НГУ. Днепропетровск, 2016. 225 с.

233. Лукин К.Д. Разработка новых способов поддержания подготовительных горных выработок в сложных горно-геологических условиях и обоснование их параметров: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: 05.15.02 / МГИ. М., 1991. 16с.

234. Лурий В.Г., Романов Ю.Г., Лукин К.Д. Новый способ охраны и поддержания выработок при бесцеликовой технологии. Уголь Украины. 1989. №10. С. 20-21.

235. Ляшок Я.О., Подкопаєв С.В., Конопелько Є.І., Сімонова Ю.І., Петренко А.В., Осипов К.Ю., Булега І.І., Агафонов О.В. Оцінка стійкості гірничих виробок при ударних навантаженнях. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №2(47). С. 142-154.

236. Мартовицкий А.В., Пилюгин В.И. Концепция перехода шахт Западного Донбасса на повторное использование выработок. Уголь Украины. 2011. № 9. С. 11-15.

237. Масло С.В., Гапеев С.Н. Методика построения аналитической полной диаграммы деформирования горных пород для формирования исходных

данных численных задач геомеханики. Вісті Донецького гірничого інституту. 2014. №1(34)-2(35). С. 97-105.

238. Матвеев А.А. Исследование деформационных и реологических свойств горных пород и массивов для прогноза устойчивости подземных выработок с учетом фрактальной геометрии: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн наук: 25.00.20. / УГГУ. Екатеринбург, 2012. 21 с.

239. Махно Е.Я. Вопросы разработки крутопадающих пластов угля с применением щитовой крепи. М.: Углетехиздат, 1957. 230 с.

240. Машурка С.В. Геомеханічне обгрунтування параметрів комбінованого кріплення і способу охорони виробок, що використовують повторно у складних гірничо-геологічних умовах: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.09 / НТУ ДП. Дніпро, 2019. 232 с.

241. Медяник В.Ю. Формування склепіння рівноваги над підготовчою виробкою за допомогою смуг змінної жорсткості – як спосіб її охорони і безремонтної підтримки. Геотехническая механика. 2009. Вип. 81. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/32838 (дата звернення 02.05.2019 р.).

242. Медяник В.Ю., Ткачук І.В. Технологія зведення охоронних смуг змінної жорсткості при комбінованій системі розробки пологих вугільних пластів на глибоких горизонтах. Науковий вісник НГУ. 2010. №1. С.12–16.

243. Мельников А.В., Хрянина О.В., Болдырев С.А. Прочность и деформируемость слабых грунтов оснований, усиленных армированием: монографія. Пенза: ПГУАС, 2014. 176 с.

244. Методика выбора способов охраны подготовительных выработок от горного давления глубоких шахт: МУП СССР, АН СССР, ИГД им. А.А. Скочинского. М., 1972. 27 с.

245. Методика прогноза перемещений контура крепи выемочной выработки, расположенной в слоистом массиве слабых пород / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович [та ін.]. Днепропетровск: НГУ, 2008. 69 с.

246. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах: ВНИМИ. Л., 1973. 102 с.

247. Методические указания по исследованию проявлений горного давления на моделях из эквивалентных материалов: МУП СССР, ВНИМИ. Л., 1976. 85 с.

248. Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, Ю.И. Васильев [и др.]. Л.: Недра, 1968. 280 с.

249. Мокриенко В.Н. Обоснование параметров способа охраны выработок жесткими сооружениями с компенсационными полостями: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / ДонНТУ, Донецк. 2013. 149 с.

250. Мокриенко В.Н., Касьяненко А.Л. Новый подход к методике выбора способов охраны выработок глубоких шахт. Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2012. №10. С. 362-386.

251. Мокриенко В.Н., Негрей С.Г., Курдюмов Д.Н. Изучение влияния формы охранного сооружения, возводимого вслед за лавой, на механизм смещений подстилающих его пород. Записки Горного института. 2012. Т.199. С. 176-179.

252. Морозов И.Т., Пономаренко П.И. Перспективы применения сплошной системы разработки в Донбассе. Уголь Украины. 1997. №12. С. 8-10.

253. Наумович А.В., Терещук Р.Н. Исследование устойчивости подготовительных выработок глубоких горизонтов в зоне влияния лавы. Геотехническая механика. 2009. вип. 82. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/32991 (дата звернення 15.01.2018 р.).

254. Научные основы управления состоянием высоконагруженных подземных комбинированных систем с целью повышения эксплуатационной надежности охранных конструкций: Отчет о НИР (заключительный). ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. Днепропетровск, 2009. 109 с.

255. Негрей С.Г. Лабораторные исследования по установлению эффективности жестких охранных сооружений в условиях слабых пород почвы.

Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ: ДонНТУ. 2017. С. 40-44.

256. Негрей С.Г. Испытания породных полос с ограниченной податливостью. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №2(39). С. 54-59.

257. Негрей С.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния бутовых опор. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №1(38). С. 9-16.

258. Негрей С.Г. О возможности создания устойчивых породных опор для обеспечения эксплуатационного состояния подготовительных выработок. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2017. Вып. 33. Р. С. 21-30. (http://doi.org/10.20535/2079-5688.0.33.98824).

259. Негрей С.Г. О возможности увеличения несущей способности бутовых полос. Вісті Донецького гірничого інституту. 2011. №1. С. 179-184.

260. Негрей С.Г. Определение параметров комбинированного охранного сооружения из рядовой породы. Вісті Донецького гірничого інституту. 2015. №1(36)-2(37). С. 23-32.

261. Негрей С.Г. Разработка эффективных ресурсозберегающих средств охраны подготовительных выработок. Інноваційний розвиток гірничовидобувної галузі. Тези доп. на Міжнародній наук.-технічній Інтернет-конференції. Кривий Ріг, 2016. С. 114.

262. Негрей С.Г., Кремень И.В. Повышение несущей способности породных стоек за счет изменения компрессионных показателей сыпучего материала. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2013. Вып.19. С. 44-47.

263. Негрей С.Г., Курдюмов Д.Н., Иваненко Е.А. Математическое моделирование процесса деформирования массива пород при различной величине осадки жесткого охранного сооружения. Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сб. научн. трудов. Донецк: ДонНТУ, 2013. С. 83-90.

264. Негрей С.Г., Курдюмов Д.Н., Кремень И.В. Лабораторные исследования несущей способности армированных породных опор. Донбас-2020: Наука і техніка – виробництву: матеріали VI-ої наук.-практ. конф. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2012. С. 86-90.

265. Негрей С.Г., Курдюмов Д.Н., Мокренко В.Н., Климов Д.Н. К вопросу выбора метода исследования распределений напряжений вокруг подготовительной выработки. Перспективи освоєння підземного простору: матеріали 5-ої міжнар. наук.-практ. конф. молод. учених, асп. і студе. Дніпропетровськ: НГУ, 2011. С. 17-20.

266. Негрей С.Г., Курдюмов Д.Н., Мокриенко В.Н. Использование визуализации траекторий смещений при изучении деформаций горных пород с применением методики PLAXIS. Materiali VI Krakowskiej konferencij mlodych uchonych. Krakow, 2011. С. 353-357.

267. Негрей С.Г., Мокриенко В.Н. Об особенностях пучения пород почвы выемочных выработок в условиях m_3 шахты им. В.М. Бажанова. Проблеми гірничої технології»: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ, 2008. С. 97-102.

268. Негрей С.Г., Негрей Т.А. Обоснование возможности применения жестких охранных сооружений в условиях слабых подстилающих пород. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали III-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Красноармійськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2015. С. 106-115.

269. Негрей С.Г., Негрей Т.А. Определение параметров породной полосы с ограниченной податливостью. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Вип. 1/2017(102). С. 50-57.

270. Негрей С.Г., Негрей Т.А., Конопелько Е.И. Установление норм выработки при возведении охранных конструкций на концевых участках лав. Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. 2016. Вип. 2(18). С. 73-81.

271. Негрей С.Г., Петренко А.В, Герасименко Ю. Ю., Рихерт С.В. Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости присечных выемочных выработок. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали III-ої міжнар. наук.-техн. конф. Красноармійськ: ДонНТУ, 2015. С. 44-53.

272. Негрей С.Г., Петренко А.В. Изучение механизма деформирования обособленных породных опор. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали IV-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2016. С. 67-72.

273. Негрей С.Г., Рихерт С.В. Определение параметров жестких охранных сооружений в условиях слабых вмещающих пород. Перспективы развития строительных технологий: материалы конференции. Днепр: НГУ, 2016. С. 96-100.

274. Негрей С.Г., Сахно И.Г., Негрей Т.А., Коломиец В.А. Установление зон активных обрушений пород непосредственной кровли на концевых участках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №1(40). С. 5-18.

275. Негрей С.Г., Мокренко В.Н., Курдюмов Д.Н. Выбор метода моделирования проявления горного давления в выработке, охраняемой жесткими опорами. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2010. Вып.16. С. 93-95.

276. Негрей, С.Г., Климов Е.Н. О необходимости разработки способов охраны выработок с использованием рядовой породы и ограничивающих поверхностей. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2011. Вып.17. С. 237-240.

277. Негрій С.Г. Визначення зміщень порід покрівлі в зоні впливу очисних робіт позаду лави. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №1. С. 41-52 (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-41-52).

278. Негрій С. Визначення пріоритетів розробки засобів охорони підготовчих виробок. Українська школа гірничої інженерії: Тези доп. на XIII міжнародній наук.-практичній конференції (Бердянськ, 03-07.09.19р.), Дніпро, 2019. С. 69-70.

279. Негрій С.Г. Дослідження особливостей процесу передачі навантажень в конструкції з рядової породи. Технічна інженерія. 2020. № 2 (86). С. 171-178. (https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-171-178).

280. Негрій С.Г. Петренко А.В., Негрій О.С. Передумови для вдосконалення способів забезпечення стійкості підготовчих виробок. Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2019. С. 63-79.

281. Негрій С.Г. Усовершенствование технологии охраны подготовительных выработок породными стойками. Вісті Донецького гірничого інституту. 2014. №1(34)-2(35). С. 181-186.

282. Негрій С.Г., Єфремов І.О., Негрій Т.О. Визначення навантажень на засоби охорони в зоні впливу очисних вибоїв. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №1 (46). С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27).

283. Негрій С.Г., Живогляд С.К., Негрій Т.О. Спостереження за станом виробок при суцільній системі розробки. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №2 (45). С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27).

284. Негрій С.Г., Киященко Р.С., Мокрий В.Г., Гіжа М.П. Пошук заходів щодо забезпечення стійкості слабких порід при використанні жорстких охоронних споруд. Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2018. С. 22-28.

285. Негрій С.Г., Негрій О.С. Встановлення ефективних конструкцій засобів охорони виробок у складних гірничо-геологічних умовах. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали VIII-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2020. С. 30-36.

286. Негрій С.Г., Негрій О.С. Проблеми підтримання підготовчих виробок при суцільній системі розробки. Scientific achievements of modern society: the 4th International scientific and practical conference, Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom, 2019. P. 710-715.

287. Негрій С.Г., Негрій Т.О. Дослідження особливостей поведінки слабких бічних порід навколо засобів охорони. Науковий вісник ДонНТУ. 2019. №1-2. С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/2415-7902-2019-1(2)-2(3)-54-79).

288. Негрій С.Г., Негрій Т.О. Умови застосування трапецієподібних охоронних споруд. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №2(41). С. 7-18 (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-2-7-18).

289. Негрій С.Г., Негрій Т.О., Волков С.В. Безпека ведення робіт на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №1(42). С. 31-38 (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-1-31-38).

290. Негрій С.Г., Негрій Т.О., Єфремов І.О. Визначення параметрів окремо розташованих породних опор з компенсаційними порожнинами. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №2 (47). С. 58-71. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-58-71).

291. Негрій С.Г., Негрій Т.О., Коломієць В.О., Іорданов І.В. Спосіб охорони гірничих виробок: пат. 137375 Україна , МПК(2019.01) E21D 11/00, E21F 15/00. a201700437; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.

292. Негрій С.Г., Негрій Т.О., Коломієць В.О., Іорданов І.В. Спосіб охорони гірничих виробок: пат. 142589 Україна: МПК(2020.01) E21D 11/00, E21F 15/00. № a201700436; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.06.2020, бюл. № 12 – 5 с.

293. Негрій С.Г., Негрій Т.О., Курдюмов Д.М. Поддержание выемочных выработок для обеспечения их эксплуатационного и безаварийного состояния Вісті Донецького гірничого інституту. 2013. №1 (32). С.218-225.

294. Негрій С.Г., Сахно І.Г., Мокрієнко В.М. Дослідження механізму передачі навантаження на кріплення виробки від фронту руйнування порід. Вісті Донецького гірничого інституту. 2008. №2. С.13-18.

295. Негрій Т.О. Обґрунтування та розробка заходів щодо зниження виробничого травматизму в технологічних зонах лави: дисс…канд. техн. наук: 05.26.01 / ДонНТУ. Покровськ, 2018. 303 с.

296. Негрій Т.О., Негрій С.Г. Прогнозування зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №2(43). С. 57-68 (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-2-57-68).

297. Негрій Т.О., Негрій С.Г., Ріхерт С.В. Про вплив енергетичних витрат гірників на рівень виробничого травматизму. Вісник Криворізького національного університету. 2017. Вип. 44. С. 78-83.

298. Негрій Т.О., Сахно І.Г., Негрій С.Г. Вплив енерговитрат шахтарів на рівень безпеки праці. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях». 2017. Вип. 7 (1229). С. 81-90. (http://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.07.11).

299. Овчаренко Г.В. Совершенствование технологических схем охраны повторно используемых подготовительных выработок. Записки Горного института. 2013. Т. 205. С. 51-56.

300. Овчаренко Г.В. Тумба для поддержания повторно используемых подготовительных выработок: пат. 2472933 РФ: МПК (2006.01) E21D11/00. № 2011131809/03; заявл. 28.07.2011; опубл. 20.01.2013, бюл. №2.

301. Олексюк Г.В., Самотій Н.С. Тенденції та проблеми розвитку вугільної промисловості України (на прикладі державного підприємства «Львіввугілля»). Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. 2019. 1 (135). С. 3-9.

302. Основания и фундаменты. Справочник / Г.И. Швецов, И.В. Носков, А.Д. Слободян, Г.С. Госькова. М.: Высшая школа, 1991. 383 с.

303. Охрана подготовительных выработок без целиков / Н.П. Бажин, В.В. Райский, Ю.В. Волков [и др]. М: Недра, 1975. 296 с.

304. Пат. к.м. № 144773, МПК E21D 11/14 (2006.01). Спосіб підвищення стійкості порід підошви під засобом охорони / С.Г. Негрій, Т.О. Негрій, О.С. Негрій (Україна). –u202002868; заявл. 12.05.2020, опубл. 26.10.2020. бюл. №20 – 4 с.: іл.

305. Петренко Ю.А. Геомеханические основы сохранения устойчивости выработок глубоких шахт на различных этапах их эксплуатации: дис... д-ра техн. наук: 05.15.02 / ДонНТУ. Донецьк. 2008. 354 с.

306. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 280 с.

307. Піталенко Є.І., Феофанов А.М., Васютіна В.В., Пакін Ю.В. Спосіб охорони підготовчих виробок вугільних шахт: пат. 46525 Україна: МПК (2009), E21D11/05, E21D19/00. № u200907019; заявл. 06.07.2009; опубл. 25.12.09, бюл. № 24.

308. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт / И.Ю. Заславский, В.Ф. Компанец, А.Г. Файвишенко, В.М. Клещенков. М.: Недра, 1991. 235 с.

309. Подкопаев С.В., Гого В.Б., Иорданов И.В., Положий А.В., Симонова Ю.И. Обоснование условий устойчивости откаточных штреков в глубоких шахтах. Технічна інженерія. 2019. №2(84). С. 137-148.

310. Пономарьов І.М., Мартиненко В.Ф., Трунов А.М. Тумба для охорони виробки: пат. № 40609 Україна: МПК (2006) E21D11/00, E21D11/14. № 95073592; заявл. 31.07.1995; опубл. 15.08.2001, бюл. 7.

311. Протодьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования эксперимента. М.: Наука, 1970. 76 с.

312. Процак С.Ю., Аля-Брудзинский И.Ю. Возможность повторного использования присечной выработки для отработки смежного столба 875 лавы пласта $c_8^в$ в условиях ПСП «Шахта «Днепровская» ОАО «Павлоградуголь». Геотехническая механика. 2009. Вип. 82. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/33004 (дата звернення 12.01.2018).

313. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. М.: Недра, 1979. 269 с.

314. Раевский Д.И. Геомеханическое обоснование устойчивости подготовительных горных выработок в слоистых массивах при пологом залегании угольных пластов: дисс…канд. техн. наук: 25.00.20/ СПГГИ. СПб. 2005. 165с.

315. Рангин Н.А., Павленко Т.Н. Выбор способа охраны вентиляционных штреков. Уголь Украины. 1978. №9. С. 6-7.

316. Раух К.-Х. Предпосылки и границы статистического анализа. Глюкауф. 1978. № 19. С. 20-25.

317. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 164 с.

318. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основи физики горных пород. М.: Недра, 1984. 359 с.

319. Руководство по предотвращению пучения почвы и повышению устойчивости горных выработок активной разгрузкой и последующим упрочнением пород (АРПУ). Коммунарск: МУП УССР, КГМИ, 1985. 38 с.

320. Руппенейт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1975. 223 с.

321. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле: учебное пособие. М.: Высш. школа, 1973. 286 с.

322. Рябцев О.В. Область рационального использования различных способов охраны выемочных штреков при отработке пластов высоконагруженными лавами. Геотехническая механика. 2009. Вип. 82. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/33007 (дата звернення 22.07.2018 р.).

323. Сак Т.В., Шепелюк Н.П. Кон’юнктурні дослідження ринку кам’яного вугілля в контексті забезпечення енергетичної безпеки України. Східна Європа: економіка, бізнес та управління. 2019. 4(21). С. 123-128.

324. Сапицкий К.Ф., Бондаренко Ю.В., Выговский Д.Д., Гомаль И.И. О некоторых условиях формирования опорных полос из отбитого угля при безлюдной выемке. Разработка месторождений полезных ископаемых. 1982. № 63. С. 72-77.

325. Сахно И.Г. Геомеханическое обоснование параметров анкерных систем для обеспечения устойчивости горных выработок: дисс…канд. техн. наук: 05.15.02 / ДонНТУ. Донецк, 2007. 202 с.

326. Сахно И.Г. Научные основы управления состоянием горных пород невзрывчатыми разрушающими смесями при подземной разработке месторождений: дсс…д-ра техн. наук: 05.15.02 / НГУ. Днепропетровск, 2015. 457 с.

327. Сахно И.Г., Малышева Н.Н., Нефедов В.Е. Изучение динамики развития деформационных процессов и трещинообразования в породном массиве вокруг выработки, поддерживаемой за лавой. Науковий вісник НГУ. 2014. № 6. С. 46-51.

328. Сахно И.Г., Негрей С.Г., Лызенко А.А. Математическое моделирование деформационных процессов в разрушенных горных породах с помощью метода конечных элементов. Новые технологии подземного строительства и добычи полезных ископаемых: материалы междунар. науч.-техн. конф. Алчевск: ДонГТУ, 2008. С. 122-126.

329. Сахно И.Г., Негрей С.Г., Малышева Н.Н. Исследование влияния параметров анкерных систем на несущую способность формируемой породно-анкерной конструкции. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: материалы междунар. науч.-техн. конф. студ., асп. и молод. ученых. Донецк: Норд-Пресс, 2007. Вып.13. С.47-49.

330. Сахно И.Г., Негрей С.Г., Лызенко А.А. Новый подход к анализу напряженно-деформированного состояния разрушенных горных пород. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: материалы междунар. науч.-техн. конф. студ., асп. и молод. ученых. Донецьк: ДонНТУ, 2008. Вып.14. С. 117-119.

331. Сахно І.Г., Ісаєнков О.О., Ляшок Я.О. Спосіб підвищення стійкості порід підошви гірничих виробок: пат. 116602 Україна: МПК (2006) E21D 20/00, E21D 11/00. № a201702782; заявл. 24.03.2017; опубл. 10.04.2018, бюл. № 7.

332. Сахно І.Г., Ісаєнков О.О., Ляшок Я.О., Родзін С.В. Спосіб укріплення підошви гірничої виробки: пат. 116603 Україна: МПК (2006) E21D 20/00, E21D 11/00. № a201703370; заявл. 07.04.2017; опубл. 10.04.2018, бюл. № 7.

333. Сахно І.Г., Малишева Н.М. Спосіб охорони підготовчої виробки: пат. 65441 Україна: МПК (2011.01) E21D11/00, E21D15/00. № u201104881: заявл. 19.04.2011; опубл. 12.12.11, бюл. №23.

334. Сахно І.Г., Малишева Н.М. Спосіб охорони підготовчої виробки: пат. 65527 Україна: МПК (2011.01) E21F15/00. № u201105792; заявл. 10.05.2011; опубл. 12.12.11, бюл. №23.

335. Симанович А.М. Рациональная конструкция искусственного целика и технология его возведения. Уголь Украины. 1983. №12. С. 13-14.

336. Симанович А.М., Сребный М.А., Малов В.И., Белинский И.Л. Совершенствование способов охраны подготовительных выработок. Донецк: Донбасс, 1973. 121 с.

337. Слащев И.Н. Шахтные исследования устойчивости систем поддержания штреков в условиях легкообрушаемых пород Западного Донбасса. Геотехническая механика. 2012. Вип. 97. С. 177-185.

338. Смачной Н.И., Кузьмич А.К. Об охране выработок на глубоких горизонтах. Уголь Украины. 1982. №6. С. 10-11.

339. Смирнов А.В. Геомеханическое обоснование безопасной технологии подземной добычи угля в неустойчивых вмещающих породах: дис. ... д-ра техн.наук: 25.00.20 / ЮРГПУ. Шахты, 2018. 349 с.

340. Смирнов А.В., Пилюгин В.И. Эволюция современных систем разработки тонких пологих угольных пластов длинными очистными забоями. Розробка родовищ. 2015. Т. 9. С. 7-14.

341. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982. 31 с.

342. Совершенствование средств и способов поддержания подготовительных выработок на шахтах Центрального района Донбасса / А.П.

Калфакчиян, В.Г. Александров, Е.А. Воробьев [и др.]. Днепропетровск: Січ, 1994. 207с.

343. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.09, 05.15.04 / НГУ. Днепропетровск, 2009. 426 с.

344. Солодянкин А.В., Григорьев А.Е., Халимендик А.В., Машурка С.В. Шахтные исследования геомеханических процессов в окрестности участковых выработок ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1». Геотехническая механика. 2015. вип. 123. С. 87-98.

345. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Панченко В.В. Оценка геомеханических условий поддержания протяженных выработок шахт ОАО «Павлоградуголь». Разработка рудных месторождений. 2011. вып. 94. С. 3-6.

346. Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В., Кузяева О.А. Обеспечение устойчивости участковых выработок для повторного использования в условиях ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1». Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. 2015. вып. 1/2015(5). С. 96-105.

347. Соломойченко Д.А. Обоснование устойчивости повторно используемых подготовительных выработок при разработке пологозалегающих угольных пластов: дисс…канд. техн. наук: 25.00.20 / СПГУ. СПб, 2015. 121 с.

348. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. К.: Мінвуглепром України, 2007. 113с.

349. СОУ-П 10.1.00185790.013:2009. Кінцеві ділянки та сполучення лав з підготовчими виробками. Технологічні схеми. Донецьк: ДонВУГІ, 2010. 55 с.

350. Способы и средства охраны подготовительных горных выработок / Н.А. Алышев, Н.А. Шаповал, Ю.А. [и др]. Донецк, 1997. 77с.

351. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протодьяконова. М.: Недра, 1975. 279 с.

352. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. М.: Недра, 1992. 224 с.

353. Стулишенко А.Ю., Брагин Е.П. Обоснование с использованием численного моделирования рациональных способов сохранения выработок за лавами в условиях шахт ГХК «Селидовуголь». Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 12. С. 130-137.

354. Стулішенко О.Ю. Прогнозування зближень порід контуру проведених слідом за лавою підготовчих виробок на пологих пластах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: 05.15.02 / ДонНТУ. Донецьк, 2002. 17 с.

355. Сучасні проблеми проведення та підтримання гірничих виробок глибоких шахт / за ред. С.В.Янко. Донецьк: ДУНВГО, 2003. 256 с.

356. Табалов А.А. Обоснование и разработка параметров бесцеликовых способов поддержания подготовительных выработок на пологих пластах средней мощности в условиях Воргашорского месторождения: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.15.11 / ВНИМИ. СПб, 2000. 18 с.

357. Тарасенко В.В. Основные направления решения проблемы оставления породы в шахтах Донбасса. Уголь Украины. 1984. № 4. С. 5-7.

358. Терещук Р.Н., Лозовский С.П. Устойчивость подготовительных выработок с неустойчивой почвой в зоне влияния очистных работ: монография. Днепропетровск: НГУ, 2014. 104 с.

359. Терещук Р.Н., Солодянкин А.В., Масленников Е.В. Обоснование параметров анкерной крепи для выработок шахт. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2003. № 4. С. 141-144.

360. Технологические схемы проведения, крепления и охраны выработок, сохраняемых позади очисного забоя, на пологих и наклонных пластах Донбасса. Донецк: МУП УССР, ДонУГИ. 1984. 73 с.

361. Технология, механизация и организация проведения горных выработок / Б.В. Бокий, Е.А. Зимина, В.В. Смирняков, О.В. Тимофеев. М.: Недра, 1983. 264 с.

362. Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства : моногр. / В. И. Бузило, В. И. Сулаев, А. Г. Кошка, А. В. Яворской; М-во образования и науки Украины. Д.: НГУ, 2013. 124 с.

363. Тимохин А.Н. Обоснование параметров и разработка податливых опор для охраны повторно используемых выработок: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.15.02 / ВНИМИ. СПб, 1993. 14 с.

364. Ткачев В.А. Обоснование эффективных способов крепления и поддержания подготовительных выработок с учетом взаимовлияния с очистными забоями: автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра. тех. наук: 05.15.02 / ЮРГТУ. Новочеркасск, 2000. 36 с.

365. Тохтуев Г.В., Борисенко В.Г., Титлянов А.А. Физико-механические свойства горных пород Кривбасса. К.: Госгортехиздат УССР, 1962. 102 с.

366. Требования по технике и методике моделирования методом эквивалентных материалов: утв. Техн. упр. МУП СССР 27.12.72. МУП СССР, ВНИМИ. Л. 1973. 56 с.

367. Трупак Н.Г. Упрочнение нарушенных горных пород цементацией. Шахтное строительство. 1978. №9. С. 5-7.

368. Трушко В.Л., Протоседня А.Г., Плащинский В.Ф. Оценка устойчивости обнажений и расчет нагрузок на крепь выработок Яковлевского рудника. Записки горного института. 2006. Т. 168. С. 115-122.

369. Трушко О.В., Петров Д.Н., Стрелецкий А.В. Обеспечение устойчивости горных выработок. Известия высших заведений. Горный журнал. 2012. №2. С. 51-55.

370. Тупиков Б.Т., Теряник В.И. Устойчивость сопряжения лавы в зависимости от условий поддержания подготовительной выработки. Уголь Украины. 1993. №11. С. 9-11.

371. Тупицын А.В., Негрей С.Г., Курдюмов Д.Н., Негрей Т.А. Проблемы поддержания подготовительных выработок в условиях шахты «Комсомолец Донбасса». Проблемы недропользования: междунар. форум-конкурс молод. ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПГУ, 2014. Ч.1. С. 177-179.

372. Указания по рациональному расположению, охране поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л.: ВНИМИ. 1986. 222 с.

373. Указания по упрочнению пород с целью повышения устойчивости горных выработок. Макеевка: МУП УССР, МИСИ. 1978. 41 с.

374. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. К.: Наук.думка, 1979. 136с.

375. Усаченко Б.М., Чередниченко В.П., Головчанский И.Е. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизованных породах. К.: Наук. думка, 1990. 144 с.

376. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.

377. Фидаров М.И. Проектирование и возведение прерывистых фундаментов. М.: Стройиздат, 1986. 156 с.

378. Хазипов И.В. Разработка способов создания искусственных породных сооружений для охраны повторно используемых выемочных выработок: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / ДонНТУ. Донецк, 2009. 157 с.

379. Халимендик Ю.М. Применение крепи в слабых слоистых породах угольных шахт. Уголь Украины. 2015. № 3-4. С. 20-25.

380. Халимендик Ю.М., Бруй А.В., Барышников А.С. Поддержание штрека канатными анкерами в условиях слабых боковых пород. Геотехническая механика. 2013. вип. 110. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60033 (дата звернення 01.03.2018 р.).

381. Цаплев В.М., Иванюк Р.М., Зверевич В.В. Ультразвуковой контроль нелинейных упругих характеристик микротрещиноватых поликристаллических горных пород. Записки горного института. 2013. Т. 204. С. 105-109.

382. Церр Л.Б. Разработка способа охраны примыкающих выработок с помощью разгрузки пород от напряжений на пологих пластах средней мощности: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн наук: 05.15.02. / КарПТИ. Караганда, 1992. 14 с.

383. Цирель С.В., Гапонов Ю.С., Шоков А.Н. Оценка влияния гранулометрического состава на сжимаемость и пустотность закладочного материала. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №12. С. 80-83.

384. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. 288с.

385. Чакветадзе Ф.А. Разработка эффективных технологий активного воздействия на окружающий массив для повышения устойчивости подземных горных выработок: автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: 05.15.02. / МГГУ. М, 1994. 36 с.

386. Чернышов А.В. Охрана выемочных выработок искусственными сооружениями. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №3. С. 55-61.

387. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок. М.: Недра, 1993. 256с.

388. Черняк И.Л., Юсов А.Б. Управление массивом пород вокруг подготовительной выработки с помощью активного распора. Уголь. 1982. №9. С. 21-23

389. Шабаев С.Н. Влияние крупности частиц раздробленной горной породы на величину модуля упругости. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. №5. С. 35-42.

390. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. Совершенствование критерия для устойчивости пород почвы выработки. Проблеми гірського тиску. 2014. № 1-2. С. 77-95.

391. Шашенко А.Н., Хозяйкина Н.В., Смирнов А.В. Обоснование необходимой ширины охранного устройства при повторном использовании

подготовительных выработок в угольных шахтах. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 6. С. 235-243.

392. Шашенко О.М., Сдвижкова О.О., Гапєєв С.М. Деформованість та міцність масивів гірських порід. Дніпропетровськ: НГУ, 2008. 224 с.

393. Штанько Л. А., Ремизов А.В. Обоснование способов охраны выемочных выработок пласта m_3 на шахте "Карбонит": сб. науч. тр. Алчевск: ДонГТУ, 2010. Вып. 32. С. 109-113.

394. Щипанов П.В. Разработка методов поддержания выемочных штреков в условиях активного проявления горного давления при их повторном использовании: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.15.02 / СПГУ. СПб, 1993. 19 с.

395. Юдковский В.А., Рудницкий Ю.И., Глебов В.П. Бесцеликовая технология охраны и поддержания выработок на шахте «Новодзержинская». Уголь Украины. 1984. №10. С. 12.

396. Якоби О. Практика управления горным давлением. М.: Недра, 1987. 566 с.

397. Яланский А.А., Сапунова И.А., Слащев А.И., Новиков Л.А. Обоснование исходных параметров для моделирования геомеханических процессов в задачах оценки безопасности поддержания горных выработок. Геотехнічна механіка. 2014. №119. С. 282-295.

ДОДАТКИ

Додаток А

Відомості про умови розробки вугільних пластів на шахтах українського Донбасу

Таблиця А.1

Умови розробки вугільних пластів на шахтах українського Донбасу (за період з січня 2015 р. до теперішнього часу)

Назва шахти	Індекси пластів	Потужності пластів, м	Кути падіння пластів, град.	Системи розробки	Засоби охорони
1	2	3	4	5	6
ДП ДУЕК					
Трудівська	m_3, l_4, k_8	1,1-1,5	10-12	стовпова	-
ім. О.О. Скочинського	h^1_6	0,75-2,42	8-35	суцільна; комбінована	бутова смуга; бутокостри; костри; цілики вугілля
ім. Є.Т. Абакумова	m_3, l_4, k_8	1,1-1,5	7-12	стовпова; суцільна	бутова смуга; стійки СКУ
ім. М.І. Калініна	h_{10}, h_8, h_7	0,8-1,3	19-22	суцільна	бутова смуга
Жовтневий рудник	m_3, l_4, l_8, k_8	0,87-1,6	8-16	суцільна	бутова смуга
ім. М.С. Сургая	c^2_{10}, c_{11}, c_{13}	0,7-1,65	5-10	комбінована, суцільна	бутокостри; бутова смуга
ім. Челюскінців	m_3, l_4, k_8	1,1-1,54	12-18	стовпова	-
Лідієвка	l_7, l_1	0,7-0,9	8-12	суцільна	бутова смуга
Моспинська	h_4	0,75	0-10	стовпова	-
ДП"Макіїввугілля"					
ім. В.М. Бажанова	m_9, m_7, m_6, m_3	1,61-1,91	3-9	комбінована	бутова смуга
Холодна балка	h_{10}	0,91-1,1	3-4	суцільна; комбінована	блоки БЗБТ
Бутівська	n_1	2,2-2,3	6-26	суцільна; комбінована	бутова смуга; блоки БЗБТ; газобетонні блоки

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	6
Чайкіно	m_3	1,58-1,85	8-12	стовпова; суцільна; комбінована	бутова смуга; блоки БЗБТ
ДП "Мирноградвугілля"					
5/6	k_5,k_8, k_7,l_1	0,89-1,2	9-12	стовпова	-
Центральна	l_1,l_7,k_7,h_{10}	1,1-1,4	8-16	стовпова	-
Капітальна (ім. О.Г. Стаханова)	l_7,l_3, l_1,k_5	0,58-2,3	6-11	стовпова; суцільна	бутова смуга; бутокостри; костри
Родинська	l_7, k_5	0,6-1,0	8-17	стовпова	-
ДП"Селидіввугілля"					
Котляревська (Росія)	l_1, l_2	1,0-1,2	9-12	стовпова	-
Україна	l_2, k_8	1,2-1,3	8-15	стовпова	-
1/3 Новогродівська	l_1	1,1-1,4	7-14	стовпова	-
Курахівська	l_2, l_7, k_8	0,73-2,7	9-16	стовпова	-
ДП "Шахтарськантрацит"					
Шахтарська-Глибока	h_8,h_7,h_6, h_4,h_3',h_3,h_2	0,89-1,5	16-18	стовпова	-
Іловайська	$h_{10}^{в}$	0,8-0,9	12-16	комбінована	бутова смуга
ДП "Торезантрацит"					
Прогрес	h_8, h_7, h_6	0,9-1,43	4-15	комбінована; стовпова	бутова смуга; цілики вугілля
ім. Л.І. Лутугіна	h_7, h_8	0,79-1,5	4-9	стовпова	-
ім. К.І. Кисельова	h_4	0,84-0,87	10-11	суцільна	бутова смуга
ДП "Сніжнеантрацит"					
Ударник	h_3, h_7	1,1-1,23	6-10	стовпова	-
Зоря	h_6, h_7	0,8-1,5	3-16	суцільна; комбінована; стовпова	бутова смуга
Ш/У "Донбас"					
Щегловська-Глибока	m_3, l_1, k_8	1,0-2,2	2-30	суцільна; комбінована	бутова смуга; напівблоки
Комунарська	k_5, k_3, k_2, k^1_4	1,1-1,9	15-30	суцільна; комбінована	бутова смуга; напівблоки
Ш/У "Покровське"					
Шахтоуправління «Покровське»	d_4	0,90-2,15	2-7	стовпова; комбінована	костри; литі смуги

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	6
Ш/У "Південнодонбаське №1"					
Південнодонбаська №1	c^2_{10}, c_{11}, c_{13}, c_{18}	0,85-1,6	5-10	стовпова; комбінована	костри; бутові смуги; пакетовані смуги
ВК "Краснолиманська"					
Краснолиманська	m_4, l_3,k_5	0,6-2,2	6-12	стовпова	-
ДТЕК					
Комсомолець Донбасу	l_7, l_6, l_4, l_3	0,7-1,6	5-12	стовпова; комбінована	цілики вугілля, костер
ім. Героїв Космосу	c_9, $c_{10}^в$, c_{11},	0,6-1,25	2-3	стовпова; комбінована	костри
Благодатна	$c_8^н$, $c_7^н$	0,65-1,3	2-3	стовпова; комбінована	костри
Павлоградська	$c_8^н$, $c_7^н$	0,60-1,50	1-3	стовпова; комбінована	костри
Західнодонбаська	$c_8^в$	1,05	2-3	стовпова; комбінована	костри; стійки СКУ
Самарська	c_4, c_1	0,55-1,70	2-3	стовпова; комбінована	костри
ім. М.І. Сташкова	$c_8^в$,$c_8^н$+$c_8^{н1}$, c_6,c_5+$c_5^в$	0,80-1,30	1-6	стовпова; комбінована	костри
Степова	c_6, $c_6^/$	0,55-1,10	3-5	стовпова; комбінована	костри
Ювілейна	c_6, $c_6^/$	0,55-1,10	3-4	стовпова; комбінована	костри
Терновська	$c_4^н$, c_5, $c_6^н$	0,55-1,40	2-3	стовпова; комбінована	костри
ім. М.П. Баракова	$k_5^н$	1,45-1,68	0-4	стовпова; комбінована	костри
Новодонецька	l_8, $l_8^н$, l_3, k_8	0,70-2,62	9-15	стовпова	-
Білозерська	l_8, l_3	0,50-2,96	10-12	стовпова	-
Добропільська	$m_5^{1в}$,m_4^0	1,0-1,20	10-11	стовпова	-
Алмазна	l_3, $l_2^/$,l_1,$m_5^{1в}$	0,55-2,84	10-12	стовпова	костри
ДП "Лисичанськвугілля"					
ім. Г.Г. Капустіна	m_3, l_3,l_1	0,8-2,2	12-18	суцільна	бутові смуги
Новодружеська	l_4, k_8	0,7-1,2	14-19	стовпова	-
Привільнянська	m_3, k_3	0,87-1,4	12-18	стовпова	-
ім. Д.Ф. Мельникова	l_4, k_8	0,9-2,2	11-20	стовпова; суцільна	бутові смуги; костри

Додаток Б

Результати аналізу перспективних районів Донбасу

Таблиця Б.1

Поширення вугілля за марками в межах окремих вугленосних районів

Назва вугленосного району	Найменування вугільних світ, що присутні в межах району	Назви вугільних пластів, що відносяться до світи	Марка вугілля, що відносяться до пластів відповідної світи
Петриківський	C_1^3	c_1, c_2^1, c_3, c_4	БД-Д
	C_3^2	g_2, g_3	
	C_2^1	f_1	
Новомосковський	C_1^3	c_1, $c_1^в$, c_4^1, c_4^3, $c_8^н$, $c_8^в$, c_{10}, c_{11}, c_{12}	Д-Г
	C_2^2	g_1	
Лозовський і Павлоградсько-Петропавлівський	C_1^3	c_1, c_4, c_6, c_8, c_{11}, c_2^2, c_2^3, c_2^5	Г-Ж
	C_2^2	g_1	
	C_2^3	h_1, h_{10}	
	C_2^5	k_8	
	C_2^6	l_4, l_7, l_8, l_8^1	
	C_2^7	m_1	
Південно-Донбаський	C_1^3	c_1^1, c_4, c_4^2, c_6^1, c_9^2, c_{10}, c_{10}^1, c_{10}^2, c_{12}^3, c_{13}, c_{18}, d_4	Г-К
	C_2^1	b_5^1	
Покровський	C_2^5	k_5, k_7, k_8	Г-Ж
	C_2^6	l_1, l_3, l_6, l_7, l_8	
	C_2^7	m_3, m_4^0, m_4^2	
	C_1^3	d_4	
Лисичанський	C_2^7	m_3, $m_3^в$, $m_3^н$, m_6^2, m_7	Д
	C_2^6	l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_8	
	C_2^5	k_7^1, k_8	
Північний Донбас	C_2^6	l_4, l_7	Д-ДБ
	C_2^5	$k_2^н$, k_8	
	C_2^7	m_3, m_7^1	

Додаток В

Результати визначення стійкості бічних порід в умовах шахт перспективних районів Донбасу

Таблиця В.1

Визначення значень критерію стійкості порід на контурах гірничих виробок, що підтримуються в умовах діючих шахт

Назва шахти	Назва вугленосного району	Глибина робіт, м	Діапазон зміни міцності бічних порід на стиск, МПа	Значення критерію стійкості (характеристика) порід, од.
ім. Героїв Космосу	Лозовський та Павлоградсько-Петропавлівський	580	30,0÷50,0	0,46÷0,27 (від нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Благодатна»		325	5,0÷26,0	1,53÷0,29 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Павлоградська»		280	5,0÷25,5	1,35÷0,26 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Західнодонбаська»		585	25,0÷45,0	0,59÷0,32 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Самарська»		250	10,0÷42,0	0,59÷0,14 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Дніпровська»		340	15,0÷60,0	0,53÷0,13 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
ім. М.І. Сташкова		343	20,2÷24,0	0,27÷0,23 (седедньостійкі; схильні та несхильні до здимання)
«Степова»		383	15,0÷37,0	0,62÷0,25 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Ювілейна»		370	15,0÷35,0	0,59÷0,25 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Терновська»		258	15,0÷37,0	0,42÷0,17 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)

Продовження табл. В.1

Назва шахти	Назва вугленосного району	Глибина робіт, м	Діапазон зміни міцності бічних порід на стиск, МПа	Значення критерію стійкості $\gamma H / R_c$ (характеристика) порід, од.
«Новодонецька»	Покровський	620	18,1÷28,6	0,84÷0,53 (дуже нестійкі; схильні до здимання)
«Піонер»		555	30,0÷40,0	0,45÷0,34 (нестійкі; схильні до здимання)
«Родинська»		650	30,0÷60,0	0,51÷0,26 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Білозерська»		897	25,0÷60,0	0,84÷0,35 (від дуже нестійкого до нестійкого; схильні до здимання)
«Добропільська»		620	20,0÷30,0	0,74÷0,49 (від дуже нестійкого до нестійкого; схильні до здимання)
«Білецька»		829	30,0÷60,0	0,51÷0,26 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Алмазна»		850	35,0÷60,0	0,58÷0,34 (від дуже нестійкого до нестійкого; схильні до здимання)
«Краснолиманська»		937	43,0÷120,5	0,52÷0,19 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Центральна»		760	30,0÷60,0	0,51÷0,26 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні до здимання)
«Капітальна»		1090	20,0÷70,0	1,38÷0,38 (від дуже нестійкого до нестійкого; схильні до здимання)
«1/3 Новогродівська»		570	20,0÷70,0	0,67÷0,19 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Котляревська»		430	50,0÷120,0	0,21÷0,09 (від середньостійкого до стійкого; не схильні до здимання)

Продовження табл. В.1

Назва шахти	Назва вугленосного району	Глибина робіт, м	Діапазон зміни міцності бічних порід на стиск, МПа	Значення критерію стійкості (характеристика) порід, од.
«Україна»	Покровський	675	30,0÷80,0	0,54÷0,20 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Курахівська»		815	30,0÷120,0	0,67÷0,17 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Шахтоуправління «Покровське»		780	13,0÷216,0	1,41÷0,09 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»	Південно-Донбаський	567	5,5÷99,7	2,55÷0,14 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
ім. М.С. Сургая		940	13,7÷60,0	1,62÷0,37 (від дуже нестійкого до нестійкого; схильні до здимання)
ім. Г.Г. Капустіна	Лисичанський	860	30,0÷55,0	0,70÷0,38 (від дуже нестійкого до нестійкого; схильні до здимання)
ім. Д.Ф. Мельникова		820	30,0÷110,0	0,67÷0,18 (від дуже нестійкого до стійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Привільнянська»		540	30,0÷60,0	0,43÷0,22 (від дуже нестійкого до середньостійкого; схильні та несхильні до здимання)
«Новодружеська»		900	35,0÷60,0	0,63÷0,37 (від дуже нестійкого до нестійкого; схильні до здимання)

Додаток Г

Дані та результати шахтних натурних спостережень за станом підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ
Державне підприємство "Шахтоуправління "Південнодонбаське № 1"
85670, м. Вугледар , вул. Магістральна 4, Донецької області
Тел. (062) 343-81-42, (062) 343-55-72

№2452/1 08. 12. 2016р.

Проректору
з наукової роботи ДонНТУ
Башкову Є.О.

Шановний Євгене Олександровичу!

Проблема забезпечення експлуатаційного стану гірничих виробок в загальному комплексі виробничих процесів при сучасному стані шахтного фонду підприємства є однією з найбільш актуальних. Основну частину виробничих витрат складають витрати, пов'язані з проведенням і забезпеченням стійкості виробки.

Протистояти переміщенням порід і розвитку зони зруйнування існуючими способами і засобами забезпечення стійкості не представляє можливим, тому що вони не дозволяють активно керувати напружено-деформованим станом системи «гірнича виробка-кріплення-охорона споруда-вміщуючий масив», та деформування підсистеми «кріплення-охоронна споруда – масив» і «кріплення – масив».

Тому актуальною є розробка способів і засобів забезпечення стійкості виробок позаду очисного вибою, що ґрунтується на управлінні кінетикою зсувів вміщуючи порід.

На підставі вище зазначеного просимо Вас провести дослідження кінетики зміщень порід в підготовчих виробках для розробки заходів щодо забезпечення їх експлуатаційного безпечного стану в умовах ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» .

З повагою,

Директор **В.О. Коломієць**

Україна
Міністерство вугільної промисловості
Державне підприємство <<ДВЕК>>
Відокремлений підрозділ
"ШАХТА ім. Є.Т.АБАКУМОВА"
83020, м. Донецьк, вул. Кірова, 292
Телефон 303-22-35; Комутатор 303-30-77; Факс 303-26-94
E-mail: abk@ak.dn.ua, abk@ivcdu.dn.ua

Украина
Министерство угольной промышленности
Государственное предприятие <<ДУЭК>>
Обособленное подразделение
«ШАХТА им. Е.Т.АБАКУМОВА»
83020, г. Донецк, ул. Кирова, 292
Телефон 303-22-35, Коммутатор 303-30-77, Факс 303-26-94
E-mail: abk@ak.dn.ua, abk@ivcdu.dn.ua

01.11.10г. № 1594

На №

Проректору по
научной работе
ДонНТУ
Башкову Е.А.

Уважаемый Евгений Александрович !

В настоящее время на шахте им.Е.Т.Абакумова производится отработка 8-й западной лавы пл.m_3 по сплошной системе. Длина выемочного столба 1100м. На 01.11.2010г. подвигание лавы составляет 140м.

В кровле пласта m_3 залегает аргиллит мощностью 7,0-10,0м с пределом прочности на сжатие от 130 МПа до 400МПа. Аргиллит темно-серый, с явной выраженной слоистостью, с включениями карбонатных конкреций, интенсивно разбит разнонаправленными трещинами (10-15 трещин на 1п.м.).

В нижней части аргиллита прослеживаются послойные трещины с зеркалами скольжения, перемятый.

В основной кровле пласта находится алевролит с прослойками песчаника тонкозернистого, водоносного. Вследствие чего, по конвейерному штреку 8-й западной лавы пл.m_3 наблюдается интенсивный капеж из трещиноватой непосредственной кровли пласта (ПК7+4,0м-1,5м^3/ч; ПК10- 0,5м^3/ч; ПК10+10м ÷ ПК11+10м - 0,6м^3/ч; ПК12 - 0,5м^3/ч), что приводит к снижению прочных показателей аргиллита.

Непосредственная почва пласта по которой пройдена выработка – алевролит мощностью 1,2-1,6м, в верхней части 0,4-0,8м комковатой текстуры, с частичными остатками корней растений «кучерявчик».

Ниже по наслоению 1,6-2,3м прослеживается скрытокристаллический, трещиноватый известняк M_3, который обводняет породы непосредственной почвы, почва размокает, становится неустойчивой, интенсивно пучащей (0,5-0,8м/мес. в период проведения и 0,13-0,15м/мес. в период поддержания).

8-й западный конвейерный штрек пл.m_3 проводится сечением в свету 14,1м^2. Высота выработки при проведении составляет 3,79м, ширина – 4,83м. Крепление производится овоидной крепью КМП-А3Р2/14,1 с податливостью 700мм.

Проведение 8-го западного конвейерного штрека пл.m_3 длиной 125м (до ходка-разреза 8-й западной лавы пл.m_3) осуществлялось в августе-сентябре 2009 года.

С начала эксплуатации штрека под влиянием горного давления со стороны массива, опорного горного давления от 8-й западной лавы пл.m_3, а также в силу характеристик вмещающих пород (неустойчивых пород кровли, интенсивно пучащих пород почвы) происходят отклонения от проектного сечения. Так на участке ПК2+10м ÷ ПК6 (70м) высота выработки составляет 1,7÷2,2м, ширина 2,7÷2,9м, сечение в свету – 3,9÷5,6м^2. На участке ПК8+10м÷ПК12+10м (80м) высота выработки составляет 1,2÷1,8м, ширина - 2,4÷2,8м, сечение – 2,5÷4,3м^2.

По всей длине конвейерного штрека ПК0-ПК14(280м) требуется выполнение работ по поддирке почвы высотой от 0,4 до 2,1м.

Учитывая состояние 8-го западного конвейерного штрека пл. m_3, на шахте прорабатываются вопросы о возможности проведения полевого конвейерного штрека в разгруженной зоне.

Прошу выдать рекомендации по варианту заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пл. m_3.

И.о.директора шахты А.Н.Черников

Исполнитель:
Шевченко Н.А.
тел.303-22-47

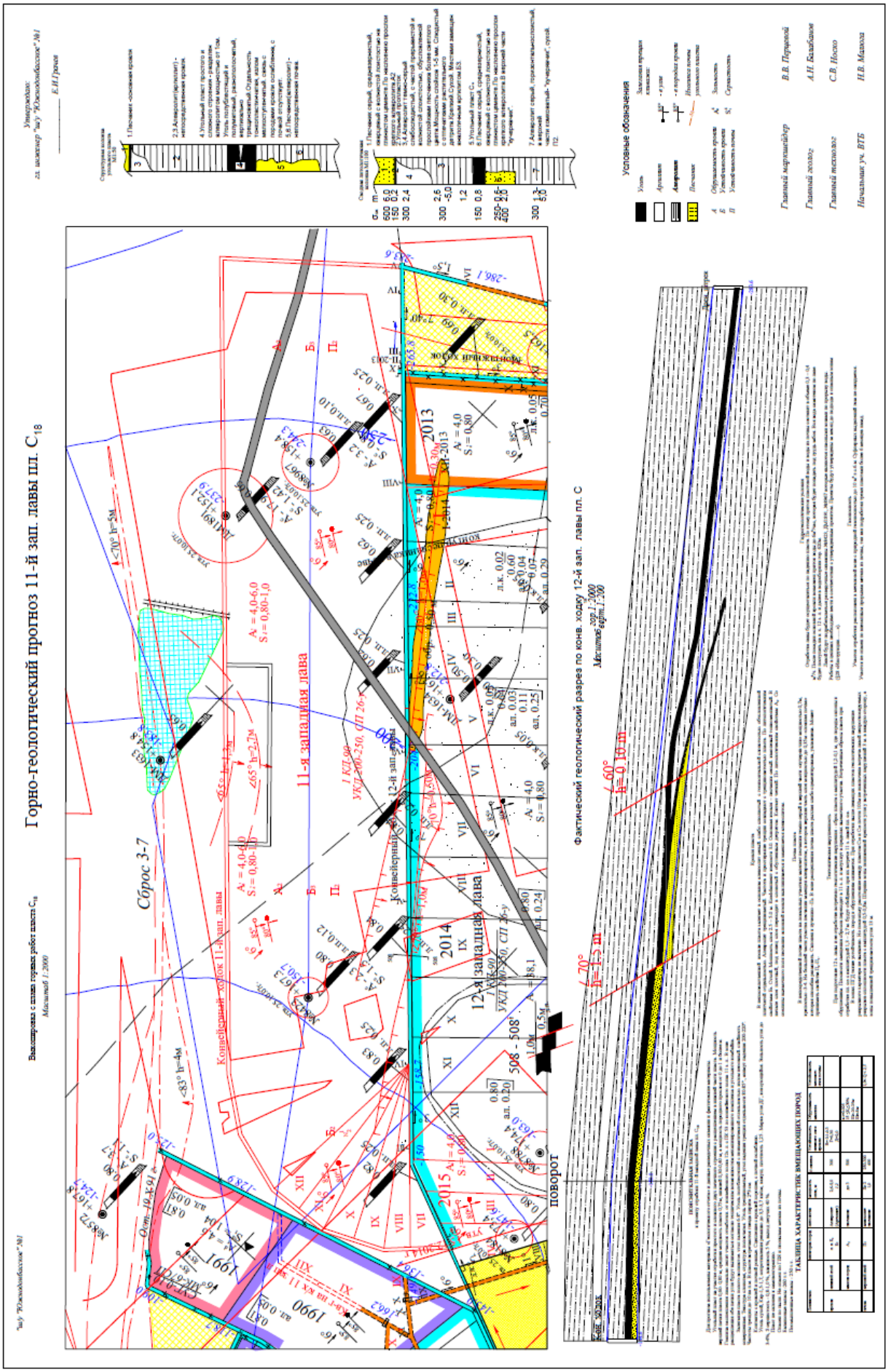


Рисунок Г.1– Гірничо-геологічний прогноз при відпрацюванні 11-ої західної лави пласта c_{18} ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»

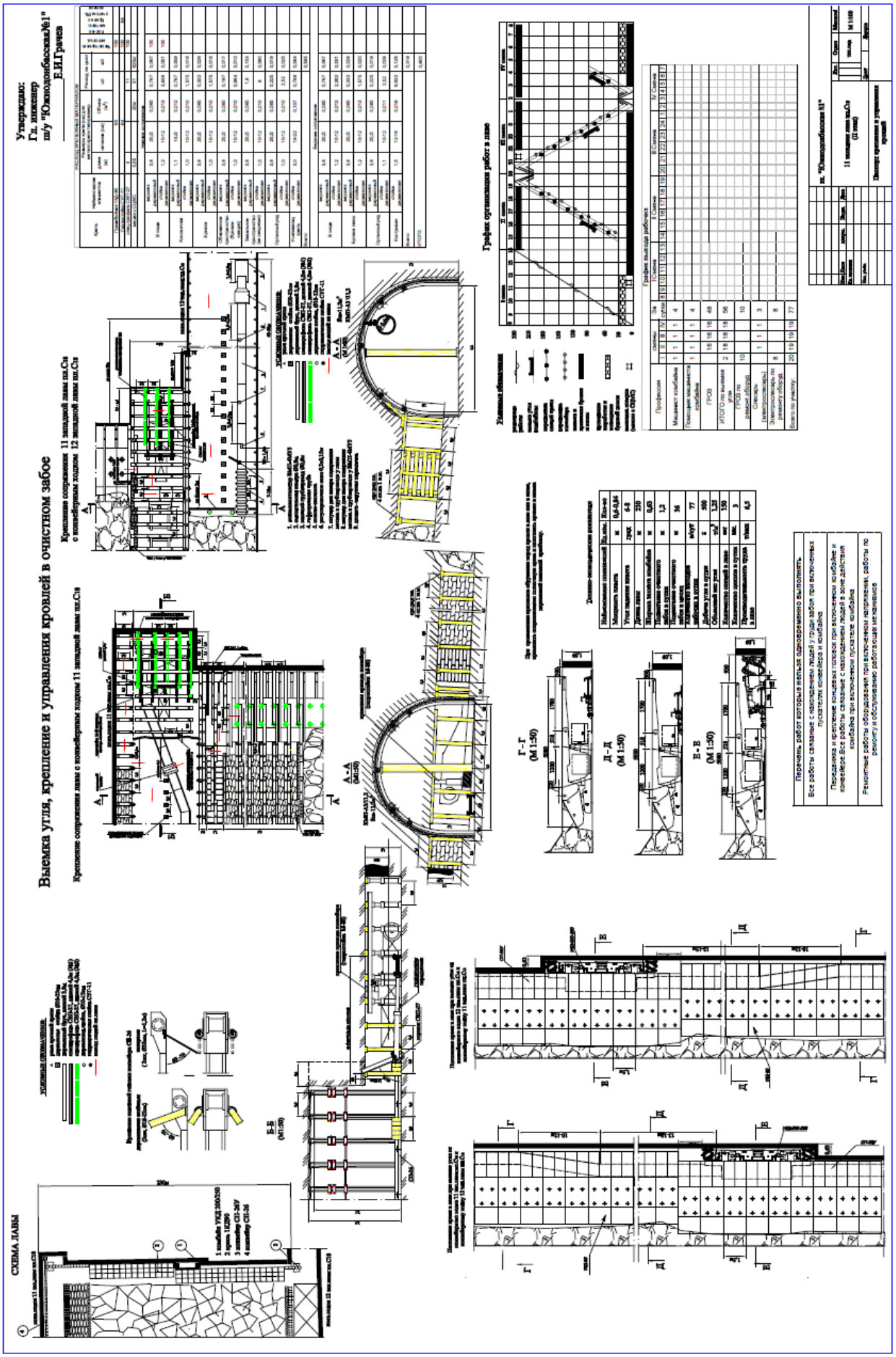


Рисунок Г.2– Паспорт кріплення та управління покрівлею 11-ої західної лави пласта c_{18} ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»

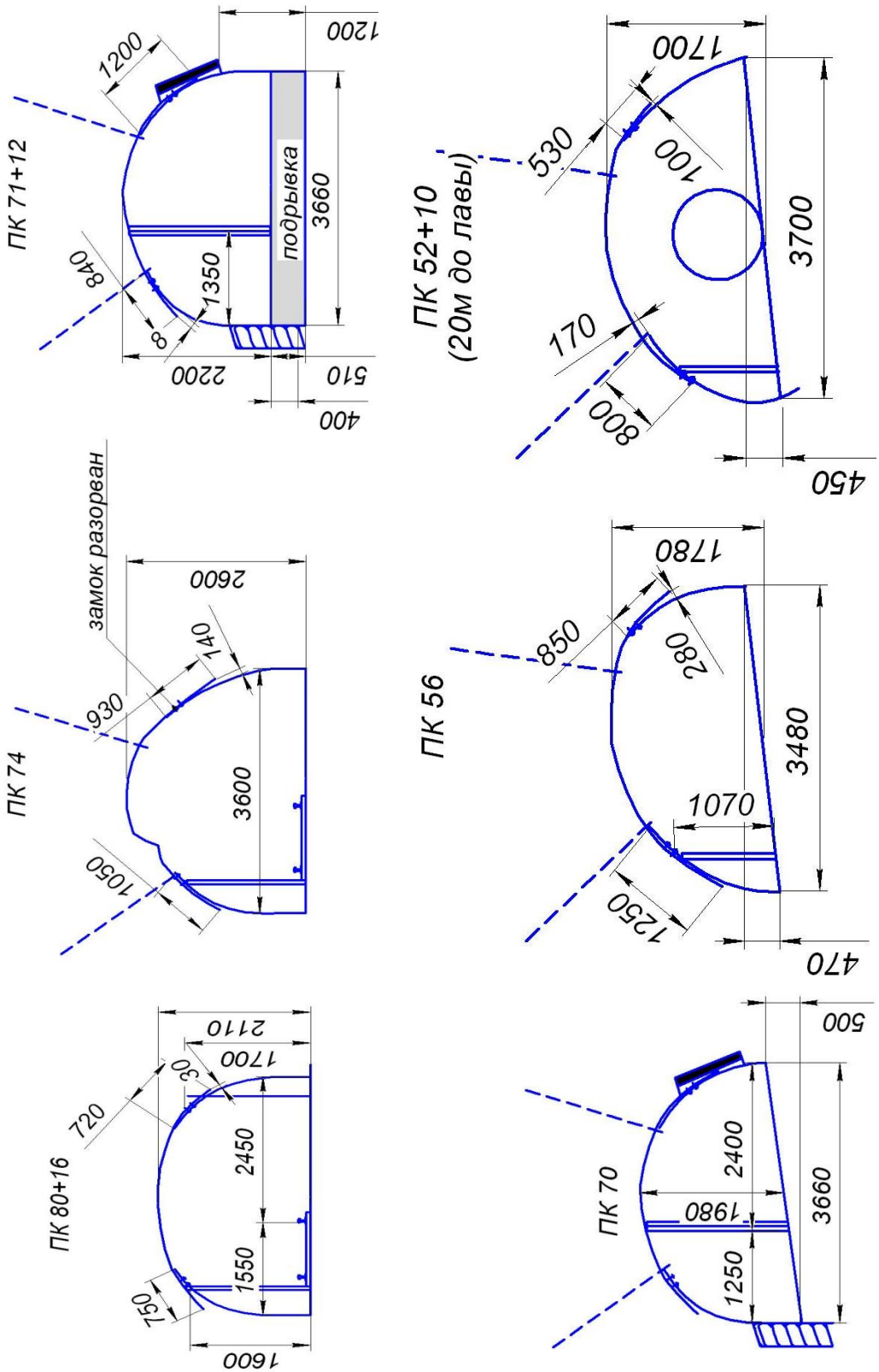
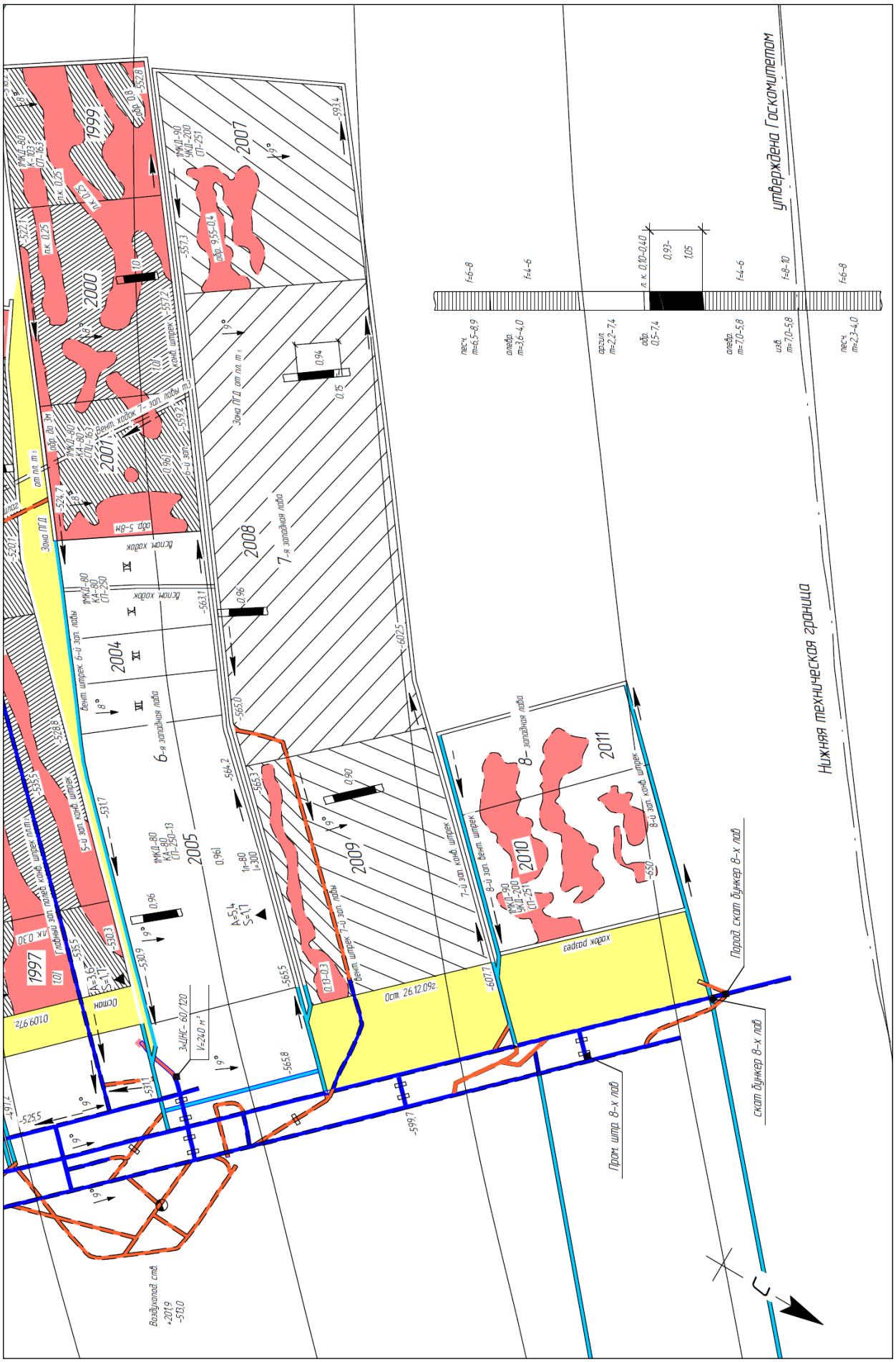


Рисунок Г.3 – Ескізи поперечних перерізів конвеєрного хідника 12-ої західної лави пласта c_{18} ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» на характерних його ділянках


Нижняя техническая дренажа
утверждена Госкомитетом
Ост. 26.12.09г.
Прот. штр. 8-х лав
Пород. скат бункер 8-х лав
скат бункер 8-х лав
Воздухопод. ств.
+2019
-510.0
1997
1999
2000
2001
2004
2005
2007
2008
2009
2010
2011
6-я западная лава
7-я западная лава
8- западная лава
Вент. ходок
Вент. штрек 6-й зап. лавы
6-й зап. конв. штрек
7-й зап. конв. штрек
8-й зап. конв. штрек
Вент. штрек 7-й зап. лавы
8-й зап. вент. штрек
Главный зап. полев. конв. штрек
Зона ПГД
ПМД-80 КА-80 СП-250
ПМД-90 УКД-200 СП-251
ПМД-80 КА-80 СП-250-13
ЗиЦНС-60/120
V=240 м³
Осн. разрез
Осн.
пер. 0.25
пер. 0.30
пер. 0.8
пер. 0.3
пер. 0.3м
пер. 0.25
пер. 0.25
пер. 0.8
пер. 0.25
пер. 0.25
пер. 0.25

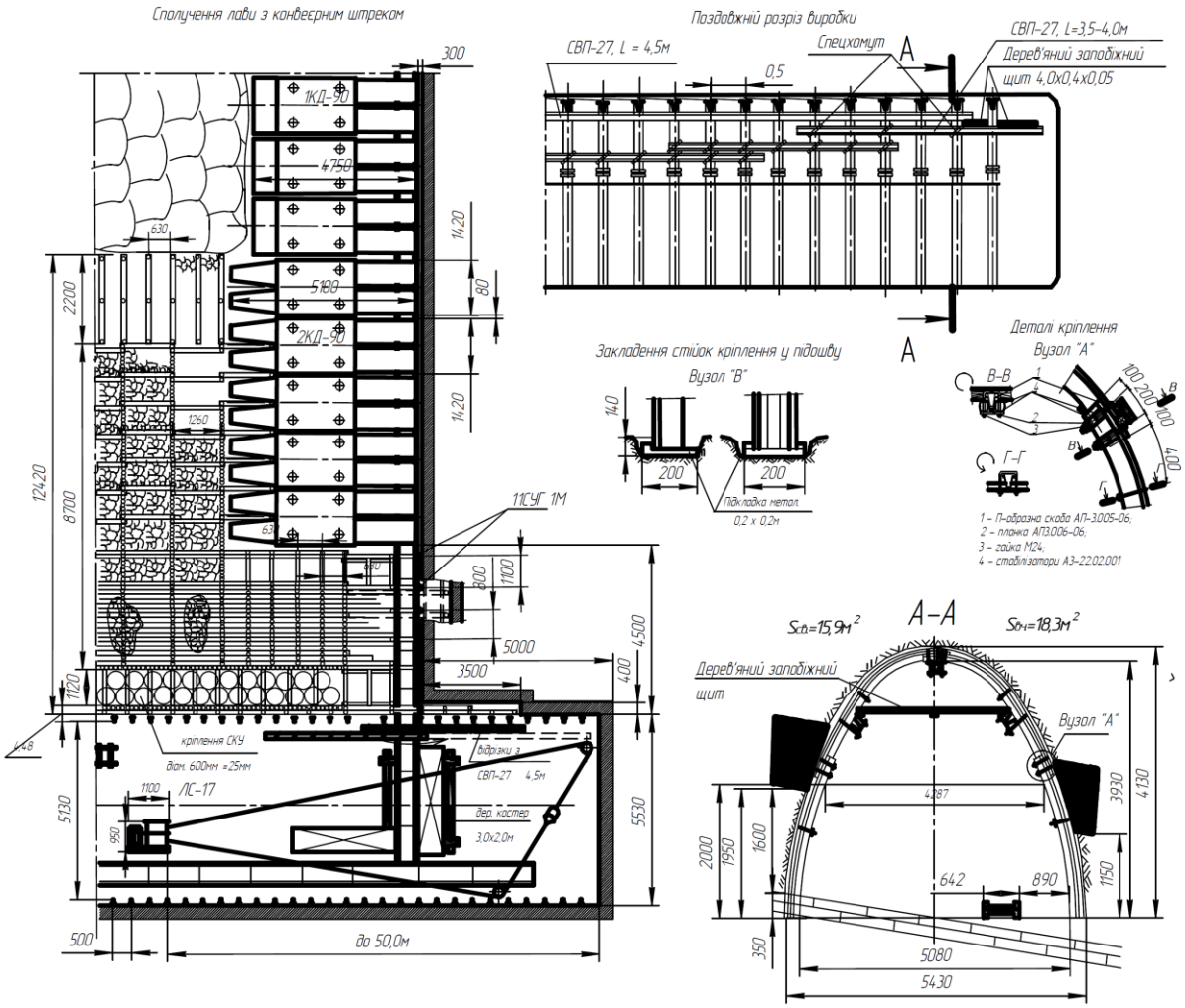


Рисунок Г.5 – Схема кріплення кінцевої ділянки 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова та її сполучення з конвеєрним штреком

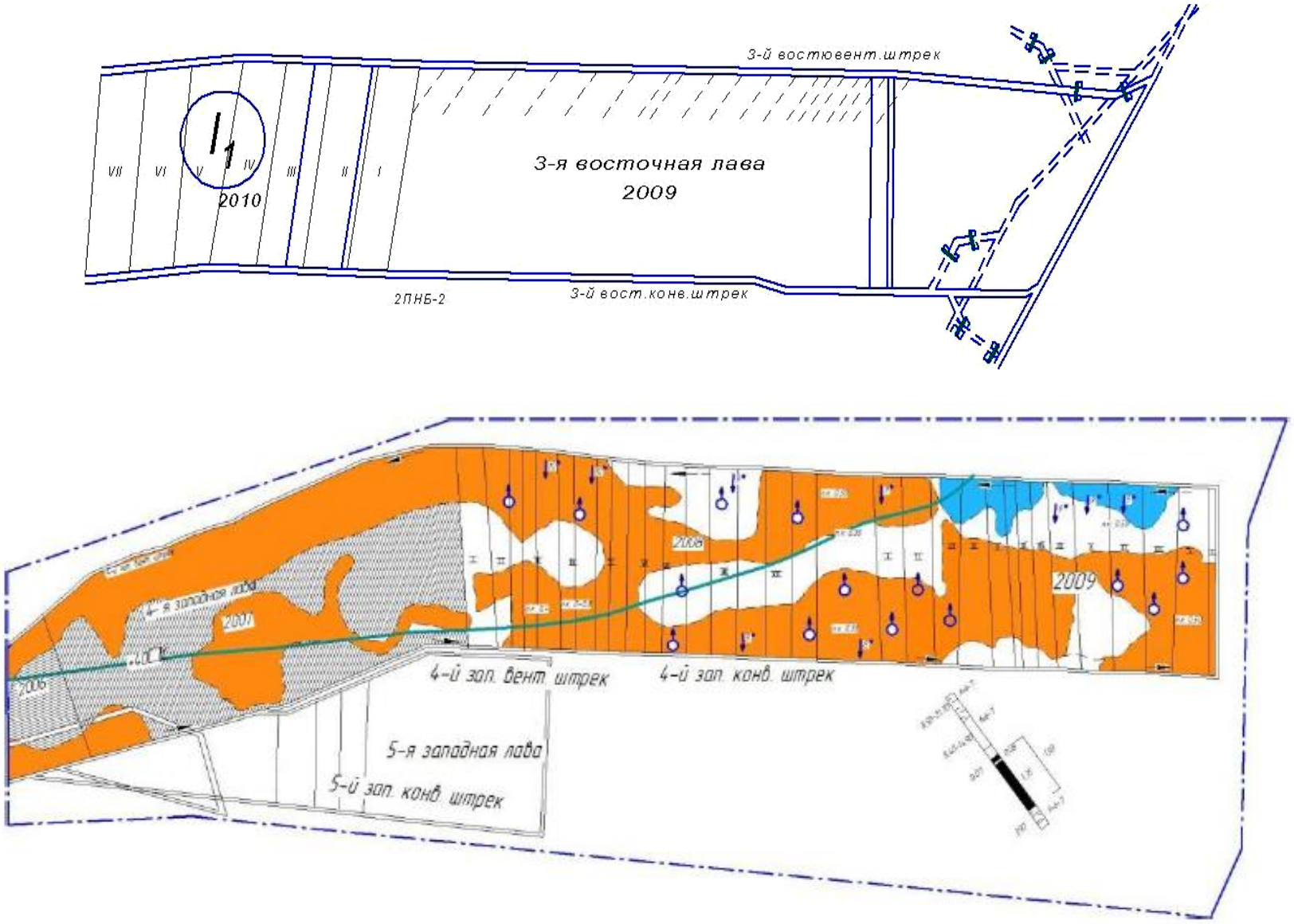


Рисунок Г.6 – Викопіювання з плану гірничих виробок пласта m_3 шахти «Щегловська–Глибока»

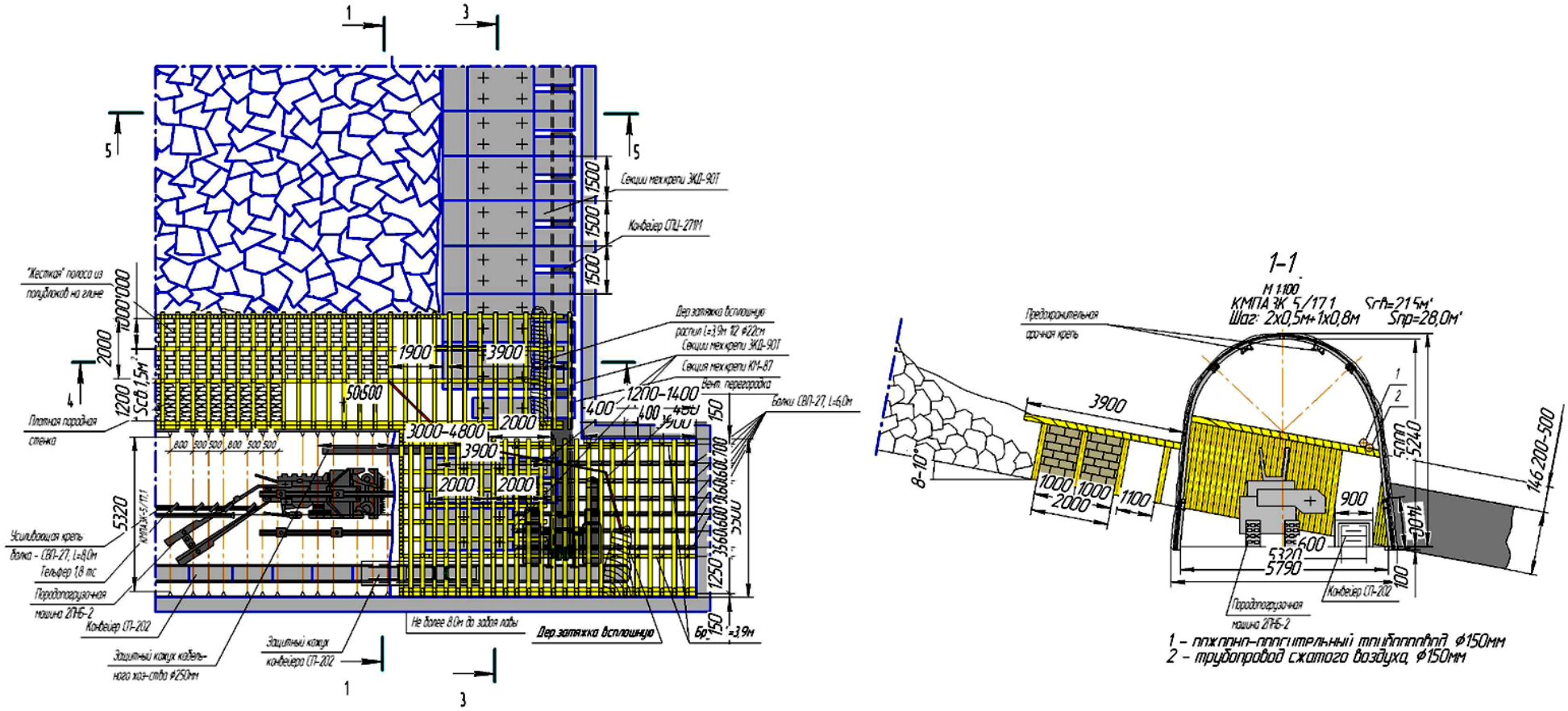


Рисунок Г.7 – Схема кріплення кінцевої ділянки 3-ої східної лави пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока»

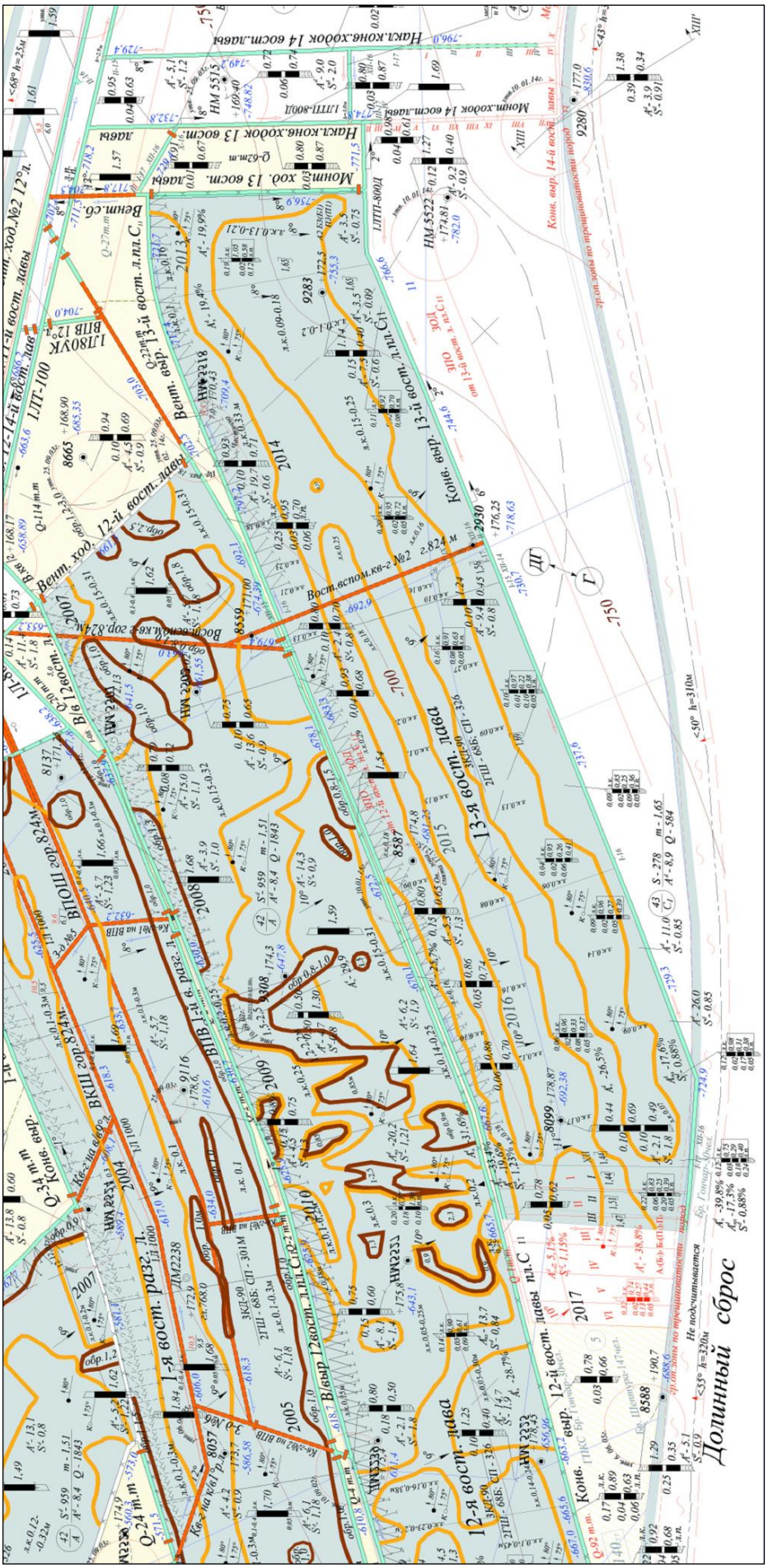


Рисунок Г.8 – Викопіювання з плану гірничих виробок пласта c_{11} шахти ім. М.С. Сургая

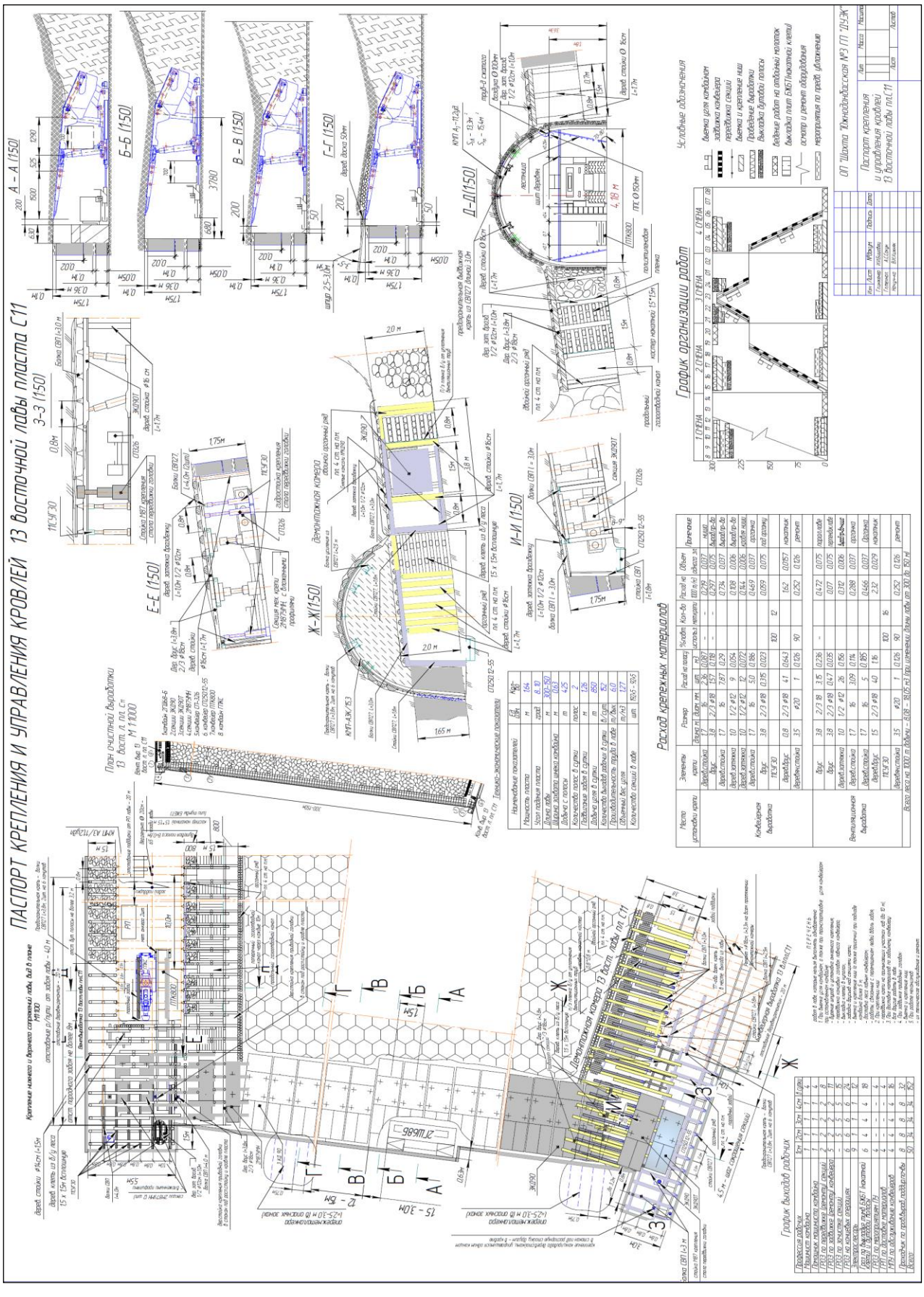


Рисунок Г.9 – Схема кріплення та управління покрівлею 13-ої східної лави пласта c_{11} шахти ім. М.С. Сургая

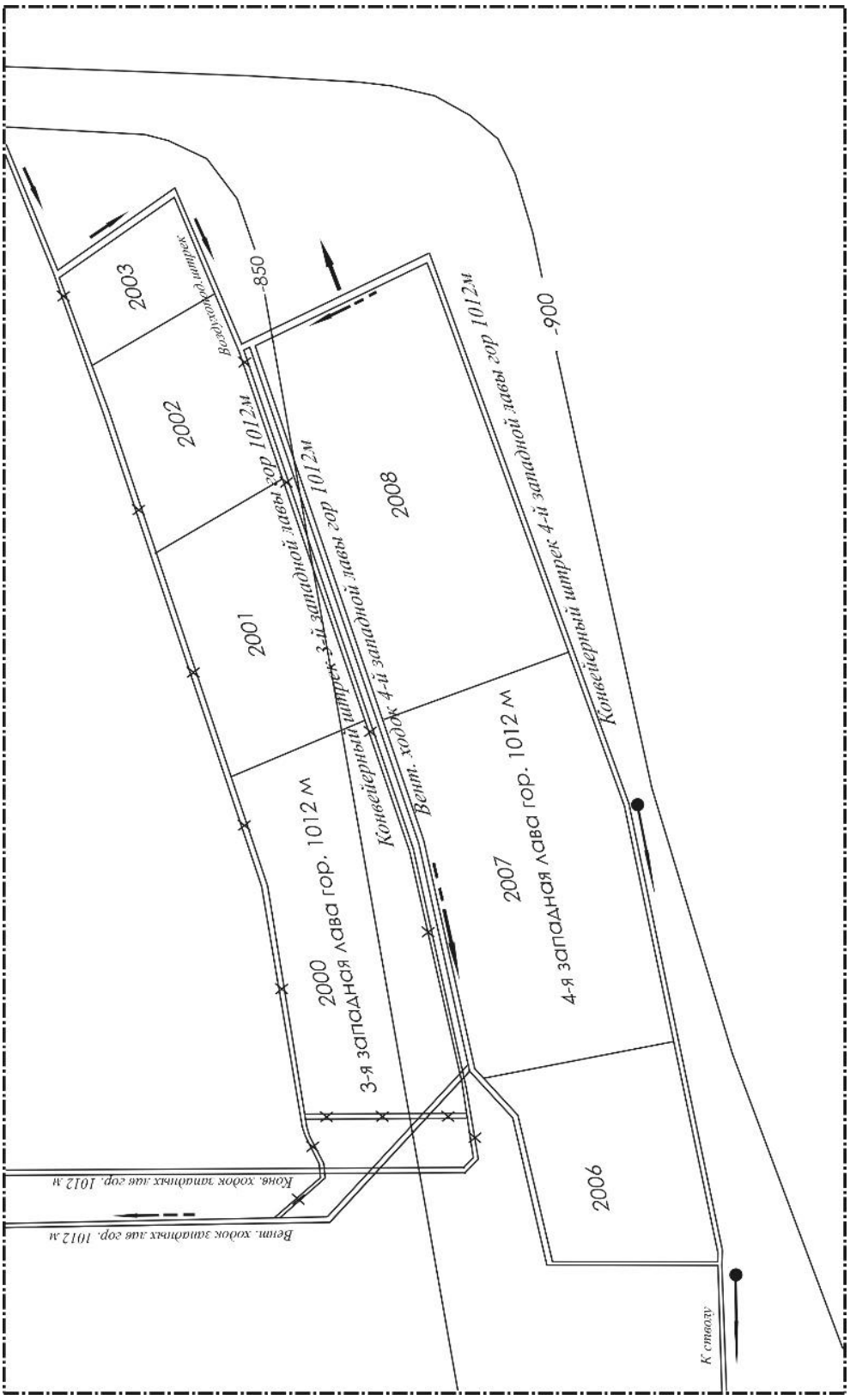


Рисунок Г.10 – Використання з плану гірничих виробок по пласту m_3 шахти ім. В.М. Бажанова

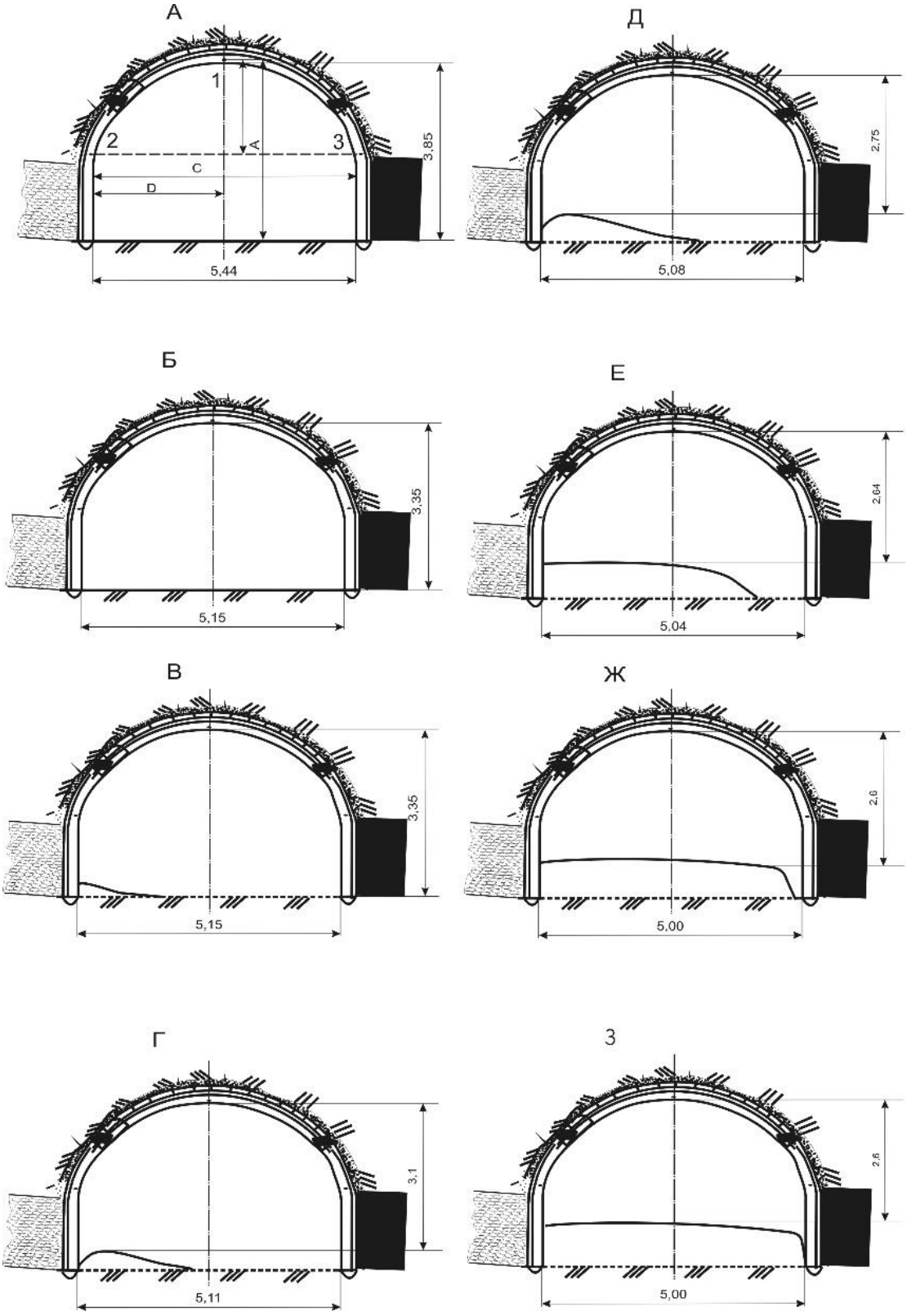


Рисунок Г.11 – Характер видавлювання порід підошви у конвеєрному штреці в залежності від відстані до 4-ої західної лави пласту m_3 шахти ім. В.М. Бажанова (А-0 м; Б – 9,6 м; В -10,4 м; Г- 12,0 м; Д- 13,6 м; Е-15,2 м; Ж -16,8 м; З-18,4 м)

Додаток Д

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор ДП
«Ш/У «Південнодонбаське №1»
В.О. Коломієць

МЕТОДИКА

підготовки вимірювальних станцій в умовах підготовчих виробок «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» в рамках угоди № 266 від 22.12.2016г. про виконання (передачу) науково-технічних робіт "Дослідження кінетики зміщень порід у підготовчих виробках для розробки заходів щодо забезпечення їх експлуатаційного безпечного стану"

Інструментальні спостереження за проявами гірничого тиску проводяться на характерній ділянці підготовчої виробки, яка по мірі посування і наближення до неї очисного вибою по черзі підтримується поза зоною впливу вибою, в зоні опорного тиску, в створі з лавою і після проходу очисного вибою при застосуванні способів кріплення та зведення опорних конструкцій на сполученнях очисного вибою з виробками, передбачених технологічними паспортами кріплення підготовчої виробки і ведення очисних робіт.

Спостереження планується проводити декількома способами, а саме:

- вимірами зміщень порід контуру виробки за маркерними мітками на рамах кріплення виробки (рис. 1, 2);

- експрес-методом, заснованим на вимірюванні висоти виробки по всій її довжині (рис. 3);

- визначення параметрів тріщин в породах безпосередньої покрівлі в межах привибійного простору кінцевих ділянок лав, вимірювання зміщень порід покрівлі і фіксування деформацій елементів кріплення на цих ділянках (рис. 4, 5);

- контрольними вимірами за допомогою прокладки нівелірного ходу з побудовою профілю виробки (рис. 6).

- вимір динаміки розвитку тріщин в околиці виробки за допомогою приладу імпульсного контролю суцільності гірничих порід (ПІКС-17);

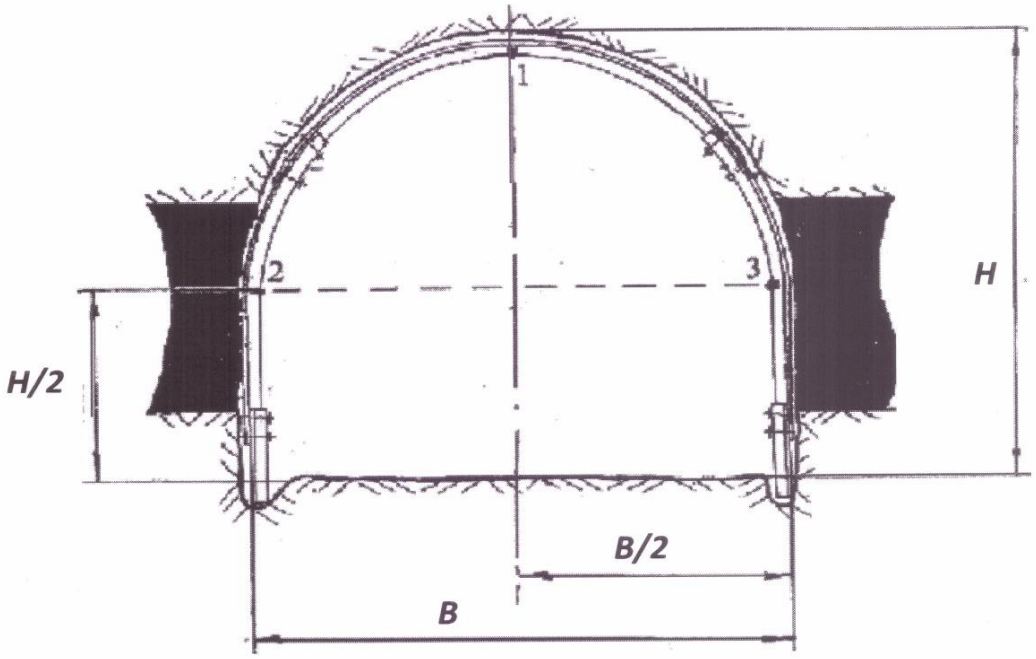


Рис. 1 Конструкція контурної замірної станції, що має марки в кріпленні виробки

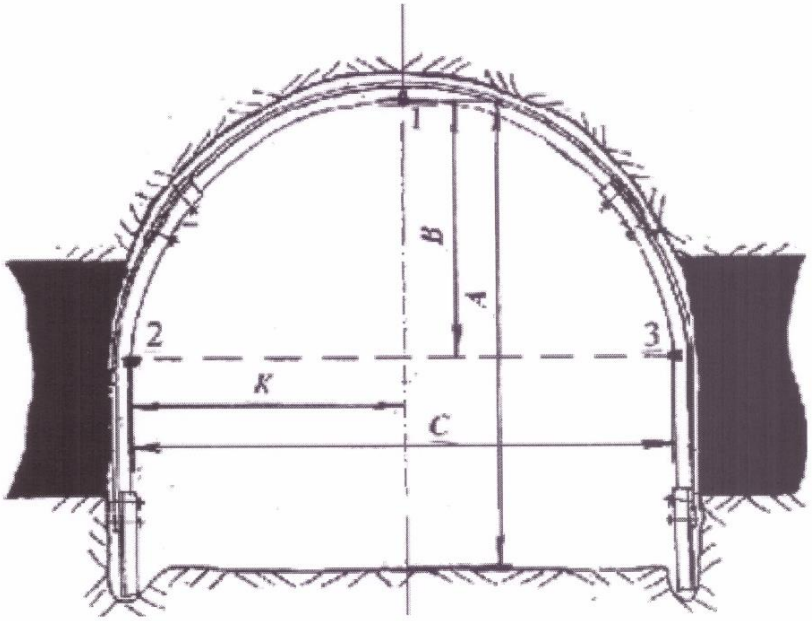


Рис. 2 Схема вимірювань по контурним замірним станціям, що мають марки в кріпленні виробки

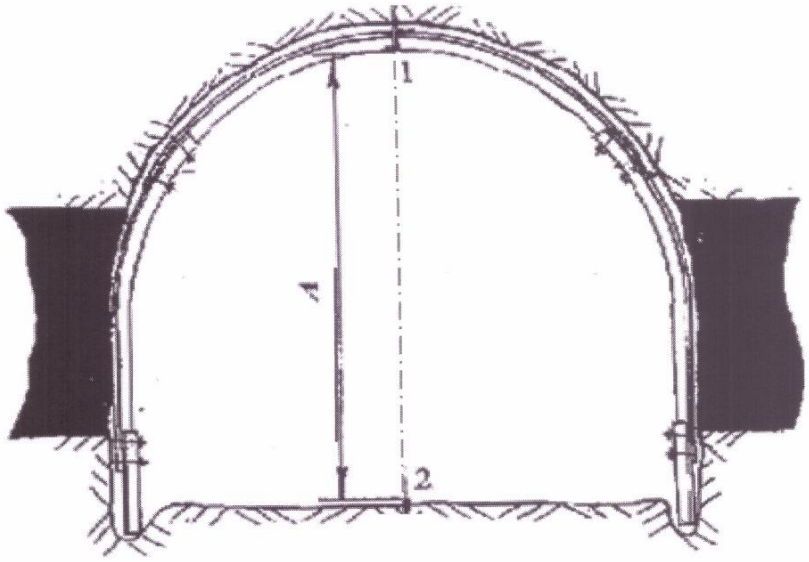


Рис. 3. Схема вимірювань висоти виробки на досліджуваній ділянці

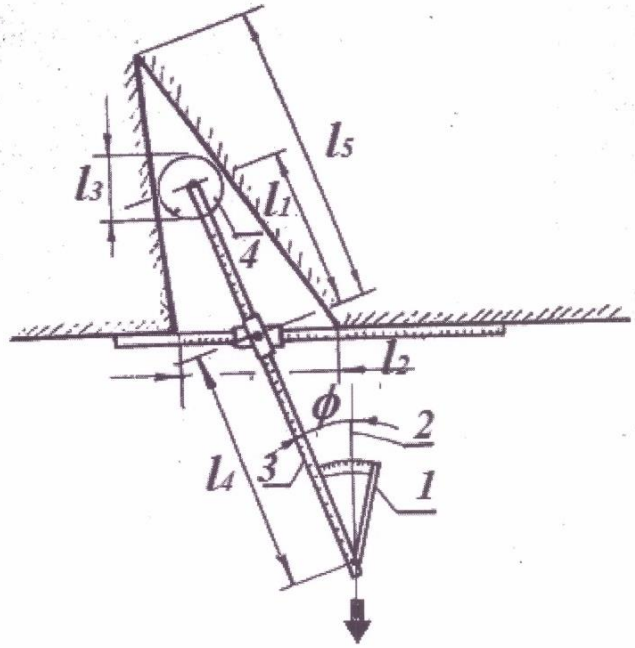


Рис. 4. Схема вимірювання тріщин-розломів, утворених в покрівлі (1 кутомірна шкала, 2- висок, 3 напрямна лінійка, 4- калібрувальний диск, l_1– показання внутрішнього кінця лінійки, l_2 – ширина тріщини, l_3 – діаметр диска, l_4– показання зовнішнього кінця лінійки)

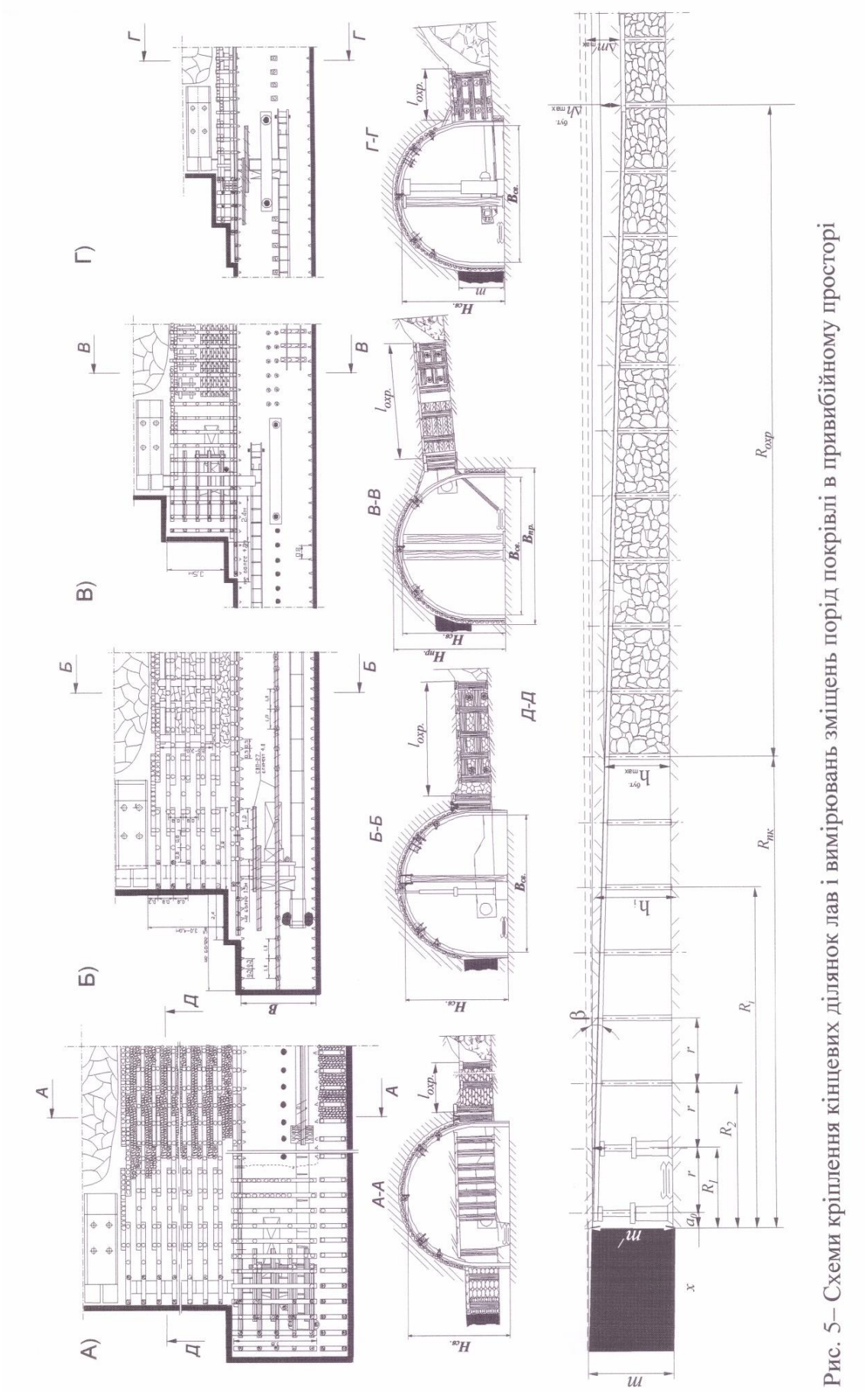


Рис. 5– Схеми кріплення кінцевих ділянок лав і вимірювань зміщень порід покрівлі в привибійному просторі

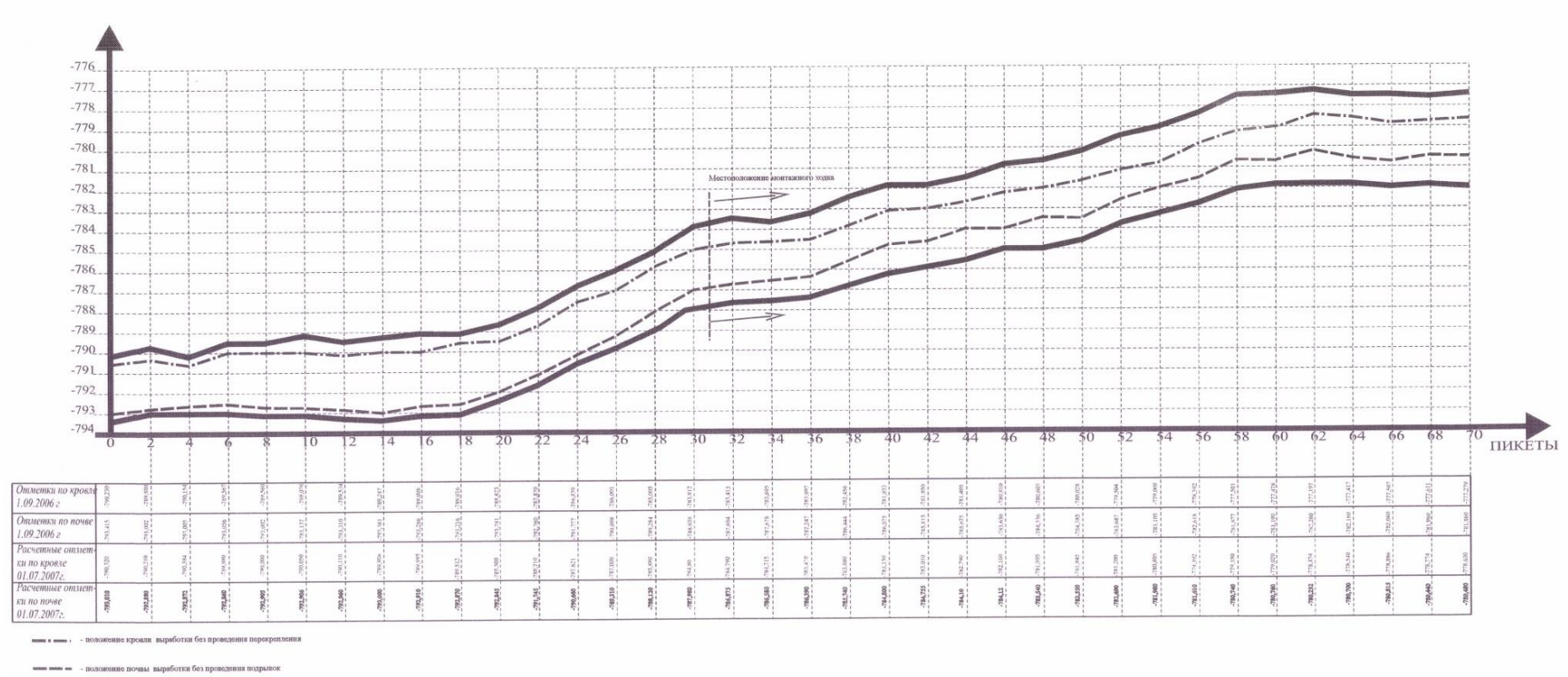


Рис. 6– Загальний вигляд передбачуваного профілю виробки, який будується за результатами прокладки нівелірного ходу

- методом фотофіксації характерних деформацій порід на контурі виробки і елементів її кріплення (фотофіксацію планується здійснювати механічним фотоапаратом «Зеніт-Е»).

За результатами досліджень передбачена розробка рекомендацій щодо забезпечення експлуатаційного і безпечного стану підготовчих виробок, в тому числі кінцевих ділянок лав і ділянок виробок, прилеглих до них. Пропоновані рішення повинні бути економічно обґрунтовані, тому в рамках даної роботи планується розгляд графіків організації робіт і трудомісткості їх виконання при кріпленні і охороні виробок, а також працездатність виконавців цих робіт.

Науковий керівник роботи _____ С.Г. Негрій (пров.н.с., к.т.н.)

Виконавці:

_____ О.Е. Кіпко (гол.н.с, д.т.н.)

_____ І.В. Іорданов (пров.н.с., к.т.н.)

_____ Т.О. Негрій (мол.н.с.)

_____ С.В. Сахно (мол.н.с.)

_____ Д.А. Чепіга (мол.н.с.)

_____ А.В. Положій (мол.н.с.)

Додаток Е

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. технического директора
ГП «Донецкая угольная
энергетическая компания»

_____ Э.В. Поляков

«24» 12 2010 г.

ПРОТОКОЛ

технического совещания по определению варианта заложения западного полевого конвейерного штрека и рассмотрению мероприятий по охране 8-го западного конвейерного штрека пл. m_3 ОП «Шахта им. Е.Т.Абакумова» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания»

г. Донецк 24 декабря 2010 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

от ГП «Донецкая угольная энергетическая компания»:

Поляков Э.В.	– и.о. технического директора
Сарбаш В.Г.	– зам. технического директора
Прокопенко О.В.	– главный маркшейдер
Задорожний П.Г.	– главный геолог

от ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова»:

Черников А.Н.	– и.о. директора
Ястремский Р.А.	– и.о. главного инженера
Шевченко И.А.	– главный технолог
Навольнева В.Я.	– главный геолог

от Института горного дела и геологии Донецкого национального технического университета:

Соловьёв Г.И.	–доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук
Негрей С.Г.	–доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук
Сахно И.Г.	–доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук
Касьяненко А.Л.	–аспирант каф. РМПИ
Мокриенко В.Н.	–аспирант каф. РМПИ

СЛУШАЛИ: информацию сотрудников кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Донецкого национального технического университета о разработанных ими рекомендациях, касающихся варианта заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пласта m_3 шахты им. Е.Т. Абакумова.

Негрей С.Г. Обследования фактического состояния конвейерного штрека 8-ой западной лавы пласта m_3 шахты им. Е.Т.Абакумова и результаты шахтных инструментальных наблюдений на замерных станциях, проведенные с 14.10.2010 по 24.11.2010г., позволили выявить особенности механизма деформирования боковых пород на контуре выемочных выработок.

Расположение подготавливающих выработок следует принимать из условия, чтобы обеспечивалось безремонтное рабочее состояние выработок при креплении их, как правило, незамкнутой податливой крепью без или с различными мероприятиями по уменьшению смещений пород на контуре выработок.

Для условий западного полевого конвейерного штрека, который будет проводиться в уже надработанном массиве пород, будет обеспечено минимальное вредное воздействие опорного давления пласта m_3 на рассматриваемую выработку при условии ее расположения в зоне разгрузки подстилающего пласт массива, согласно письма №1594 от 01.11.10г., в котором приведено описание горно-геологических условий отработки пласта m_3, планируемого места расположения западного полевого конвейерного штрека относительно очистных работ 8-ой западной лавы пл. m_3 и способа охраны 8-го западного конвейерного штрека этой лавы, были определены следующие значения: при длине промежуточного квершлага 111 м и расположении полевого штрека по абсолютной отметке -665,8 м, угол наклона квершлага к горизонтальной плоскости составит 60, а его удаление от пласта по нормали 29 м.

Таким образом, предложенное размещение полевой выработки удовлетворяет требованиям и может быть принято при проектировании. Но, согласно результатов численного моделирования, данное местоположение не

попадает в зону разгрузки от ранее отработанной лавы и выработку стоит расположить несколько ближе к по отношению к выработанному пространству.

Место заложения выработки нами определялось по известной методике, разработанной ВНИМИ, а также с использованием метода конечных элементов на ПЭВМ. Для обеспечения эксплуатационного состояния выработки ее необходимо располагать в зоне разгрузки, которая показана на графической части «Рекомендаций…», но не ближе чем 5 м от выработанного пространства по нормали. К примеру, если принять, что это расстояние должно быть 8,5 м и угол наклона промежуточного наклонного квершлага 6°, то удаление полевого штрека от кромки пласта составит 32 м.

При заложении полевого штрека возникает вопрос в шаге проведения промежуточных квершлагов, так как неудовлетворительное состояние пластового штрека не позволяет поддерживать позади лавы участки длиной 200 м, к тому же еще не было посадки основной кровли позади 8-ой западной лавы, а, как известно, посадка кровли может ухудшить состояние выработки.

Исходя из первоначальных условий поддержания 8-го западного конвейерного штрека пл. m_3, отработка 8-ой западной лавы осуществлялась по сплошной системе разработки с проведением штрека вслед за лавой. Переход на опережающее проведение конвейерного штрека был обусловлен неудовлетворительным состоянием концевого участка лавы и невозможностью обеспечения безопасных условий труда на нем из-за несвоевременности сооружения и недостаточной несущей способности охранных конструкций позади лавы.

По нашему мнению переход на опережающую проходку штрека не является рациональным, так как при предыдущей технологии смещения пород контура выработки были бы существенно меньше.

Для выхода из сложившейся ситуации предлагается провести комплекс мероприятий по обеспечению устойчивости участковой выработки, а именно:

- перейти технологию с проведением штрека вслед за лавой, при этом смещения контура выработки в 1,5 раза будут меньше;

- проводить выработку необходимо комбайновым способом, но ни в коем

случае не буровзрывным. Это обусловлено тем, что при неустойчивых кровлях не рекомендуется применение БВР, которые за счет динамического воздействия на породы ухудшают состояние окружающего выработку массива;

- вследствие невозможности доставки комбайна в проходческий забой предлагается проведение штрека вслед за лавой при помощи невзрывчатых разрушающих веществ;

- необходимо соблюдение паспорта крепления и управления кровлей и обеспечения ширины бутовой полосы не менее 6,6 м, причем для увеличения ее несущей способности предлагается применение армирующих элементов в виде металлических сеток уложенных двумя слоями в бутовую полосу параллельно плоскости напластования пород с расстоянием между слоями 0,3-0,4 м, как на всю ее ширину, так и на ширину 4 м с оставлением 3-х метрового участка бутовой полосы возведенного по традиционной схеме. При этом податливость полосы не превысит 25-40% в зависимости от принятой схемы установки армирующих сеток;

- так как породы кровли весьма неустойчивы, на концевом участке лавы, где установлены секции механизированной крепи с обратной консолью, рекомендуется передвижка этих секций с предварительным распором, что позволит частично сохранить целостность нависающих пород. Более качественное решение данной проблемы может быть обеспечено выводом из лавы этих секций и креплением освободившегося участка индивидуальной крепью сразу же у очистного забоя;

- в конвейерном штреке предлагается позади лавы применение упорно-лежневой и продольно-балочной крепей усиления.

Все обоснование заложения полевого штрека и технологические решения по поддержанию пластового штрека приложены в разработанных нами «Рекомендациях…».

Сахно И.Г. В настоящее время 8 западный конвейерный штрек пл. m_3 проводится буровзрывным способом, при этом опережение забоя штрека относительно забоя лавы составляет 5 м. В существующих горно-геологических условиях при низкой прочности пород непосредственной кровли, указанная

технологическая схема проведения не позволяет обеспечить устойчивое состояние, т.к. участок штрека в опережении попадает в зону горного давления впереди движущейся лавы, что приводит к развитию существующей системы трещин, расслоению пород приконтурной зоны и потере поперечного сечения штрека еще до подхода створа лавы до 10%, другим фактором является буровзрывной способ проведения за счет динамического воздействия на породы вызывает повышение естественной трещиноватости, разрыхление, разупрочнение, усиление конвергенции, преждевременную деформацию крепи и активизацию пучения почвы.

С целью максимально сохранить естественную прочность пород приконтурной зоны, целесообразно проводить конвейерный штрек вслед за лавой, что позволит исключить расслоения пород кровли и почвы, вызванные действием опережающего опорного давления. В условиях слабых боковых пород предлагается исключить динамическое взрывное воздействие на породы и изменить способ проведения 8 западного конвейерного штрека пл. m_3.

Альтернативой буровзрывному способу проведения предлагается проведение штрека вслед за лавой при помощи невзрывчатых разрушающих веществ (НРВ), на основе оксида кальция, способных в процессе гидратации увеличиваться в объеме и оказывать значительные давления на горные породы вмещающие шпур. При этом на стенки шпура оказывается статическое воздействие, что не вызывает нежелательного растрескивания и расслоения приконтурных пород, и позволяет сохранить их естественную прочность. Породы в забое выработки при этом разрушаются от действия растягивающих напряжений и обрушаются блоками.

Описание предлагаемой технологии работ представлено в «Рекомендациях...».

Соловьёв Г.И. Для поддержания конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта m_3, предлагаются комбинированные способы уменьшения смещений пород почвы и кровли выемочной выработки за счет применения продольно-балочной и упорно-лежневой усиливающих крепей.

Стоит отметить, что данные крепи уже применялись в данных условиях и показали свою эффективность. Также данный способ прошел опытно-промышленную проверку данного способа в условиях выемочных выработок пласта h_{10} шахты им. М.И. Калинина и пласта c_{11} шахты «Южнодонбасская №3».

Схемы расположения и конструкции усиливающих крепей приведены в «Рекомендациях…».

Также следует отметить, что эффективность предлагаемых способов сохранения устойчивости выемочных выработок при использовании крепей усиления во многом предопределяется качественным выполнением работ, как по установке крепи усиления, так и по сооружению опорных конструкций по бровке выработки.

Черников А.Н. Периодическое появление воды, дренирующей из выработанного пространства ранее отработанных лав, в нижней части лавы в виде капежа провоцирует отслаивание пачек пород кровли. В связи с этим происходят обрушения.

При отработке лавы по схеме «лава-штрек» деревянное крепление в нижней нише испытывало большую нагрузку, деревянные стойки ломались. А металлических стоек 11 СУГ М, предусмотренных паспортом выемочного участка, нет в наличии.

Учитывая сложившуюся ситуацию, на шахте было проведено техническое совещание с участием главного геолога ГП «ДУЭК» Задорожного П.Г. и было принято решение проводить конвейерный штрек с опережением не менее 5 м.

При проведении конвейерного штрека происходят обрушения пород кровли по правой стороне (со стороны целика). Поэтому проведение осуществляется буровзрывным способом частично, правый бок разбирается с помощью отбойных молотков.

Поляков Э.В. Особый интерес представляет применение невзрывчатых веществ. В виду того, что породы кровли весьма неустойчивы при переходе на проведение штрека вслед за лавой производить выемку отбойными молотками, а на отдельных участках, где будет сложно вести отбойку молотками, возможно

применение НРВ. Но переход на данную технологию пока невозможен, так как до сих пор нет возможности качественного крепления концевого участка лавы и обеспечения безопасных условий работы.

Сарбаш В.Г. Большую роль в состоянии конвейерного штрека играет выполнение мероприятий по охране выработки: качественная выкладка бутовой полосы, проведение бутового штрека.

Сахно И.Г. Чем дальше от забоя лавы выкладывается бутовая полоса, тем хуже она работает. Лучше всего ее выкладывать сразу после прохода комбайна.

Сарбаш В.Г. Можно демонтировать секции с обратными консолями 2КД-90 в нижней части лавы, производить на этом участке индивидуальное крепление и таким образом приблизить бутовую полосу к забою лавы.

Черников А.Н. Деревянное крепление не выдержит давление, которое образуется в результате притока воды в лаве.

Поляков Э.В. Необходимо принимать во внимание и выполнять комплекс мер по охране подготовительных выработок, рекомендуемых институтами.

В ходе обсуждения

РЕШИЛИ:

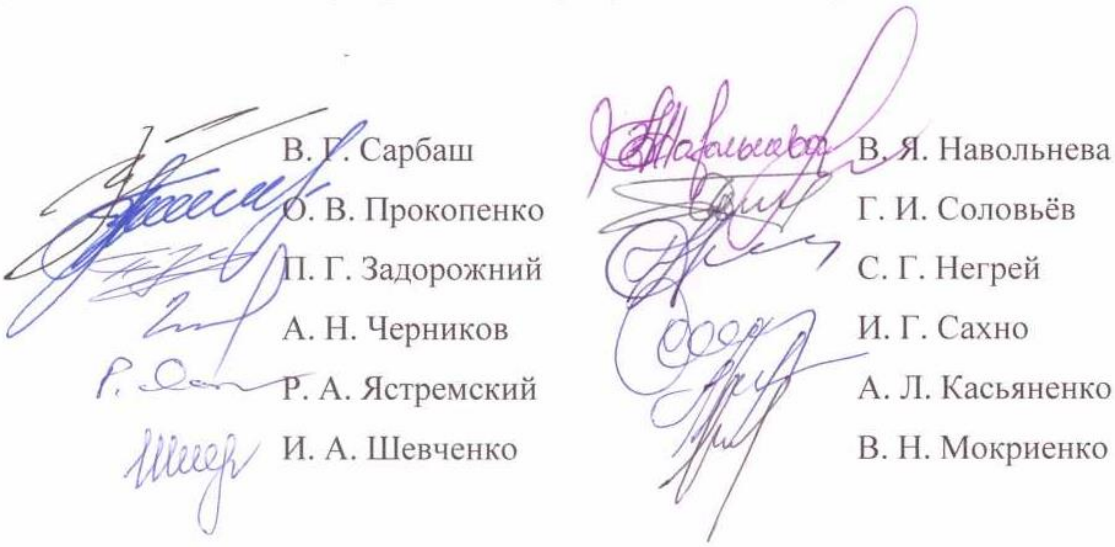
1. Руководству шахты им. Е.Т.Абакумова принять во внимание и внедрить наиболее приемлемые технические решения «Рекомендаций по выбору места заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пл. m_3 ОП «Шахта им. Е.Т.Абакумова», разработанных кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых Донецкого национального технического университета, для горно-геологических условий отработки 8-й западной лавы пл. m_3.

2. Считать целесообразным организацию проведения западного полевого конвейерного штрека в разгруженной зоне.

3. Выработку заложить на удалении 8,5 м от пласта m_3 по нормали.

4. При сооружении бутовых полос устанавливать армирующие элементы в виде металлических сеток уложенных в бутовую полосу параллельно плоскости напластования пород.

5. Для поддержания конвейерного штрека вслед за лавой применить продольно-балочную и упорно-лежневую усиливающие крепи.



В. Г. Сарбаш
О. В. Прокопенко
П. Г. Задорожний
А. Н. Черников
Р. А. Ястремский
И. А. Шевченко
В. Я. Навольнева
Г. И. Соловьёв
С. Г. Негрей
И. Г. Сахно
А. Л. Касьяненко
В. Н. Мокриенко

Додаток Ж

Утверждаю:
Главный инженер
ПАО ШУ «Донбасс»,
В.И. Орлов
24.09. 2010 г.

Протокол
шахтных экспериментов по изучению закономерностей проявления горного давления вокруг выработок, закрепленных рамно-арочной крепью

г. Донецк 24.09. 2010 г.

Комиссия в составе представителей шахты «Щегловская-Глубокая»:

Рыбалко Александр Сергеевич – главный инженер, председатель комиссии;
Шкуматов Михаил Николаевич– главный маркшейдер;
Корнюшкиин Владимир Сергеевич– главный технолог;
Горковенко Игорь Валерьевич– начальник участка №1;

представителей ИГГ ДонНТУ:

Касьян Николай Николаевич – зав. каф. РПМ., докт. техн. наук, проф.;
Сахно Иван Георгиевич - доц. каф. РПМ, канд. техн. наук;
Негрей Сергей Григорьевич – доц. каф. РПМ, канд. техн. наук;
Мокриенко Владимир Николаевич – аспирант каф. РПМ.

рассмотрела результаты выполненных шахтных исследований по изучению закономерностей проявления горного давления и оценке состояния выработок, закрепленных рамно-арочной крепью в условиях конвейерного штрека 3 восточной лавы пл. m_3 шахты «Щегловская-Глубокая» и установила:

1. Конвейерный штрек, проводится с отставанием от лавы, имеет в непосредственной кровле глинистый сланец мощностью 3,5 – 4,0 м (категория $Б_2$- $Б_3$). Основная кровля представлена верхней частью слоя глинистого сланца (с коэффициентом крепости 4), песчаным сланцем и песчаником (с коэффициентом крепости 6,1 – 7,6) общей мощностью от 26,0 м. до 42,0 м (категория $А_2$). Непосредственная почва – песчаный сланец мощностью 0,80 м., комковатого строения, коэффициент крепости 2 – 3, сильно пучащий, склонный к лёгкому размоканию. Основная почва - песчаный сланец плотный, тонкозернистый, однородный. Коэффициент крепости f = 6,1 – 7,5. Категория устойчивости $П_3$ – устойчивые Таким образом, условия эксперимента – сложные, представительные и соответствуют целям и задачам эксперимента.

2. Установлены две комплексные измерительные станции на ПК 64+1 м и ПК 65+2 м, оборудованные измерительной аппаратурой, необходимой для

выполнения работ, запланированной в соответствии с программой и методикой исследований, которые включают наблюдение за состоянием и сдвижением массива пород кровли и почвы выработки. В выработке оборудованы контурные замерные станции, согласно методике ВНИМИ.

3. Исследования показали, что процесс смещения кровли и почвы характеризуется двумя периодами – интенсивным и установившимся. Первый период длится 25-30 суток и характеризуется значительными проявлениями горного давления. Общая конвергенция в выработке за период интенсивного проявления горного давления в выработке, закрепленной рамно-арочной крепью, достигла 550 мм и составила более 60% от общей величины. Проведенная нивелировка по замерным станциям позволила установить, что смещения кровли составляют в среднем 255мм, почвы – 295мм. При этом смещения пород почвы выработки более активны в период интенсивных смещений, и затухают на расстоянии 60-70м после прохода лавы, смещения кровли продолжаются в зоне установившегося горного давления, и их конечная величина достигает 60-65% от общей конвергенции в выработке.

4. После превышения крепью уровня податливости (смещения кровли достигали 520мм) наблюдалось интенсивное проскальзывание верхняка арки в замковом соединении, и деформирование верхняка над замком со стороны выработанного пространства лавы.

Выводы и рекомендации:

1. В условиях неустойчивых боковых пород на большой глубине разработки общая вертикальная конвергенция кровли-почвы выработки достигает 2500-2800 мм, при смещении кровли на величину порядка 1520 мм, что превышает пределы податливости арочной крепи, она переходит в режим жесткого деформирования. Это приводит к необходимости неоднократного перекрепления и ремонта выработки.

2. Рекомендуется усовершенствовать существующий способ охраны, с целью уменьшения смещений пород почвы выработки и провести его промышленные испытания.

Председатель комиссии: _____ Рыбалко А. С

Члены комиссии: _____ Шкуматов М.Н.
_____ Корнюшкиин В. С.
_____ Горковенко И. В.
_____ Касьян Н. Н.
_____ Сахно И. Г.
_____ Негрей С. Г.
_____ Мокриенко В. Н.

Додаток З

Утверждаю:

Главный инженер
ГП «Шахта им. Н.С. Сургая»
_____ И.И. Бишовец
16.03 2017г.

Протокол
шахтных натурных наблюдений за конвергенцией пород и деформированием крепи

г. Угледар . 16.03. 2017 г.

Комиссия в составе представителей ГП «Шахта им. Н.С. Сургая»:

С. А. Култаев – зам. директора по пр-ву – председатель комиссии;
Н. Г. Максименко – главный геолог;
А. С. Сокун – главный технолог;
П. А. Цыбульник – гл. маркшейдер;

представителей ДонНТУ:

С. Г. Негрей – доц. каф. РМПИ, к.т.н.;
А. А. Исаенков – ст. препод. каф. ГиОТ ИИДонНТУ;
С. В. Сахно – аспирант каф. РМПИ;
Т. А. Негрей – ст. препод. каф. РМПИ;

рассмотрела результаты выполненных шахтных натурных наблюдений за конвергенцией пород и деформированием крепи в конвейерной выработке 13 восточной лавы пл.c_{11} в условиях ГП «Шахта им. Н.С. Сургая», проведенных в марте 2017, установила:

1. Геологическая характеристика
Характеристика пород:

Коэффициент крепости	
кровля	бока
Алевролит, песчаник, аргиллит, f=1-4	Алевролит, f=3-4; песчаник, f=3-6

Другие геологические данные: возможны обрушения пород кровли на высоту до 1,0 м. Выделение воды из кровли или почвы, $м^3/ч$ - <0,5

2. Параметры выработки:

Угол наклона выработки, град – 1-3°
Сечение выработки, $м^2$:

	До ремонта	После ремонта
В свету:	6,9	15,5
Вчерне:	8,0	18,0

Характеристика крепи:

Материал крепи	Металл	Металл
Тип крепи	КМП-А3/15,5	КМП-А3/15,5
Расстояние между рамами	0,5	0,5
Материал затяжки кровли	дерево	дерево
то же боков	дерево	дерево
Затяжка кровли	Всплошную	Всплошную
то же боков	Всплошную	Всплошную

2. Для установления графика общих смещений пород (рис. 1) по всей длине выработки проводились замеры высоты выработки экспресс методом на ПК 0-70. Результаты обработки замеров показали, что период интенсивных сдвижений коррелирует со временем попадания выработки в зону опорного давления. Это совпадает с известными представлениями о деформационных процессах в выработках, поддерживаемых в зоне влияния очистных работ.

Интенсификация конвергенции наблюдается на участке 80-60 м перед забоем, вертикальная конвергенция составляет более 1,0 м с большей долей пучения почвы. Перед лавой проводится ремонт выработки.

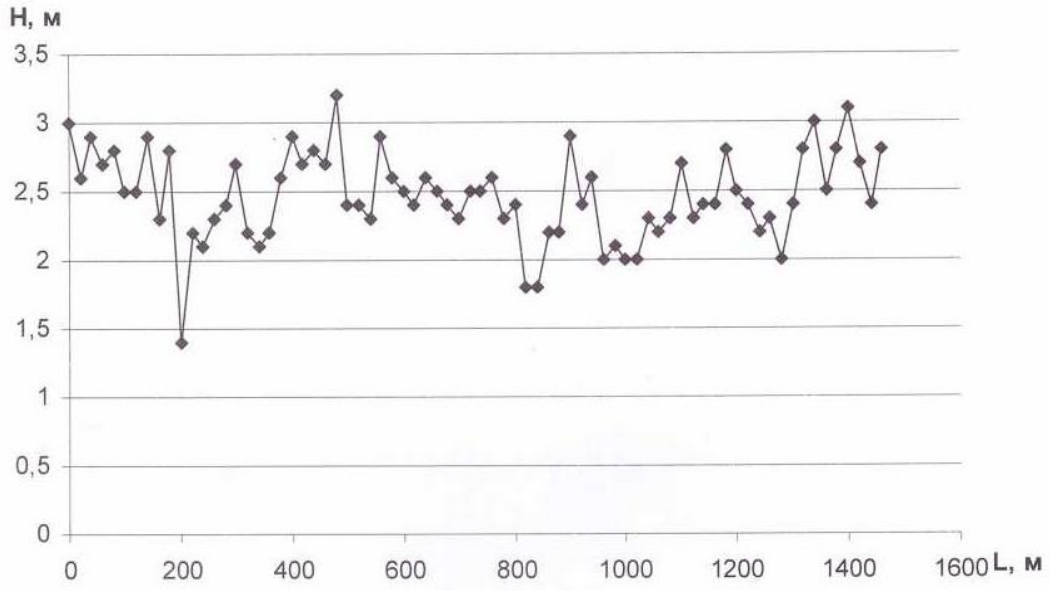


Рис. 1– График зависимости изменения высоты в конвейерной выработке 13 восточной лавы пл. c_{11}

3. Визуальные наблюдения за состоянием выработки показали, что

- породы почвы представлены блочно-дискретной средой;
- пучение почвы по отношению к вертикальной оси выработки было ассиметричным с преобладающим выдавливанием со стороны массива;
- отмечалось прокалывание почвы деревянными стойками усиления, установленными под верхняки;
- со стороны кровли отмечаются: деформирование верхняков арочной крепи и локальные вывалы вследствие смещений пород кровли, вектора которых преимущественно направлены перпендикулярно плоскости напластования пород;
- породы кровли представлены крупно-блочной средой;
- в выработке наблюдается деформирование замковых соединений, разрыв скоб и планок.

Выводы:

1. Процесс смещения кровли и почвы характеризуется двумя периодами – интенсивным и установившимся. Отмечается асимметрия пучения пород почвы, которые представлены блочной средой. Вектор максимальных перемещений ориентирован нормально напластованию. Общая величина смещений превышает податливость крепи и составляет более 1,0 м, что вызывает деформирование контура, и разрушение элементов крепи.

2. Рекомендуется провести исследование закономерностей деформирования пород в подготовительных выработках для разработки мероприятий по обеспечению их эксплуатационного безопасного состояния.

Председатель комиссии: _____ С. А. Култаев

Члены комиссии: _____ Н. Г. Максименко

…… _____ А. С. Сокун;

_____ П. А. Цыбульник

_____ Негрей С.Г.

_____ Сахно С.В.

_____ Исаенков А.А.

_____ Негрей Т.А.

Утверждаю:

Главный инженер
ГП «Шахта им. Н.С. Сургая»
_____ И.И. Бишовец
"29" 05 2017г.

Протокол
шахтных экспериментов по изучению закономерностей проявления горного давления в конвейерной выработке 13 восточной лавы пл. c_{11}

г. Угледар 29 мая 2017 г.

Комиссия в составе представителей ГП «Шахта им. Н.С. Сургая»:

С. А. Култаев – зам. директора по пр-ву – председатель комиссии
Н. Г. Максименко – главный геолог
А. С. Сокун – главный технолог;
П. А. Цыбульник – гл. маркшейдер

представителей ДонНТУ:

С. Г. Негрей – доц. каф. РМПИ, к.т.н.;
А. А. Исаенков – ст. препод. каф. ГиОТ ИИДонНТУ;
С. В. Сахно – аспирант каф. РМПИ;
Т. А. Негрей – ст. препод. каф. РМПИ

в конвейерной выработке 13 восточной лавы пл.c_{11} в условиях ГП «Шахта им. Н.С. Сургая», проведенных в апреле-мае 2017 года, установила:

1. Геологическая характеристика
Характеристика пород:

Коэффициент крепости	
кровля	бока
Алевролит, песчаник, аргиллит, f=1-4	Алевролит, f=3-4; песчаник, f=3-6

Другие геологические данные: возможны обрушения пород кровли на высоту – до 1,0 м. Выделение воды из кровли или почвы, $м^3/ч$ - <0,5.

Непосредственная почва представлена устойчивым песчаником ($П_3$) средней мощностью 1,8 м, склонным к размоканию и пучению, ниже которого залегает угольный пласт мощностью 0,25 м.

2. Параметры выработки:

Угол наклона выработки, град – 1-3°

Сечение выработки, $м^2$:

	До ремонта	После ремонта
В свету:	6,9	15,5
Вчерне:	8,0	18,0

Характеристика крепи:

Материал крепи	Металл	Металл
Тип крепи	КМП-А3/15,5	КМП-А3/15,5
Расстояние между рамами	0,5	0,5
Материал затяжки кровли	дерево	дерево
то же боков	дерево	дерево
Затяжка кровли	Всплошную	Всплошную
то же боков	Всплошную	Всплошную

Для охраны конвейерной выработки 13 восточной лавы пл. $с_{11}$ применялись накатные костры шириной 0,8м. Со стороны выработанного пространства пробивался двойной органный ряд.

2. В выработке были оборудованы 2 контурные замерные станции, в соответствии с требованиями ВНИМИ. Дополнительно осуществлялись замеры смещений пород кровли на примыкающем к выработке концевом участке лавы по стойкам призабойной крепи и обследования породных обнажений на данном участке.

3. Обработка результатов измерений позволила установить, что:

– интенсификация конвергенции наблюдается на участке 80-60 м перед очистным забоем, вертикальная конвергенция составляет более 1,0 м, смещения пород почвы от общих вертикальных смещений пород кровли и почвы составляют от 36 до 45%;

- зона влияния опорного давления распространяется на 50м от лавы. На этом участке отмечаются смещения пород кровли и почвы выработки, а на удалении более 50м происходит их стабилизация и затухание;

- в зоне влияния лавы породы кровли расслаиваются и растрескиваются кососекущими трещинами;

- осадка пород кровли на концевом участке лавы по последней стойке призабойного пространства составляет 19%, а полная усадка охранной конструкции по длине выработки составляет 38%;

- интенсивная трещиноватость пород кровли отмечена на расстоянии от пласта более 1,4 м, а на удалении 2,0м – происходит отслаивание и обрушение породных отдельностей в призабойное пространство;

- на отдельных участках по длине выработки отмечается потеря устойчивости накатных костров и разламывание деревянных стоек индивидуальной крепи вследствие вдавливания охранных конструкций в подстилающие породы;

- породы почвы представлены дискретной средой с мелко-блочным размером породных отдельностей;

- пучение почвы по отношению к вертикальной оси выработки было ассиметричным с преобладающим выдавливанием со стороны массива;

- скорость смещений пород почвы на участке выработки 70÷5м в среднем составляла 3,0 мм/сут.

Выводы:

1. Процесс смещения кровли и почвы характеризуется двумя периодами – интенсивным 50-60 м от лавы и установившимся. Общая величина вертикальных смещений контура превышает податливость крепи и составляет более 1,0 м, смещения пород почвы от общих вертикальных смещений пород кровли и почвы составляют от 34 до 45%. Вектор максимальных перемещений ориентирован нормально напластованию. Породы кровли расслаиваются и делятся на блоки кососекущими трещинами.

Породы почвы представлены мелкоблочной средой. Пучение развивается асимметрично, средняя скорость смещений почвы на участке выработки 70÷5м составляет 3,0 мм/сут.

Режим и величина нагружения систем крепления и охраны выработки не соответствует их характеристикам, что является причиной деформаций и разрушений элементов крепи и, как следствие, неудовлетворительным состоянием выработки и вывалами на примыкающем концевом участке лавы.

Рекомендуется: применение охранных конструкций с ограниченной податливостью, область применения которых распространяется на слабые породы почвы; применение мероприятий по предупреждению обрушений пород кровли на удалении от кромки пласта более 1,4м (при изменении параметров крепления эта величина рассчитывается по методике определения параметров зоны обрушения на концевых участках лав, предложенной сотрудниками ДонНТУ), в частности. опережающее анкерование пород кровли над кромкой пласта и увеличение плотности затяжки кровли.

2. Для обеспечения эксплуатационного безопасного состояния выработки необходима разработка мероприятий по обеспечению их устойчивости.

Председатель комиссии: _____ С. А. Култаев

Члены комиссии: _____ Н. Г. Максименко

_____ А. С. Сокун;

_____ П. А. Цыбульник

_____ Негрей С.Г.

_____ Сахно С.В.

_____ Исаенков А.А.

_____ Негрей Т.А.

Додаток И

Результати складання планів експериментів для отримання вихідних даних при чисельному моделюванні

Таблиця И.1

Вихідні дані для побудови чисельних моделей та результати їх розрахунку при дослідженні деформаційних процесів в охоронних спорудах та підстилаючих породах

№ експерименту	Значення показників										
	вихідні данні								результати розрахунку		
	σ, МПа	E_o, МПа	b, м	h, м	μ_o, од.	μ_n, од.	E_n, МПа	h_n, м	U'_o, $\times 10^{-3}$ м	σ_o, МПа	$U_в$, $\times 10^{-3}$ м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5,3	200	1	0,8	0,1	0,1	100	8	120,78	4,262	101,43
2	5,3	200	3	1,0	0,2	0,2	10000	8	26,55	5,340	2,137
3	5,3	200	6	1,5	0,25	0,25	5000	8	39,00	5,322	5,66
4	5,3	200	9	2,0	0,3	0,3	1000	8	68,623	5,244	29,303
5	5,3	200	12	2,5	0,4	0,4	500	8	79,056	5,331	45,862
6	14,5	200	1	2,0	0,25	0,2	500	8	187,18	12,000	55,240
7	14,5	200	3	2,5	0,3	0,25	100	8	646,10	11,340	498,83
8	14,5	200	6	0,8	0,4	0,3	10000	8	34,213	14,374	7,284
9	14,5	200	9	1,0	0,1	0,4	5000	8	83,558	14,481	12,780
10	14,5	200	12	1,5	0,2	0,1	1000	8	200,34	14,205	104,08
11	23,8	200	1	1,0	0,4	0,25	1000	8	131,00	20,400	43,463
12	23,8	200	3	1,5	0,1	0,3	500	8	334,25	21,325	166,90
13	23,8	200	6	2,0	0,2	0,4	100	8	1079,0	20,372	877,0
14	23,8	200	9	2,5	0,25	0,1	10000	8	267,97	23,885	16,221
15	23,8	200	12	0,8	0,3	0,2	5000	8	103,25	23,715	32,768
16	33,0	200	1	2,5	0,2	0,3	5000	8	406,60	31,000	12,034
17	33,0	200	3	0,8	0,25	0,4	1000	8	210,15	32,046	100,50
18	33,0	200	6	1,0	0,3	0,1	500	8	485,68	30,736	370,48
19	33,0	200	9	1,5	0,4	0,2	100	8	2057,0	30,355	1936,0
20	33,0	200	12	2,0	0,1	0,25	10000	8	343,53	32,923	21,477
21	42,3	200	1	1,5	0,3	0,4	10000	8	286,94	39,000	6,616
22	42,3	200	3	2,0	0,4	0,1	5000	8	341,29	41,000	33,601

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
23	42,3	200	6	2,5	0,1	0,2	1000	8	747,81	42,005	238,88
24	42,3	200	9	0,8	0,2	0,25	500	8	651,62	41,260	501,87
25	42,3	200	12	1,0	0,25	0,3	100	8	2600,0	41,590	2421,0
26	5,3	3000	1	1,5	0,3	0,2	500	8	21,204	3,800	18,969
27	5,3	3000	3	2,0	0,4	0,25	100	8	177,48	3,640	175,96
28	5,3	3000	6	2,5	0,1	0,3	10000	8	6,743	4,972	2,558
29	5,3	3000	9	0,8	0,2	0,4	5000	8	5,899	5,302	4,632
30	5,3	3000	12	1,0	0,25	0,1	1000	8	37,964	5,209	36,602
31	14,5	3000	1	0,8	0,1	0,25	1000	8	29,172	11,200	25,721
32	14,5	3000	3	1,0	0,2	0,3	500	8	97,517	10,794	93,749
33	14,5	3000	6	1,5	0,25	0,4	100	8	526,82	12,245	520,66
34	14,5	3000	9	2,0	0,3	0,1	10000	8	16,345	13,667	9,281
35	14,5	3000	12	2,5	0,4	0,2	5000	8	24,599	13,701	18,258
36	23,8	3000	1	2,0	0,25	0,25	5000	8	23,235	19,500	8,693
37	23,8	3000	3	2,5	0,3	0,4	1000	8	81,692	18,100	65,820
38	23,8	3000	6	0,8	0,4	0,1	500	8	251,10	20,960	248,10
39	23,8	3000	9	1,0	0,1	0,2	100	8	1383,0	22,125	1375,0
40	23,8	3000	12	1,5	0,2	0,25	10000	8	25,688	23,529	15,108
41	33,0	3000	1	1,0	0,4	0,4	10000	8	13,469	28,150	5,045
42	33,0	3000	3	1,5	0,1	0,1	5000	8	41,221	28,050	26,128
43	33,0	3000	6	2,0	0,2	0,2	1000	8	179,46	26,680	161,71
44	33,0	3000	9	2,5	0,25	0,25	500	8	371,71	27,625	349,97
45	33,0	3000	12	0,8	0,3	0,3	100	8	1899,0	32,675	1891,0
46	42,3	3000	1	2,5	0,2	0,1	100	8	826,06	29,170	793,17
47	42,3	3000	3	0,8	0,25	0,2	10000	8	25,327	39,042	16,315
48	42,3	3000	6	1,0	0,3	0,25	5000	8	53,009	39,801	42,951
49	42,3	3000	9	1,5	0,4	0,3	1000	8	232,98	39,318	221,30
50	42,3	3000	12	2,0	0,1	0,4	500	8	375,90	40,750	348,72
51	5,3	6000	1	2,5	0,2	0,25	1000	8	11,275	3,809	9,234
52	5,3	6000	3	0,8	0,25	0,3	500	8	34,673	4,006	34,146
53	5,3	6000	6	1,0	0,3	0,4	100	8	198,67	4,825	197,92
54	5,3	6000	9	1,5	0,4	0,1	10000	8	3,946	5,019	3,321
55	5,3	6000	12	2,0	0,1	0,2	5000	8	8,611	5,181	6,932
56	14,5	6000	1	1,5	0,3	0,3	5000	8	8,111	11,181	4,970
57	14,5	6000	3	2,0	0,4	0,4	1000	8	42,500	10,582	39,367
58	14,5	6000	6	2,5	0,1	0,1	500	8	148,47	10,804	143,43
59	14,5	6000	9	0,8	0,2	0,2	100	8	851,94	13,685	850,18
60	14,5	6000	12	1,0	0,25	0,25	10000	8	11,227	14,473	9,270
61	23,8	6000	1	0,8	0,1	0,4	10000	8	6,691	21,696	3,692

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
62	23,8	6000	3	1,0	0,2	0,1	5000	8	21,432	19,557	18,249
63	23,8	6000	6	1,5	0,25	0,2	1000	8	120,27	19,259	115,78
64	23,8	6000	9	2,0	0,3	0,25	500	8	258,74	20,371	252,77
65	23,8	6000	12	2,5	0,4	0,3	100	8	1256,0	21,446	1248,0
66	33,0	6000	1	2,0	0,25	0,1	100	8	621,40	20,772	611,57
67	33,0	6000	3	2,5	0,3	0,2	10000	8	23,751	27,858	12,158
68	33,0	6000	6	0,8	0,4	0,25	5000	8	35,161	31,274	33,194
69	33,0	6000	9	1,0	0,1	0,3	1000	8	182,08	31,839	176,86
70	33,0	6000	12	1,5	0,2	0,4	500	8	286,11	32,544	278,51
71	42,3	6000	1	1,0	0,4	0,2	500	8	157,99	30,800	152,92
72	42,3	6000	3	1,5	0,1	0,25	100	8	1433,0	29,548	1424,0
73	42,3	6000	6	2,0	0,2	0,3	10000	8	32,056	38,127	19,849
74	42,3	6000	9	2,5	0,25	0,4	5000	8	49,246	39,125	34,496
75	42,3	6000	12	0,8	0,3	0,1	1000	8	296,85	41,691	293,40
76	5,3	10000	1	1,0	0,4	0,3	5000	8	2,177	4,044	1,790
77	5,3	10000	3	1,5	0,1	0,4	1000	8	15,044	3,852	14,397
78	5,3	10000	6	2,0	0,2	0,1	500	8	52,970	3,971	52,161
79	5,3	10000	9	2,5	0,25	0,2	100	8	286,09	4,288	285,04
80	5,3	10000	12	0,8	0,3	0,25	10000	8	3,691	5,316	3,395
81	14,5	10000	1	2,5	0,2	0,4	10000	8	5,619	12,029	2,210
82	14,5	10000	3	0,8	0,25	0,1	5000	8	11,788	11,867	10,950
83	14,5	10000	6	1,0	0,3	0,2	1000	8	72,608	12,490	71,602
84	14,5	10000	9	1,5	0,4	0,25	500	8	158,40	13,008	157,05
85	14,5	10000	12	2,0	0,1	0,3	100	8	780,04	13,508	777,30
86	23,8	10000	1	1,5	0,3	0,1	100	8	442,52	16,518	439,47
87	23,8	10000	3	2,0	0,4	0,2	10000	8	11,764	19,597	8,549
88	23,8	10000	6	2,5	0,1	0,25	5000	8	27,908	19,500	22,647
89	23,8	10000	9	0,8	0,2	0,3	1000	8	130,62	23,389	128,98
90	23,8	10000	12	1,0	0,25	0,4	500	8	208,18	23,890	206,00
91	33,0	10000	1	0,8	0,1	0,2	500	8	121,29	23,618	118,98
92	33,0	10000	3	1,0	0,2	0,25	100	8	1106,0	22,720	1103,0
93	33,0	10000	6	1,5	0,25	0,3	10000	8	19,357	29,863	15,390
94	33,0	10000	9	2,0	0,3	0,4	5000	8	32,143	30,909	27,002
95	33,0	10000	12	2,5	0,4	0,1	1000	8	215,25	28,993	210,56
96	42,3	10000	1	2,0	0,25	0,25	1000	8	81,316	26,828	73,852
97	42,3	10000	3	2,5	0,3	0,3	500	8	278,95	29,566	270,77
98	42,3	10000	6	0,8	0,4	0,4	100	8	1612,0	39,576	1609,0
99	42,3	10000	9	1,0	0,1	0,1	10000	8	31,978	41,446	28,004
100	42,3	10000	12	1,5	0,2	0,2	5000	8	60,916	41,439	55,493

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
101	5,3	14000	1	2,0	0,25	0,4	10000	8	1,486	4,261	0,801
102	5,3	14000	3	2,5	0,3	0,1	5000	8	4,652	4,074	3,895
103	5,3	14000	6	0,8	0,4	0,2	1000	8	26,658	4,775	26,507
104	5,3	14000	9	1,0	0,1	0,25	500	8	59,891	5,051	59,537
105	5,3	14000	12	1,5	0,2	0,3	500	8	59,496	5,145	58,994
106	14,5	14000	1	1,0	0,4	0,1	100	8	268,39	10,024	267,69
107	14,5	14000	3	1,5	0,1	0,2	10000	8	6,660	11,584	5,287
108	14,5	14000	6	2,0	0,2	0,25	5000	8	15,381	11,934	13,685
109	14,5	14000	9	2,5	0,25	0,3	1000	8	73,115	12,280	71,051
110	14,5	14000	12	0,8	0,3	0,4	500	8	127,11	14,603	126,45
111	23,8	14000	1	2,5	0,2	0,2	500	8	88,664	16,104	84,760
112	23,8	14000	3	0,8	0,25	0,25	100	8	795,81	16,938	794,82
113	23,8	14000	6	1,0	0,3	0,3	10000	8	12,477	22,445	11,270
114	23,8	14000	9	1,5	0,4	0,25	5000	8	27,943	22,284	26,630
115	23,8	14000	12	2,0	0,1	0,1	1000	8	157,61	21,629	154,54
116	33,0	14000	1	1,5	0,3	0,25	1000	8	60,107	23,052	57,154
117	33,0	14000	3	2,0	0,4	0,3	500	8	211,53	22,177	208,56
118	33,0	14000	6	2,5	0,1	0,4	100	8	1101,0	23,070	1096,0
119	33,0	14000	9	0,8	0,2	0,1	10000	8	23,339	32,556	21,810
120	33,0	14000	12	1,0	0,25	0,2	5000	8	45,790	31,500	42,039
121	42,3	14000	1	0,8	0,1	0,3	5000	8	16,707	32,878	14,522
122	42,3	14000	3	1,0	0,2	0,4	1000	8	119,56	32,102	117,18
123	42,3	14000	6	1,5	0,25	0,1	500	8	429,61	32,480	426,37
124	42,3	14000	9	2,0	0,3	0,2	100	8	2327,0	34,642	2322,0
125	42,3	14000	12	2,5	0,4	0,25	10000	8	29,173	39,411	24,866
126	5,3	200	1	0,8	0,1	0,1	100	6	111,54	4,147	92,23
127	5,3	200	3	1,0	0,2	0,2	10000	6	26,359	5,348	1,939
128	5,3	200	6	1,5	0,25	0,25	5000	6	38,230	5,331	4,837
129	5,3	200	9	2,0	0,3	0,3	1000	6	63,365	5,293	23,706
130	5,3	200	12	2,5	0,4	0,4	500	6	70,111	5,410	36,267
131	14,5	200	1	2,0	0,25	0,2	500	6	182,29	11,967	50,334
132	14,5	200	3	2,5	0,3	0,25	100	6	580,27	11,431	432,40
133	14,5	200	6	0,8	0,4	0,3	10000	6	33,371	14,382	6,412
134	14,5	200	9	1,0	0,1	0,4	5000	6	81,434	14,507	10,580
135	14,5	200	12	1,5	0,2	0,1	1000	6	179,19	14,309	82,399
136	23,8	200	1	1,0	0,4	0,25	1000	6	127,19	20,624	39,597
137	23,8	200	3	1,5	0,1	0,3	500	6	313,39	21,45	145,63
138	23,8	200	6	2,0	0,2	0,4	100	6	936,00	21,101	729,17
139	23,8	200	9	2,5	0,25	0,1	10000	6	265,77	23,91	13,820

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
140	23,8	200	12	0,8	0,3	0,2	5000	6	97,087	23,743	26,490
141	33,0	200	1	2,5	0,2	0,3	5000	6	406,18	30,534	11,131
142	33,0	200	3	0,8	0,25	0,4	1000	6	198,25	32,174	88,172
143	33,0	200	6	1,0	0,3	0,1	500	6	426,22	31,073	309,67
144	33,0	200	9	1,5	0,4	0,2	100	6	1703,0	31,153	1578,0
145	33,0	200	12	2,0	0,1	0,25	10000	6	340,24	32,955	18,010
146	42,3	200	1	1,5	0,3	0,4	10000	6	286,56	38,435	6,253
147	42,3	200	3	2,0	0,4	0,1	5000	6	337,62	41,047	29,696
148	42,3	200	6	2,5	0,1	0,2	1000	6	711,90	42,324	200,90
149	42,3	200	9	0,8	0,2	0,25	500	6	556,95	41,650	406,11
150	42,3	200	12	1,0	0,25	0,3	100	6	2100,0	42,220	1920,0
151	5,3	3000	1	1,5	0,3	0,2	500	6	21,260	3,795	19,021
152	5,3	3000	3	2,0	0,4	0,25	100	6	153,71	3,671	151,52
153	5,3	3000	6	2,5	0,1	0,3	10000	6	6,456	5,014	2,253
154	5,3	3000	9	0,8	0,2	0,4	5000	6	5,143	5,333	3,864
155	5,3	3000	12	1,0	0,25	0,1	1000	6	30,664	5,259	29,271
156	14,5	3000	1	0,8	0,1	0,25	1000	6	26,844	10,827	23,401
157	14,5	3000	3	1,0	0,2	0,3	500	6	85,209	10,951	81,396
158	14,5	3000	6	1,5	0,25	0,4	100	6	442,84	12,831	436,51
159	14,5	3000	9	2,0	0,3	0,1	10000	6	15,050	13,760	7,922
160	14,5	3000	12	2,5	0,4	0,2	5000	6	21,362	13,831	14,882
161	23,8	3000	1	2,0	0,25	0,25	5000	6	22,557	19,113	8,010
162	23,8	3000	3	2,5	0,3	0,4	1000	6	73,311	18,381	57,361
163	23,8	3000	6	0,8	0,4	0,1	500	6	210,91	21,344	207,73
164	23,8	3000	9	1,0	0,1	0,2	100	6	1131,0	22,610	1123,0
165	23,8	3000	12	1,5	0,2	0,25	10000	6	23,373	23,617	12,737
166	33,0	3000	1	1,0	0,4	0,4	10000	6	13,192	28,008	4,760
167	33,0	3000	3	1,5	0,1	0,1	5000	6	38,276	28,237	23,142
168	33,0	3000	6	2,0	0,2	0,2	1000	6	153,21	27,322	135,13
169	33,0	3000	9	2,5	0,25	0,25	500	6	307,55	28,780	285,09
170	33,0	3000	12	0,8	0,3	0,3	100	6	1510,0	33,092	1502,0
171	42,3	3000	1	2,5	0,2	0,1	100	6	749,78	30,569	717,23
172	42,3	3000	3	0,8	0,25	0,2	10000	6	23,815	39,182	14,769
173	42,3	3000	6	1,0	0,3	0,25	5000	6	46,996	40,166	36,797
174	42,3	3000	9	1,5	0,4	0,3	1000	6	193,51	40,338	181,16
175	42,3	3000	12	2,0	0,1	0,4	500	6	307,28	42,271	279,51
176	5,3	6000	1	2,5	0,2	0,25	1000	6	10,428	3,851	8,392
177	5,3	6000	3	0,8	0,25	0,3	500	6	30,234	4,096	29,694
178	5,3	6000	6	1,0	0,3	0,4	100	6	166,90	4,986	166,13

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
179	5,3	6000	9	1,5	0,4	0,1	10000	6	3,481	5,051	2,838
180	5,3	6000	12	2,0	0,1	0,2	5000	6	7,369	5,242	5,675
181	14,5	6000	1	1,5	0,3	0,3	5000	6	7,733	11,262	4,589
182	14,5	6000	3	2,0	0,4	0,4	1000	6	37,451	10,797	34,280
183	14,5	6000	6	2,5	0,1	0,1	500	6	124,31	11,069	119,20
184	14,5	6000	9	0,8	0,2	0,2	100	6	696,48	14,033	694,69
185	14,5	6000	12	1,0	0,25	0,25	10000	6	9,803	14,513	7,822
186	23,8	6000	1	0,8	0,1	0,4	10000	6	6,486	20,957	3,485
187	23,8	6000	3	1,0	0,2	0,1	5000	6	19,346	19,748	16,139
188	23,8	6000	6	1,5	0,25	0,2	1000	6	101,57	19,788	96,964
189	23,8	6000	9	2,0	0,3	0,25	500	6	212,69	21,196	206,46
190	23,8	6000	12	2,5	0,4	0,3	100	6	1008,0	22,300	1000,0
191	33,0	6000	1	2,0	0,25	0,1	100	6	562,39	22,873	552,48
192	33,0	6000	3	2,5	0,3	0,2	10000	6	22,592	28,028	10,975
193	33,0	6000	6	0,8	0,4	0,25	5000	6	30,540	31,536	28,482
194	33,0	6000	9	1,0	0,1	0,3	1000	6	150,08	32,43	144,78
195	33,0	6000	12	1,5	0,2	0,4	500	6	229,99	33,456	222,18
196	42,3	6000	1	1,0	0,4	0,2	500	6	143,79	31,001	138,73
197	42,3	6000	3	1,5	0,1	0,25	100	6	1242,0	29,855	1234,0
198	42,3	6000	6	2,0	0,2	0,3	10000	6	29,808	38,564	17,498
199	42,3	6000	9	2,5	0,25	0,4	5000	6	44,173	40,097	29,101
200	42,3	6000	12	0,8	0,3	0,1	1000	6	238,30	42,025	234,65
201	5,3	10000	1	1,0	0,4	0,3	5000	6	2,037	4,085	1,650
202	5,3	10000	3	1,5	0,1	0,4	1000	6	13,185	3,954	12,529
203	5,3	10000	6	2,0	0,2	0,1	500	6	44,204	4,073	43,379
204	5,3	10000	9	2,5	0,25	0,2	100	6	233,05	4,504	231,95
205	5,3	10000	12	0,8	0,3	0,25	10000	6	3,170	5,328	2,866
206	14,5	10000	1	2,5	0,2	0,4	10000	6	5,495	11,554	2,085
207	14,5	10000	3	0,8	0,25	0,1	5000	6	10,532	11,980	9,683
208	14,5	10000	6	1,0	0,3	0,2	1000	6	61,232	12,822	60,183
209	14,5	10000	9	1,5	0,4	0,25	500	6	130,02	13,422	128,57
210	14,5	10000	12	2,0	0,1	0,3	100	6	625,59	13,950	622,80
211	23,8	10000	1	1,5	0,3	0,1	100	6	401,62	16,357	398,62
212	23,8	10000	3	2,0	0,4	0,2	10000	6	10,948	19,738	7,711
213	23,8	10000	6	2,5	0,1	0,25	5000	6	24,692	19,925	19,373
214	23,8	10000	9	0,8	0,2	0,3	1000	6	107,21	23,667	105,52
215	23,8	10000	12	1,0	0,25	0,4	500	6	164,80	24,288	162,55
216	33,0	10000	1	0,8	0,1	0,2	500	6	110,06	24,330	107,77
217	33,0	10000	3	1,0	0,2	0,25	100	6	956,20	23,157	953,79

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
218	33,0	10000	6	1,5	0,25	0,3	10000	6	17,603	30,215	13,585
219	33,0	10000	9	2,0	0,3	0,4	5000	6	28,145	31,648	22,834
220	33,0	10000	12	2,5	0,4	0,1	1000	6	173,12	29,775	168,17
221	42,3	10000	1	2,0	0,25	0,25	1000	6	74,473	30,423	67,053
222	42,3	10000	3	2,5	0,3	0,3	500	6	243,36	30,011	235,15
223	42,3	10000	6	0,8	0,4	0,4	100	6	1354,0	40,644	1351,0
224	42,3	10000	9	1,0	0,1	0,1	10000	6	28,023	41,672	24,021
225	42,3	10000	12	1,5	0,2	0,2	5000	6	50,979	41,844	45,453
226	5,3	14000	1	2,0	0,25	0,4	10000	6	1,440	4,318	0,755
227	5,3	14000	3	2,5	0,3	0,1	5000	6	4,199	4,112	3,439
228	5,3	14000	6	0,8	0,4	0,2	1000	6	22,491	4,843	22,327
229	5,3	14000	9	1,0	0,1	0,25	500	6	49,109	5,152	48,749
230	5,3	14000	12	1,5	0,2	0,3	500	6	47,773	5,270	47,258
231	14,5	14000	1	1,0	0,4	0,1	100	6	243,11	10,106	242,38
232	14,5	14000	3	1,5	0,1	0,2	10000	6	6,151	11,676	4,774
233	14,5	14000	6	2,0	0,2	0,25	5000	6	13,439	12,212	11,713
234	14,5	14000	9	2,5	0,25	0,3	1000	6	60,458	12,857	58,303
235	14,5	14000	12	0,8	0,3	0,4	500	6	99,950	14,786	99,233
236	23,8	14000	1	2,5	0,2	0,2	500	6	80,713	16,272	76,802
237	23,8	14000	3	0,8	0,25	0,25	100	6	689,64	17,389	688,64
238	23,8	14000	6	1,0	0,3	0,3	10000	6	11,193	22,635	9,960
239	23,8	14000	9	1,5	0,4	0,25	5000	6	23,717	22,625	22,312
240	23,8	14000	12	2,0	0,1	0,1	1000	6	126,89	22,146	123,76
241	33,0	14000	1	1,5	0,3	0,25	1000	6	55,026	22,718	52,069
242	33,0	14000	3	2,0	0,4	0,3	500	6	183,85	22,853	180,85
243	33,0	14000	6	2,5	0,1	0,4	100	6	902,29	24,174	897,35
244	33,0	14000	9	0,8	0,2	0,1	10000	6	20,267	32,686	18,711
245	33,0	14000	12	1,0	0,25	0,2	5000	6	38,346	31,943	34,500
246	42,3	14000	1	0,8	0,1	0,3	5000	6	15,562	31,844	13,376
247	42,3	14000	3	1,0	0,2	0,4	1000	6	104,80	33,093	102,37
248	42,3	14000	6	1,5	0,25	0,1	500	6	357,53	33,208	354,19
249	42,3	14000	9	2,0	0,3	0,2	100	6	1892,0	36,302	1887,0
250	42,3	14000	12	2,5	0,4	0,25	10000	6	25,528	39,840	21,090
251	5,3	200	1	0,8	0,1	0,1	100	4	98,391	4,151	79,103
252	5,3	200	3	1,0	0,2	0,2	10000	4	26,099	5,350	1,665
253	5,3	200	6	1,5	0,25	0,25	5000	4	37,226	5,348	3,752
254	5,3	200	9	2,0	0,3	0,3	1000	4	56,851	5,361	16,764
255	5,3	200	12	2,5	0,4	0,4	500	4	58,954	5,497	24,532
256	14,5	200	1	2,0	0,25	0,2	500	4	175,33	12,012	43,368

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
257	14,5	200	3	2,5	0,3	0,25	100	4	491,05	11,713	341,95
258	14,5	200	6	0,8	0,4	0,3	10000	4	32,236	14,395	5,233
259	14,5	200	9	1,0	0,1	0,4	5000	4	78,663	14,539	7,719
260	14,5	200	12	1,5	0,2	0,1	1000	4	154,93	14,441	57,461
261	23,8	200	1	1,0	0,4	0,25	1000	4	121,77	20,526	34,122
262	23,8	200	3	1,5	0,1	0,3	500	4	284,66	21,73	115,93
263	23,8	200	6	2,0	0,2	0,4	100	4	744,52	22,410	529,84
264	23,8	200	9	2,5	0,25	0,1	10000	4	263,18	23,949	10,925
265	23,8	200	12	0,8	0,3	0,2	5000	4	90,006	23,773	19,289
266	33,0	200	1	2,5	0,2	0,3	5000	4	404,62	30,614	9,829
267	33,0	200	3	0,8	0,25	0,4	1000	4	180,98	32,433	70,098
268	33,0	200	6	1,0	0,3	0,1	500	4	351,14	31,668	232,34
269	33,0	200	9	1,5	0,4	0,2	100	4	1272,0	32,366	1141,0
270	33,0	200	12	2,0	0,1	0,25	10000	4	336,44	32,990	14,011
271	42,3	200	1	1,5	0,3	0,4	10000	4	285,98	38,556	5,666
272	42,3	200	3	2,0	0,4	0,1	5000	4	332,70	41,120	24,393
273	42,3	200	6	2,5	0,1	0,2	1000	4	665,96	42,955	150,94
274	42,3	200	9	0,8	0,2	0,25	500	4	439,58	42,180	287,35
275	42,3	200	12	1,0	0,25	0,3	100	4	1500,0	42,939	1319,0
276	5,3	3000	1	1,5	0,3	0,2	500	4	16,970	3,886	14,737
277	5,3	3000	3	2,0	0,4	0,25	100	4	121,32	3,809	119,11
278	5,3	3000	6	2,5	0,1	0,3	10000	4	6,079	5,089	1,844
279	5,3	3000	9	0,8	0,2	0,4	5000	4	4,140	5,369	2,846
280	5,3	3000	12	1,0	0,25	0,1	1000	4	22,238	5,322	20,799
281	14,5	3000	1	0,8	0,1	0,25	1000	4	23,536	10,849	20,095
282	14,5	3000	3	1,0	0,2	0,3	500	4	68,408	11,475	64,504
283	14,5	3000	6	1,5	0,25	0,4	100	4	328,06	13,772	321,48
284	14,5	3000	9	2,0	0,3	0,1	10000	4	13,517	13,894	6,299
285	14,5	3000	12	2,5	0,4	0,2	5000	4	17,667	13,984	11,023
286	23,8	3000	1	2,0	0,25	0,25	5000	4	21,593	19,150	7,045
287	23,8	3000	3	2,5	0,3	0,4	1000	4	61,247	19,026	45,136
288	23,8	3000	6	0,8	0,4	0,1	500	4	160,61	22,024	157,19
289	23,8	3000	9	1,0	0,1	0,2	100	4	822,81	23,296	815,07
290	23,8	3000	12	1,5	0,2	0,25	10000	4	20,673	23,698	9,980
291	33,0	3000	1	1,0	0,4	0,4	10000	4	12,749	28,081	4,314
292	33,0	3000	3	1,5	0,1	0,1	5000	4	34,354	28,630	19,128
293	33,0	3000	6	2,0	0,2	0,2	1000	4	120,58	28,646	101,88
294	33,0	3000	9	2,5	0,25	0,25	500	4	230,04	30,550	206,56
295	33,0	3000	12	0,8	0,3	0,3	100	4	1040,0	33,586	1033,0

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
296	42,3	3000	1	2,5	0,2	0,1	100	4	645,56	30,154	612,86
297	42,3	3000	3	0,8	0,25	0,2	10000	4	21,765	39,455	12,662
298	42,3	3000	6	1,0	0,3	0,25	5000	4	39,185	40,759	28,770
299	42,3	3000	9	1,5	0,4	0,3	1000	4	144,01	41,811	130,95
300	42,3	3000	12	2,0	0,1	0,4	500	4	219,31	43,974	190,90
301	5,3	6000	1	2,5	0,2	0,25	1000	4	9,238	3,818	7,200
302	5,3	6000	3	0,8	0,25	0,3	500	4	24,158	4,274	23,596
303	5,3	6000	6	1,0	0,3	0,4	100	4	122,96	5,256	122,17
304	5,3	6000	9	1,5	0,4	0,1	10000	4	2,929	5,095	2,262
305	5,3	6000	12	2,0	0,1	0,2	5000	4	5,933	5,316	4,219
306	14,5	6000	1	1,5	0,3	0,3	5000	4	7,167	11,695	4,023
307	14,5	6000	3	2,0	0,4	0,4	1000	4	30,200	11,256	26,955
308	14,5	6000	6	2,5	0,1	0,1	500	4	94,600	11,649	89,357
309	14,5	6000	9	0,8	0,2	0,2	100	4	504,98	14,325	503,16
310	14,5	6000	12	1,0	0,25	0,25	10000	4	8,135	14,543	6,130
311	23,8	6000	1	0,8	0,1	0,4	10000	4	6,164	20,874	3,163
312	23,8	6000	3	1,0	0,2	0,1	5000	4	16,573	20,100	13,322
313	23,8	6000	6	1,5	0,25	0,2	1000	4	78,082	20,804	73,269
314	23,8	6000	9	2,0	0,3	0,25	500	4	156,74	22,390	150,18
315	23,8	6000	12	2,5	0,4	0,3	100	4	716,68	23,398	708,78
316	33,0	6000	1	2,0	0,25	0,1	100	4	481,14	22,776	471,36
317	33,0	6000	3	2,5	0,3	0,2	10000	4	21,035	28,313	9,370
318	33,0	6000	6	0,8	0,4	0,25	5000	4	24,514	31,975	22,322
319	33,0	6000	9	1,0	0,1	0,3	1000	4	109,56	33,217	104,15
320	33,0	6000	12	1,5	0,2	0,4	500	4	157,74	34,426	149,71
321	42,3	6000	1	1,0	0,4	0,2	500	4	123,55	30,768	118,51
322	42,3	6000	3	1,5	0,1	0,25	100	4	977,08	30,515	968,38
323	42,3	6000	6	2,0	0,2	0,3	10000	4	26,845	39,325	14,368
324	42,3	6000	9	2,5	0,25	0,4	5000	4	37,447	41,408	21,974
325	42,3	6000	12	0,8	0,3	0,1	1000	4	170,61	42,45	166,68
326	5,3	10000	1	1,0	0,4	0,3	5000	4	1,834	4,064	1,446
327	5,3	10000	3	1,5	0,1	0,4	1000	4	10,548	4,157	9,868
328	5,3	10000	6	2,0	0,2	0,1	500	4	33,423	4,304	32,568
329	5,3	10000	9	2,5	0,25	0,2	100	4	169,99	4,823	168,83
330	5,3	10000	12	0,8	0,3	0,25	10000	4	2,558	5,336	2,247
331	14,5	10000	1	2,5	0,2	0,4	10000	4	5,300	12,100	1,891
332	14,5	10000	3	0,8	0,25	0,1	5000	4	8,861	12,198	7,995
333	14,5	10000	6	1,0	0,3	0,2	1000	4	46,827	13,320	45,715
334	14,5	10000	9	1,5	0,4	0,25	500	4	95,065	14,012	93,511

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
335	14,5	10000	12	2,0	0,1	0,3	100	4	442,33	14,520	439,47
336	23,8	10000	1	1,5	0,3	0,1	100	4	342,14	16,724	339,16
337	23,8	10000	3	2,0	0,4	0,2	10000	4	9,849	19,979	6,579
338	23,8	10000	6	2,5	0,1	0,25	5000	4	20,611	20,755	15,184
339	23,8	10000	9	0,8	0,2	0,3	1000	4	77,455	24,107	75,697
340	23,8	10000	12	1,0	0,25	0,4	500	4	109,48	24,662	107,16
341	33,0	10000	1	0,8	0,1	0,2	500	4	94,189	21,376	91,895
342	33,0	10000	3	1,0	0,2	0,25	100	4	754,39	24,126	751,87
343	33,0	10000	6	1,5	0,25	0,3	10000	4	15,276	30,810	11,178
344	33,0	10000	9	2,0	0,3	0,4	5000	4	22,780	32,656	17,264
345	33,0	10000	12	2,5	0,4	0,1	1000	4	126,11	30,977	120,76
346	42,3	10000	1	2,0	0,25	0,25	1000	4	65,024	26,960	57,558
347	42,3	10000	3	2,5	0,3	0,3	500	4	193,59	30,989	185,35
348	42,3	10000	6	0,8	0,4	0,4	100	4	993,00	42,400	990,20
349	42,3	10000	9	1,0	0,1	0,1	10000	4	23,256	41,980	19,214
350	42,3	10000	12	1,5	0,2	0,2	5000	4	39,447	42,289	33,792
351	5,3	14000	1	2,0	0,25	0,4	10000	4	1,368	4,281	0,684
352	5,3	14000	3	2,5	0,3	0,1	5000	4	3,595	4,189	2,829
353	5,3	14000	6	0,8	0,4	0,2	1000	4	17,157	5,015	16,974
354	5,3	14000	9	1,0	0,1	0,25	500	4	35,669	5,292	35,302
355	5,3	14000	12	1,5	0,2	0,3	500	4	33,694	5,402	33,160
356	14,5	14000	1	1,0	0,4	0,1	100	4	207,19	9,994	206,46
357	14,5	14000	3	1,5	0,1	0,2	10000	4	5,468	11,850	4,082
358	14,5	14000	6	2,0	0,2	0,25	5000	4	10,970	12,712	9,194
359	14,5	14000	9	2,5	0,25	0,3	1000	4	44,846	13,687	42,576
360	14,5	14000	12	0,8	0,3	0,4	500	4	65,572	14,939	64,808
361	23,8	14000	1	2,5	0,2	0,2	500	4	69,456	16,096	65,553
362	23,8	14000	3	0,8	0,25	0,25	100	4	546,16	18,233	545,10
363	23,8	14000	6	1,0	0,3	0,3	10000	4	9,476	22,940	8,205
364	23,8	14000	9	1,5	0,4	0,25	5000	4	18,504	23,119	16,985
365	23,8	14000	12	2,0	0,1	0,1	1000	4	92,271	22,906	89,056
366	33,0	14000	1	1,5	0,3	0,25	1000	4	47,423	23,236	44,468
367	33,0	14000	3	2,0	0,4	0,3	500	4	145,26	23,594	142,23
368	33,0	14000	6	2,5	0,1	0,4	100	4	643,33	26,587	638,16
369	33,0	14000	9	0,8	0,2	0,1	10000	4	16,564	32,869	14,968
370	33,0	14000	12	1,0	0,25	0,2	5000	4	29,771	32,502	25,802
371	42,3	14000	1	0,8	0,1	0,3	5000	4	13,933	33,663	11,752
372	42,3	14000	3	1,0	0,2	0,4	1000	4	83,606	34,605	81,079
373	42,3	14000	6	1,5	0,25	0,1	500	4	268,37	34,689	264,84

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
374	42,3	14000	9	2,0	0,3	0,2	100	4	1375,0	38,721	1370,0
375	42,3	14000	12	2,5	0,4	0,25	10000	4	21,315	40,327	16,723
376	5,3	200	1	0,8	0,1	0,1	100	2	76,564	4,152	57,251
377	5,3	200	3	1,0	0,2	0,2	10000	2	25,711	5,357	1,239
378	5,3	200	6	1,5	0,25	0,25	5000	2	35,912	5,372	2,328
379	5,3	200	9	2,0	0,3	0,3	1000	2	49,060	5,405	8,771
380	5,3	200	12	2,5	0,4	0,4	500	2	45,736	5,500	11,826
381	14,5	200	1	2,0	0,25	0,2	500	2	163,80	12,162	31,650
382	14,5	200	3	2,5	0,3	0,25	100	2	362,34	12,582	208,79
383	14,5	200	6	0,8	0,4	0,3	10000	2	30,707	14,410	3,663
384	14,5	200	9	1,0	0,1	0,4	5000	2	75,579	14,534	4,655
385	14,5	200	12	1,5	0,2	0,1	1000	2	128,07	14,509	30,236
386	23,8	200	1	1,0	0,4	0,25	1000	2	112,80	20,551	24,881
387	23,8	200	3	1,5	0,1	0,3	500	2	242,35	22,607	70,543
388	23,8	200	6	2,0	0,2	0,4	100	2	494,44	24,456	268,29
389	23,8	200	9	2,5	0,25	0,1	10000	2	260,10	23,981	7,555
390	23,8	200	12	0,8	0,3	0,2	5000	2	82,473	23,772	11,736
391	33,0	200	1	2,5	0,2	0,3	5000	2	401,41	30,651	7,602
392	33,0	200	3	0,8	0,25	0,4	1000	2	154,50	33,148	41,649
393	33,0	200	6	1,0	0,3	0,1	500	2	252,17	32,694	129,87
394	33,0	200	9	1,5	0,4	0,2	100	2	739,45	33,704	608,49
395	33,0	200	12	2,0	0,1	0,25	10000	2	332,34	32,993	9,891
396	42,3	200	1	1,5	0,3	0,4	10000	2	284,98	38,521	4,629
397	42,3	200	3	2,0	0,4	0,1	5000	2	325,78	41,299	16,327
398	42,3	200	6	2,5	0,1	0,2	1000	2	606,77	44,066	84,391
399	42,3	200	9	0,8	0,2	0,25	500	2	300,46	42,457	147,64
400	42,3	200	12	1,0	0,25	0,3	100	2	825,55	42,845	646,85
401	5,3	3000	1	1,5	0,3	0,2	500	2	12,848	3,947	10,614
402	5,3	3000	3	2,0	0,4	0,25	100	2	74,879	4,271	72,532
403	5,3	3000	6	2,5	0,1	0,3	10000	2	5,591	5,201	1,307
404	5,3	3000	9	0,8	0,2	0,4	5000	2	3,000	5,344	1,711
405	5,3	3000	12	1,0	0,25	0,1	1000	2	12,562	5,345	11,088
406	14,5	3000	1	0,8	0,1	0,25	1000	2	18,084	11,283	14,633
407	14,5	3000	3	1,0	0,2	0,3	500	2	43,909	12,629	39,736
408	14,5	3000	6	1,5	0,25	0,4	100	2	172,93	15,182	166,01
409	14,5	3000	9	2,0	0,3	0,1	10000	2	11,686	13,999	4,394
410	14,5	3000	12	2,5	0,4	0,2	5000	2	13,417	13,990	6,753
411	23,8	3000	1	2,0	0,25	0,25	5000	2	19,992	19,371	5,426
412	23,8	3000	3	2,5	0,3	0,4	1000	2	43,520	21,003	26,800

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
413	23,8	3000	6	0,8	0,4	0,1	500	2	94,483	23,283	90,831
414	23,8	3000	9	1,0	0,1	0,2	100	2	440,01	23,905	432,16
415	23,8	3000	12	1,5	0,2	0,25	10000	2	17,728	23,639	7,038
416	33,0	3000	1	1,0	0,4	0,4	10000	2	11,975	28,231	3,515
417	33,0	3000	3	1,5	0,1	0,1	5000	2	28,675	29,708	13,195
418	33,0	3000	6	2,0	0,2	0,2	1000	2	78,572	31,085	58,869
419	33,0	3000	9	2,5	0,25	0,25	500	2	136,45	32,409	112,02
420	33,0	3000	12	0,8	0,3	0,3	100	2	516,83	33,807	509,63
421	42,3	3000	1	2,5	0,2	0,1	100	2	470,29	30,121	437,49
422	42,3	3000	3	0,8	0,25	0,2	10000	2	18,716	40,171	9,471
423	42,3	3000	6	1,0	0,3	0,25	5000	2	28,808	41,580	18,146
424	42,3	3000	9	1,5	0,4	0,3	1000	2	83,230	42,961	70,089
425	42,3	3000	12	2,0	0,1	0,4	500	2	118,46	43,920	90,047
426	5,3	6000	1	2,5	0,2	0,25	1000	2	7,254	3,840	5,217
427	5,3	6000	3	0,8	0,25	0,3	500	2	15,223	4,716	14,617
428	5,3	6000	6	1,0	0,3	0,4	100	2	62,478	5,648	61,650
429	5,3	6000	9	1,5	0,4	0,1	10000	2	2,266	5,120	1,579
430	5,3	6000	12	2,0	0,1	0,2	5000	2	4,315	5,328	2,594
431	14,5	6000	1	1,5	0,3	0,3	5000	2	6,253	11,401	3,083
432	14,5	6000	3	2,0	0,4	0,4	1000	2	19,589	12,684	16,094
433	14,5	6000	6	2,5	0,1	0,1	500	2	56,914	12,908	51,391
434	14,5	6000	9	0,8	0,2	0,2	100	2	266,81	14,655	264,98
435	14,5	6000	12	1,0	0,25	0,25	10000	2	6,321	14,492	4,313
436	23,8	6000	1	0,8	0,1	0,4	10000	2	5,593	21,053	2,586
437	23,8	6000	3	1,0	0,2	0,1	5000	2	12,569	21,014	9,210
438	23,8	6000	6	1,5	0,25	0,2	1000	2	47,603	22,498	42,489
439	23,8	6000	9	2,0	0,3	0,25	500	2	88,025	23,520	81,231
440	23,8	6000	12	2,5	0,4	0,3	100	2	371,13	24,100	363,18
441	33,0	6000	1	2,0	0,25	0,1	100	2	346,46	22,876	336,62
442	33,0	6000	3	2,5	0,3	0,2	10000	2	18,786	29,133	6,983
443	33,0	6000	6	0,8	0,4	0,25	5000	2	16,459	32,538	14,127
444	33,0	6000	9	1,0	0,1	0,3	1000	2	60,290	33,663	54,827
445	33,0	6000	12	1,5	0,2	0,4	500	2	78,019	34,245	70,042
446	42,3	6000	1	1,0	0,4	0,2	500	2	90,341	31,422	85,276
447	42,3	6000	3	1,5	0,1	0,25	100	2	596,91	34,091	587,93
448	42,3	6000	6	2,0	0,2	0,3	10000	2	22,943	40,397	10,248
449	42,3	6000	9	2,5	0,25	0,4	5000	2	29,161	41,913	13,583
450	42,3	6000	12	0,8	0,3	0,1	1000	2	92,885	42,536	88,705
451	5,3	10000	1	1,0	0,4	0,3	5000	2	1,495	4,146	1,105

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
452	5,3	10000	3	1,5	0,1	0,4	1000	2	6,659	4,728	5,925
453	5,3	10000	6	2,0	0,2	0,1	500	2	19,702	4,772	18,784
454	5,3	10000	9	2,5	0,25	0,2	100	2	92,767	5,147	91,565
455	5,3	10000	12	0,8	0,3	0,25	10000	2	1,892	5,317	1,579
456	14,5	10000	1	2,5	0,2	0,4	10000	2	4,954	12,077	1,541
457	14,5	10000	3	0,8	0,25	0,1	5000	2	6,443	12,761	5,537
458	14,5	10000	6	1,0	0,3	0,2	1000	2	27,690	14,127	26,504
459	14,5	10000	9	1,5	0,4	0,25	500	2	51,853	14,548	50,229
460	14,5	10000	12	2,0	0,1	0,3	100	2	225,04	14,756	222,14
461	23,8	10000	1	1,5	0,3	0,1	100	2	245,12	16,940	242,10
462	23,8	10000	3	2,0	0,4	0,2	10000	2	8,275	20,709	4,917
463	23,8	10000	6	2,5	0,1	0,25	5000	2	15,386	22,148	9,769
464	23,8	10000	9	0,8	0,2	0,3	1000	2	41,448	24,350	39,662
465	23,8	10000	12	1,0	0,25	0,4	500	2	51,681	24,334	49,392
466	33,0	10000	1	0,8	0,1	0,2	500	2	68,292	23,329	66,024
467	33,0	10000	3	1,0	0,2	0,25	100	2	463,29	27,507	460,46
468	33,0	10000	6	1,5	0,25	0,3	10000	2	12,174	31,590	7,986
469	33,0	10000	9	2,0	0,3	0,4	5000	2	16,181	32,957	10,647
470	33,0	10000	12	2,5	0,4	0,1	1000	2	72,079	32,197	66,409
471	42,3	10000	1	2,0	0,25	0,25	1000	2	49,137	30,107	41,668
472	42,3	10000	3	2,5	0,3	0,3	500	2	121,26	34,539	112,82
473	42,3	10000	6	0,8	0,4	0,4	100	2	495,53	44,986	492,62
474	42,3	10000	9	1,0	0,1	0,1	10000	2	17,527	42,175	13,450
475	42,3	10000	12	1,5	0,2	0,2	5000	2	26,425	42,243	20,710
476	5,3	14000	1	2,0	0,25	0,4	10000	2	1,241	4,294	0,556
477	5,3	14000	3	2,5	0,3	0,1	5000	2	2,734	4,424	1,951
478	5,3	14000	6	0,8	0,4	0,2	1000	2	10,024	5,253	9,821
479	5,3	14000	9	1,0	0,1	0,25	500	2	19,036	5,395	18,662
480	5,3	14000	12	1,5	0,2	0,3	500	2	17,403	5,436	16,862
481	14,5	14000	1	1,0	0,4	0,1	100	2	148,07	10,189	147,35
482	14,5	14000	3	1,5	0,1	0,2	10000	2	4,476	12,398	3,062
483	14,5	14000	6	2,0	0,2	0,25	5000	2	7,776	13,524	5,926
484	14,5	14000	9	2,5	0,25	0,3	1000	2	25,616	14,380	23,256
485	14,5	14000	12	0,8	0,3	0,4	500	2	30,603	14,740	29,863
486	23,8	14000	1	2,5	0,2	0,2	500	2	50,865	16,176	46,981
487	23,8	14000	3	0,8	0,25	0,25	100	2	337,19	20,357	336,06
488	23,8	14000	6	1,0	0,3	0,3	10000	2	7,158	23,311	5,849
489	23,8	14000	9	1,5	0,4	0,25	5000	2	12,131	23,380	10,554
490	23,8	14000	12	2,0	0,1	0,1	1000	2	52,090	23,555	48,793

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
491	33,0	14000	1	1,5	0,3	0,25	1000	2	35,081	23,933	32,133
492	33,0	14000	3	2,0	0,4	0,3	500	2	89,795	26,733	86,549
493	33,0	14000	6	2,5	0,1	0,4	100	2	329,59	31,277	323,97
494	33,0	14000	9	0,8	0,2	0,1	10000	2	12,100	32,959	10,467
495	33,0	14000	12	1,0	0,25	0,2	5000	2	19,949	32,630	15,917
496	42,3	14000	1	0,8	0,1	0,3	5000	2	11,201	33,410	9,020
497	42,3	14000	3	1,0	0,2	0,4	1000	2	51,797	39,040	49,050
498	42,3	14000	6	1,5	0,25	0,1	500	2	155,41	37,978	151,59
499	42,3	14000	9	2,0	0,3	0,2	100	2	744,19	41,053	738,90
500	42,3	14000	12	2,5	0,4	0,25	10000	2	16,420	40,222	11,820
501	5,3	200	1	0,8	0,1	0,1	100	1	57,346	4,383	37,863
502	5,3	200	3	1,0	0,2	0,2	10000	1	25,432	5,370	0,920
503	5,3	200	6	1,5	0,25	0,25	5000	1	35,142	5,376	1,544
504	5,3	200	9	2,0	0,3	0,3	1000	1	44,860	5,391	4,752
505	5,3	200	12	2,5	0,4	0,4	500	1	38,887	5,437	5,974
506	14,5	200	1	2,0	0,25	0,2	500	1	153,61	13,000	20,983
507	14,5	200	3	2,5	0,3	0,25	100	1	274,14	13,638	114,78
508	14,5	200	6	0,8	0,4	0,3	10000	1	29,850	14,405	2,837
509	14,5	200	9	1,0	0,1	0,4	5000	1	74,285	14,507	3,442
510	14,5	200	12	1,5	0,2	0,1	1000	1	114,26	14,502	16,436
511	23,8	200	1	1,0	0,4	0,25	1000	1	104,96	21,236	16,425
512	23,8	200	3	1,5	0,1	0,3	500	1	213,48	23,531	37,934
513	23,8	200	6	2,0	0,2	0,4	100	1	354,41	24,971	126,37
514	23,8	200	9	2,5	0,25	0,1	10000	1	258,38	23,988	5,779
515	23,8	200	12	0,8	0,3	0,2	5000	1	78,739	23,766	8,020
516	33,0	200	1	2,5	0,2	0,3	5000	1	400,40	30,728	5,511
517	33,0	200	3	0,8	0,25	0,4	1000	1	135,94	33,800	21,526
518	33,0	200	6	1,0	0,3	0,1	500	1	191,95	33,064	68,638
519	33,0	200	9	1,5	0,4	0,2	100	1	435,03	33,847	308,81
520	33,0	200	12	2,0	0,1	0,25	10000	1	330,33	32,986	7,929
521	42,3	200	1	1,5	0,3	0,4	10000	1	284,06	38,660	3,626
522	42,3	200	3	2,0	0,4	0,1	5000	1	320,93	41,474	10,597
523	42,3	200	6	2,5	0,1	0,2	1000	1	571,90	44,531	45,773
524	42,3	200	9	0,8	0,2	0,25	500	1	229,05	42,286	76,723
525	42,3	200	12	1,0	0,25	0,3	100	1	498,17	42,370	321,36
526	5,3	3000	1	1,5	0,3	0,2	500	1	9,275	4,098	7,016
527	5,3	3000	3	2,0	0,4	0,25	100	1	43,104	4,822	40,535
528	5,3	3000	6	2,5	0,1	0,3	10000	1	5,314	5,204	1,022
529	5,3	3000	9	0,8	0,2	0,4	5000	1	2,525	5,289	1,253

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
530	5,3	3000	12	1,0	0,25	0,1	1000	1	7,478	5,316	6,000
531	14,5	3000	1	0,8	0,1	0,25	1000	1	13,283	11,756	9,792
532	14,5	3000	3	1,0	0,2	0,3	500	1	26,765	13,917	22,338
533	14,5	3000	6	1,5	0,25	0,4	100	1	83,645	15,470	76,686
534	14,5	3000	9	2,0	0,3	0,1	10000	1	10,660	13,985	3,368
535	14,5	3000	12	2,5	0,4	0,2	5000	1	11,091	13,882	4,558
536	23,8	3000	1	2,0	0,25	0,25	5000	1	18,577	19,917	3,954
537	23,8	3000	3	2,5	0,3	0,4	1000	1	31,988	23,110	14,408
538	23,8	3000	6	0,8	0,4	0,1	500	1	52,912	23,910	49,297
539	23,8	3000	9	1,0	0,1	0,2	100	1	226,77	23,970	218,92
540	23,8	3000	12	1,5	0,2	0,25	10000	1	16,276	23,579	5,613
541	33,0	3000	1	1,0	0,4	0,4	10000	1	11,275	29,264	2,759
542	33,0	3000	3	1,5	0,1	0,1	5000	1	24,657	31,047	8,844
543	33,0	3000	6	2,0	0,2	0,2	1000	1	53,165	32,298	32,982
544	33,0	3000	9	2,5	0,25	0,25	500	1	84,122	32,994	59,646
545	33,0	3000	12	0,8	0,3	0,3	100	1	259,95	33,356	252,98
546	42,3	3000	1	2,5	0,2	0,1	100	1	316,64	32,307	284,06
547	42,3	3000	3	0,8	0,25	0,2	10000	1	16,488	40,901	7,117
548	42,3	3000	6	1,0	0,3	0,25	5000	1	22,679	41,504	12,051
549	42,3	3000	9	1,5	0,4	0,3	1000	1	50,127	42,372	37,691
550	42,3	3000	12	2,0	0,1	0,4	500	1	74,421	42,611	46,551
551	5,3	6000	1	2,5	0,2	0,25	1000	1	5,517	4,193	3,472
552	5,3	6000	3	0,8	0,25	0,3	500	1	8,855	5,135	8,218
553	5,3	6000	6	1,0	0,3	0,4	100	1	28,654	5,600	27,843
554	5,3	6000	9	1,5	0,4	0,1	10000	1	1,890	5,102	1,208
555	5,3	6000	12	2,0	0,1	0,2	5000	1	3,482	5,301	1,764
556	14,5	6000	1	1,5	0,3	0,3	5000	1	5,415	12,130	2,238
557	14,5	6000	3	2,0	0,4	0,4	1000	1	12,557	14,151	8,798
558	14,5	6000	6	2,5	0,1	0,1	500	1	34,136	13,701	28,391
559	14,5	6000	9	0,8	0,2	0,2	100	1	135,70	14,660	133,89
560	14,5	6000	12	1,0	0,25	0,25	10000	1	5,433	14,458	3,463
561	23,8	6000	1	0,8	0,1	0,4	10000	1	5,069	21,586	2,042
562	23,8	6000	3	1,0	0,2	0,1	5000	1	9,704	22,102	6,228
563	23,8	6000	6	1,5	0,25	0,2	1000	1	29,036	23,327	23,820
564	23,8	6000	9	2,0	0,3	0,25	500	1	49,794	23,815	43,051
565	23,8	6000	12	2,5	0,4	0,3	100	1	190,22	24,094	182,49
566	33,0	6000	1	2,0	0,25	0,1	100	1	228,85	24,707	219,13
567	33,0	6000	3	2,5	0,3	0,2	10000	1	17,228	29,990	5,269
568	33,0	6000	6	0,8	0,4	0,25	5000	1	11,653	32,371	9,354

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
569	33,0	6000	9	1,0	0,1	0,3	1000	1	34,966	33,237	29,555
570	33,0	6000	12	1,5	0,2	0,4	500	1	44,023	33,192	36,285
571	42,3	6000	1	1,0	0,4	0,2	500	1	61,427	33,880	56,255
572	42,3	6000	3	1,5	0,1	0,25	100	1	335,38	38,425	325,55
573	42,3	6000	6	2,0	0,2	0,3	10000	1	20,687	40,315	8,001
574	42,3	6000	9	2,5	0,25	0,4	5000	1	25,024	40,959	9,793
575	42,3	6000	12	0,8	0,3	0,1	1000	1	52,187	42,285	47,943
576	5,3	10000	1	1,0	0,4	0,3	5000	1	1,199	4,397	0,800
577	5,3	10000	3	1,5	0,1	0,4	1000	1	4,035	5,291	3,253
578	5,3	10000	6	2,0	0,2	0,1	500	1	11,339	5,049	10,378
579	5,3	10000	9	2,5	0,25	0,2	100	1	48,654	5,263	47,440
580	5,3	10000	12	0,8	0,3	0,25	10000	1	1,566	5,306	1,257
581	14,5	10000	1	2,5	0,2	0,4	10000	1	4,639	12,734	1,216
582	14,5	10000	3	0,8	0,25	0,1	5000	1	4,701	13,404	3,756
583	14,5	10000	6	1,0	0,3	0,2	1000	1	15,922	14,439	14,724
584	14,5	10000	9	1,5	0,4	0,25	500	1	27,991	14,620	26,408
585	14,5	10000	12	2,0	0,1	0,3	100	1	113,58	14,643	110,70
586	23,8	10000	1	1,5	0,3	0,1	100	1	160,93	17,481	157,94
587	23,8	10000	3	2,0	0,4	0,2	10000	1	7,169	21,467	3,730
588	23,8	10000	6	2,5	0,1	0,25	5000	1	12,299	22,518	6,610
589	23,8	10000	9	0,8	0,2	0,3	1000	1	23,086	23,992	21,331
590	23,8	10000	12	1,0	0,25	0,4	500	1	28,147	23,742	25,917
591	33,0	10000	1	0,8	0,1	0,2	500	1	45,585	24,392	43,301
592	33,0	10000	3	1,0	0,2	0,25	100	1	261,19	30,769	258,16
593	33,0	10000	6	1,5	0,25	0,3	10000	1	10,375	31,400	6,215
594	33,0	10000	9	2,0	0,3	0,4	5000	1	12,962	32,015	7,648
595	33,0	10000	12	2,5	0,4	0,1	1000	1	42,032	32,368	36,387
596	42,3	10000	1	2,0	0,25	0,25	1000	1	35,116	33,019	27,644
597	42,3	10000	3	2,5	0,3	0,3	500	1	71,786	38,857	62,828
598	42,3	10000	6	0,8	0,4	0,4	100	1	223,99	45,039	221,26
599	42,3	10000	9	1,0	0,1	0,1	10000	1	14,387	42,089	10,306
600	42,3	10000	12	1,5	0,2	0,2	5000	1	19,730	41,972	14,043
601	5,3	14000	1	2,0	0,25	0,4	10000	1	1,127	4,560	0,438
602	5,3	14000	3	2,5	0,3	0,1	5000	1	2,130	4,717	1,323
603	5,3	14000	6	0,8	0,4	0,2	1000	1	5,633	5,341	5,429
604	5,3	14000	9	1,0	0,1	0,25	500	1	10,067	5,372	9,693
605	5,3	14000	12	1,5	0,2	0,3	500	1	9,315	5,382	8,780
606	14,5	14000	1	1,0	0,4	0,1	100	1	96,926	10,887	96,189
607	14,5	14000	3	1,5	0,1	0,2	10000	1	3,781	12,991	2,334

Продовження табл. И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
608	14,5	14000	6	2,0	0,2	0,25	5000	1	5,871	13,714	4,004
609	14,5	14000	9	2,5	0,25	0,3	1000	1	15,063	14,338	12,711
610	14,5	14000	12	0,8	0,3	0,4	500	1	16,484	14,443	15,776
611	23,8	14000	1	2,5	0,2	0,2	500	1	34,776	17,722	30,883
612	23,8	14000	3	0,8	0,25	0,25	100	1	189,65	22,394	188,43
613	23,8	14000	6	1,0	0,3	0,3	10000	1	5,820	23,105	4,531
614	23,8	14000	9	1,5	0,4	0,25	5000	1	8,622	23,077	7,105
615	23,8	14000	12	2,0	0,1	0,1	1000	1	30,111	23,700	26,794
616	33,0	14000	1	1,5	0,3	0,25	1000	1	24,309	24,790	21,340
617	33,0	14000	3	2,0	0,4	0,3	500	1	52,105	30,055	48,552
618	33,0	14000	6	2,5	0,1	0,4	100	1	167,35	33,343	161,50
619	33,0	14000	9	0,8	0,2	0,1	10000	1	9,649	32,877	8,008
620	33,0	14000	12	1,0	0,25	0,2	5000	1	14,765	32,357	10,769
621	42,3	14000	1	0,8	0,1	0,3	5000	1	8,777	34,969	6,568
622	42,3	14000	3	1,0	0,2	0,4	1000	1	29,667	43,200	26,753
623	42,3	14000	6	1,5	0,25	0,1	500	1	87,514	40,224	83,534
624	42,3	14000	9	2,0	0,3	0,2	100	1	386,85	41,814	381,52
625	42,3	14000	12	2,5	0,4	0,25	10000	1	13,754	39,815	9,297

Таблиця И.2

Вихідні дані для побудови чисельних моделей та результати їх розрахунку при встановленні параметрів локальних укріплених зон

№ експери-менту	Значення показників										
	вихідні дані									результати розрахунку	
	$k\gamma H$, МПа	b, м	$\mu_п$, од.	$E_п$, МПа	$h_п$, м	$b_з/b$, од.	$h_з$, м	$\mu_з$, од.	$E_з/E_п$, од.	$U_в^*$, м	$k_о$, од.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4	1	0,1	100	1	1	0,25	0,1	1,5	0,025	1,0
2	4	1,5	0,15	200	4	1,2	3	0,4	10	0,012	2,9
3	4	2	0,2	400	5	1,3	4	0,45	1,1	0,019	1,8
4	4	2,5	0,25	600	6	1,4	5	0,15	2	0,012	1,8
5	4	3	0,3	800	7	1,5	0,5	0,2	3	0,015	1,1
6	4	4	0,35	1000	8	1,05	1	0,25	5	0,013	1,5
7	4	5	0,4	1500	2	1,1	1,5	0,3	6	0,002	1,6
8	4	6	0,45	150	3	1,15	2	0,35	8	0,016	1,8
9	8	1	0,15	150	2	1,05	0,5	0,15	1,1	0,054	1,2

Продовження табл. И.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	8	1,5	0,1	600	8	1,1	4	0,35	3	0,021	2,3
11	8	2	0,3	1500	3	1,4	3	0,25	1,5	0,010	1,95
12	8	2,5	0,45	200	7	1,3	1,5	0,1	5	0,068	1,6
13	8	3	0,2	1000	6	1,15	0,25	0,3	10	0,023	1,4
14	8	4	0,4	800	4	1	2	0,45	2	0,016	1,5
15	8	5	0,35	400	1	1,2	5	0,2	8	0,009	2,2
16	8	6	0,25	100	5	1,5	1	0,4	6	0,241	1,4
17	10	1	0,2	200	3	1,1	1	0,2	2	0,050	1,6
18	10	1,5	0,3	100	6	1,05	1,5	0,45	8	0,131	2,4
19	10	2	0,1	800	2	1,15	5	0,4	5	0,005	2,6
20	10	2,5	0,35	150	4	1,5	4	0,3	1,5	0,106	2,0
21	10	3	0,15	400	8	1,4	2	0,1	6	0,062	1,7
22	10	4	0,25	1500	7	1,2	0,25	0,35	1,1	0,027	0,8
23	10	5	0,45	1000	5	1	3	0,15	3	0,017	1,5
24	10	6	0,4	600	1	1,3	0,5	0,25	10	0,006	1,3
25	15	1	0,25	400	4	1,15	1,5	0,25	3	0,036	2,0
26	15	1,5	0,45	800	1	1,4	1	0,3	1,1	0,014	1,3
27	15	2	0,35	100	7	1,1	2	0,15	10	0,230	2,2
28	15	2,5	0,1	1000	3	1,2	0,5	0,45	6	0,026	1,5
29	15	3	0,4	200	5	1,05	5	0,35	1,5	0,144	2,22
30	15	4	0,2	600	2	1,5	3	0,1	8	0,009	1,8
31	15	5	0,3	150	8	1,3	0,25	0,4	2	0,446	0,9
32	15	6	0,15	1500	6	1	4	0,2	5	0,021	1,8
33	20	1	0,3	600	5	1,2	2	0,3	5	0,030	2,4
34	20	1,5	0,2	150	7	1	5	0,25	6	0,144	2,8
35	20	2	0,15	1000	1	1,5	1,5	0,35	2	0,011	1,5
36	20	2,5	0,4	100	8	1,15	3	0,2	1,1	0,579	1,4
37	20	3	0,1	1500	4	1,3	1	0,15	8	0,026	1,6
38	20	4	0,45	400	6	1,1	0,5	0,4	1	0,131	0,93
39	20	5	0,25	800	3	1,05	4	0,1	10	0,010	2,0
40	20	6	0,35	200	2	1,4	0,25	0,45	3	0,124	0,9
41	25	1	0,35	800	6	1,3	3	0,35	6	0,025	2,8
42	25	1,5	0,4	400	3	1,5	0,25	0,15	5	0,075	1,2
43	25	2	0,25	200	8	1	0,5	0,3	8	0,310	1,7
44	25	2,5	0,15	1500	1	1,05	2	0,4	3	0,007	1,8
45	25	3	0,45	100	2	1,2	4	0,25	2	0,283	1,7
46	25	4	0,1	150	5	1,4	1,5	0,2	10	0,369	1,8
47	25	5	0,2	600	7	1,15	1	0,45	1	0,163	1,02
48	25	6	0,3	1000	4	1,1	5	0,1	1,1	0,094	1,2

Продовження табл. И.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
49	30	1	0,4	1000	7	1,4	4	0,4	8	0,027	3,2
50	30	1,5	0,35	1500	5	1,15	0,5	0,1	2	0,035	1,1
51	30	2	0,45	600	4	1,05	0,25	0,2	6	0,077	1,3
52	30	2,5	0,3	400	2	1	1	0,35	10	0,057	2,0
53	30	3	0,25	150	1	1,1	3	0,45	5	0,042	2,2
54	30	4	0,15	100	3	1,3	5	0,3	3	0,309	1,9
55	30	5	0,1	200	6	1,5	2	0,25	1,1	0,616	1,1
56	30	6	0,2	800	8	1,2	1,5	0,15	1	0,207	1,1
57	38	1	0,45	1500	8	1,5	5	0,45	10	0,014	3,6
58	38	1,5	0,25	1000	2	1,3	2	0,2	1	0,037	2,0
59	38	2	0,4	150	6	1,2	1	0,1	3	0,455	1,4
60	38	2,5	0,15	800	5	1,1	0,25	0,25	8	0,125	1,3
61	38	3	0,35	600	3	1	1,5	0,4	1,1	0,112	1,3
62	38	4	0,3	200	1	1,15	4	0,15	6	0,089	2,0
63	38	5	0,2	100	4	1,24	0,5	0,35	5	1,070	1,2
64	38	6	0,1	400	7	1,05	3	0,3	2	0,353	1,4

Додаток Л

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"

УЗГОДЖЕНО:
Заст. директора з наукової роботи ІГТМ НАН України, чл.-кор. НАН України, д.т.н.

_____ О.П. Круковський

«20» вересня 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з наукової роботи ДВНЗ «ДонНТУ», проф., д.т.н.

_____ С.В. Подкопаєв

«28» вересня 2020 р.

МЕТОДИКА

прогнозування зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід

Покровськ – 2020

Методика прогнозування зміщень порід покрівлі підготовчих виробок, що охороняються позаду лави в умовах слабких бічних порід / ДонНТУ, Покровськ, 2020.– 11 с.

РОЗРОБНИКИ:

Негрій С.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин;
Негрій Т.О., к.т.н., доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин.

РОЗГЛЯНУТО:
- на засіданні кафедри «Розробка родовищ корисних копалин» ДВНЗ «ДонНТУ»

Протокол № 1 від "28" серпня 2020 р.

Завідувач кафедри РРКК _____ (Єфремов І.О.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

УЗГОДЖЕНО:
- на засіданні науково-методичної комісії з галузі знань 18 – «Виробництво та технології»

Протокол № 2 від "30" вересня 2020 р.

Голова НМК-18 _____ (Сахно І.Г.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

©ДонНТУ, 2020 рік
©Негрій С.Г., Негрій Т.О.

Додаток М

Загальний вигляд фізичних моделей з еквівалентних матеріалів для визначення параметрів локальних укріплених зон

а) б)

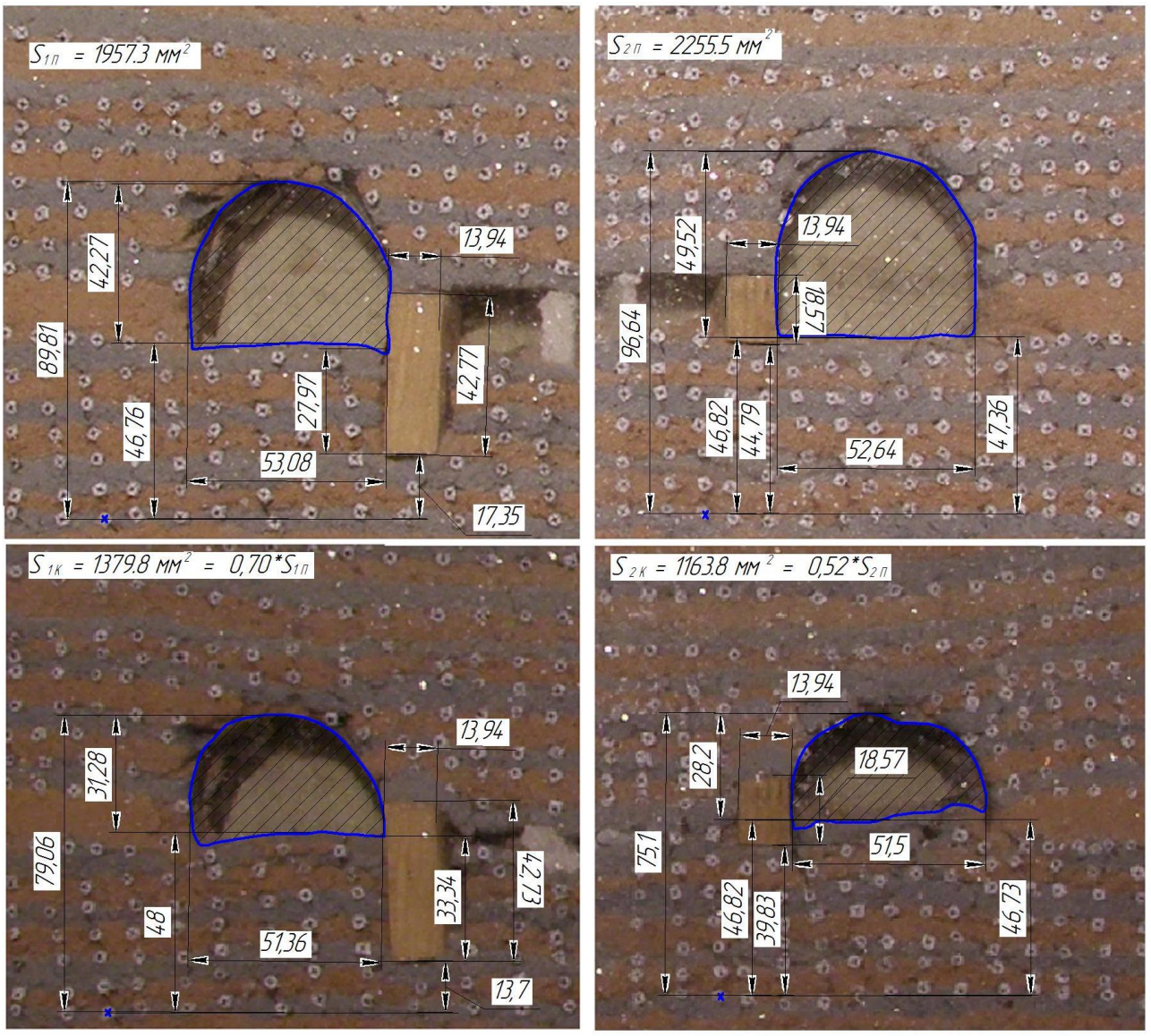


Рисунок М.1 – Загальний вигляд охоронних споруд та виробок в моделі №3 на початку вимірювань поперечних перетинів першої (а) та другої (б) виробок (відповідно, $S_{1П}$ та $S_{2П}$) та наприкінці вимірювань (відповідно, $S_{1К}$ та $S_{2К}$)

а) б)

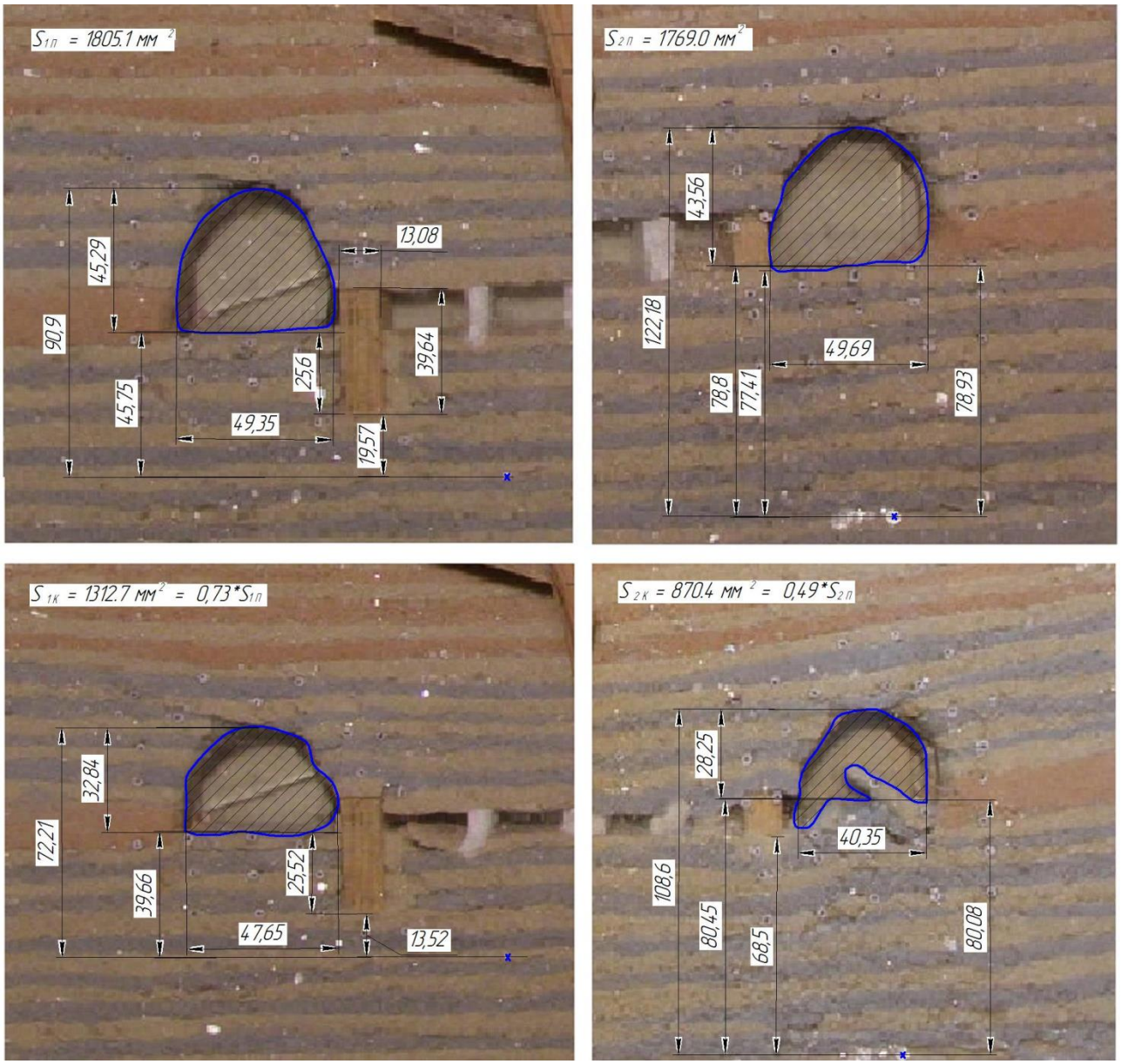


Рисунок М.2 – Загальний вигляд охоронних споруд та виробок в моделі №4 на початку вимірювань поперечних перетинів першої (а) та другої (б) виробок (відповідно, $S_{1П}$ та $S_{2П}$) та наприкінці вимірювань (відповідно, $S_{1К}$ та $S_{2К}$)

а) б)

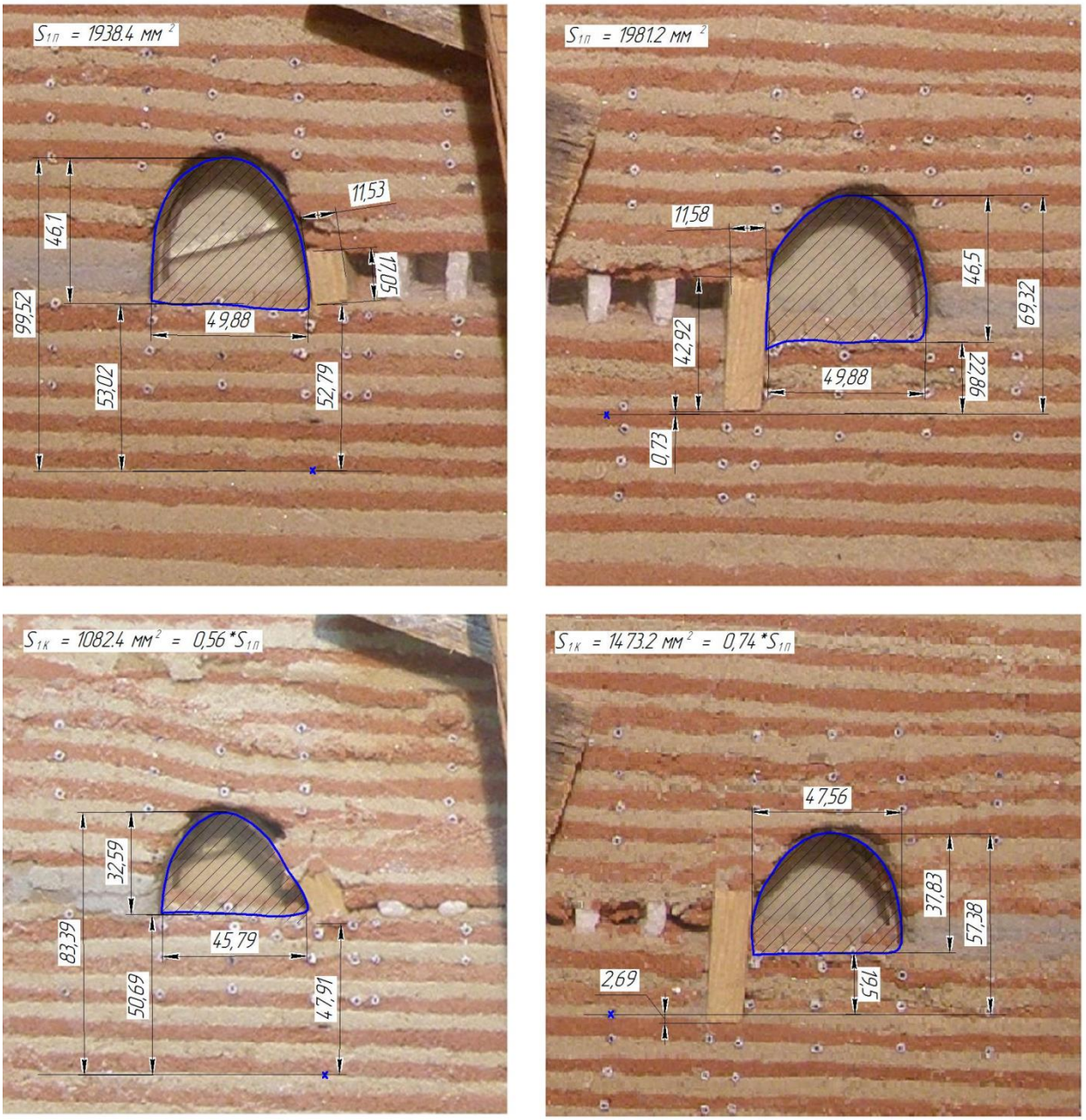


Рисунок М.3 – Загальний вигляд охоронних споруд та виробок в моделі №5 на початку вимірювань поперечних перетинів першої (а) та другої (б) виробок (відповідно, $S_{1П}$ та $S_{2П}$) та наприкінці вимірювань (відповідно, $S_{1К}$ та $S_{2К}$)

а) б)

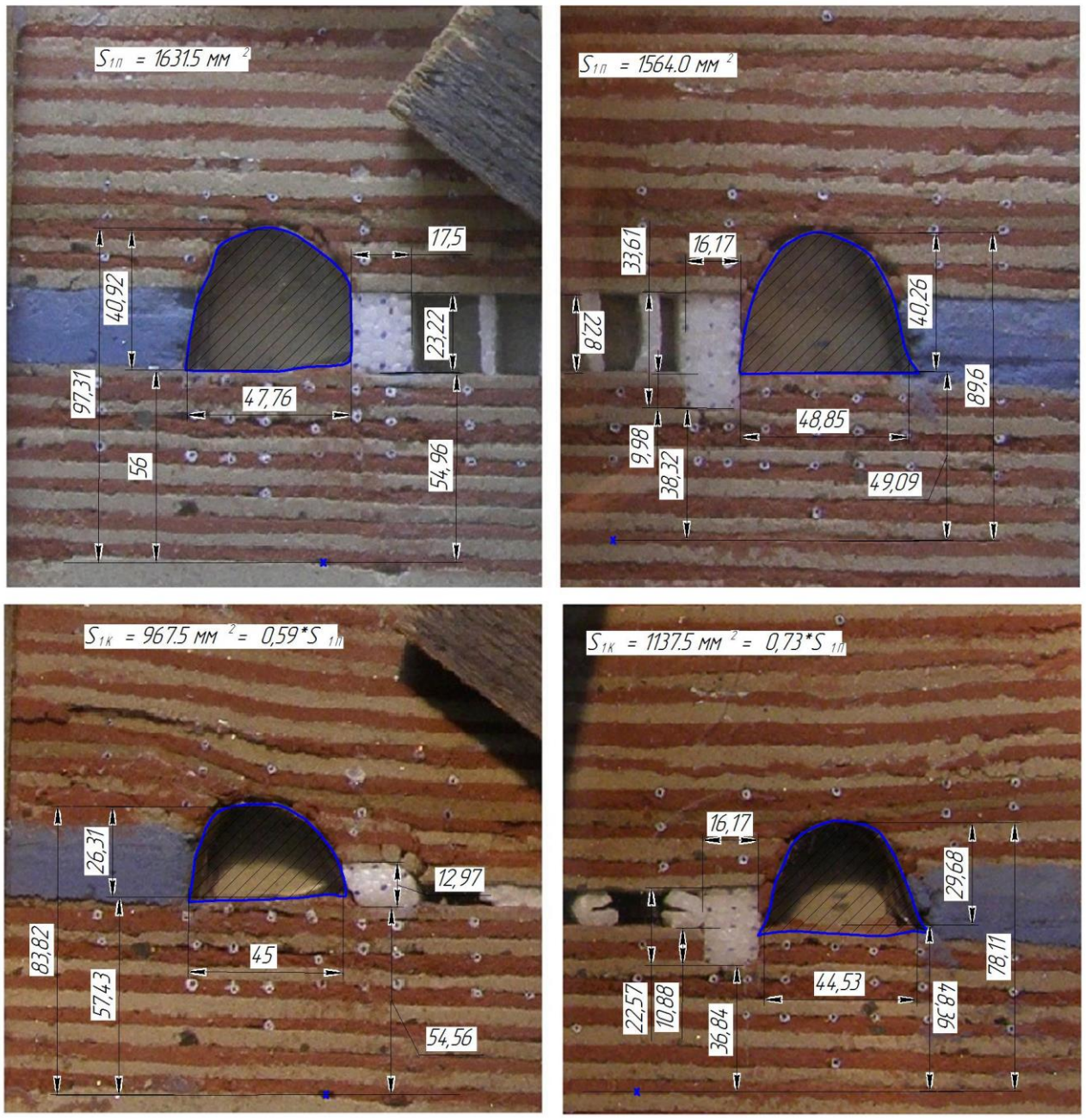


Рисунок М.4 – Загальний вигляд охоронних споруд та виробок в моделі №6 на початку вимірювань поперечних перетинів першої (а) та другої (б) виробок (відповідно, $S_{1П}$ та $S_{2П}$) та наприкінці вимірювань (відповідно, $S_{1К}$ та $S_{2К}$)

а) б)

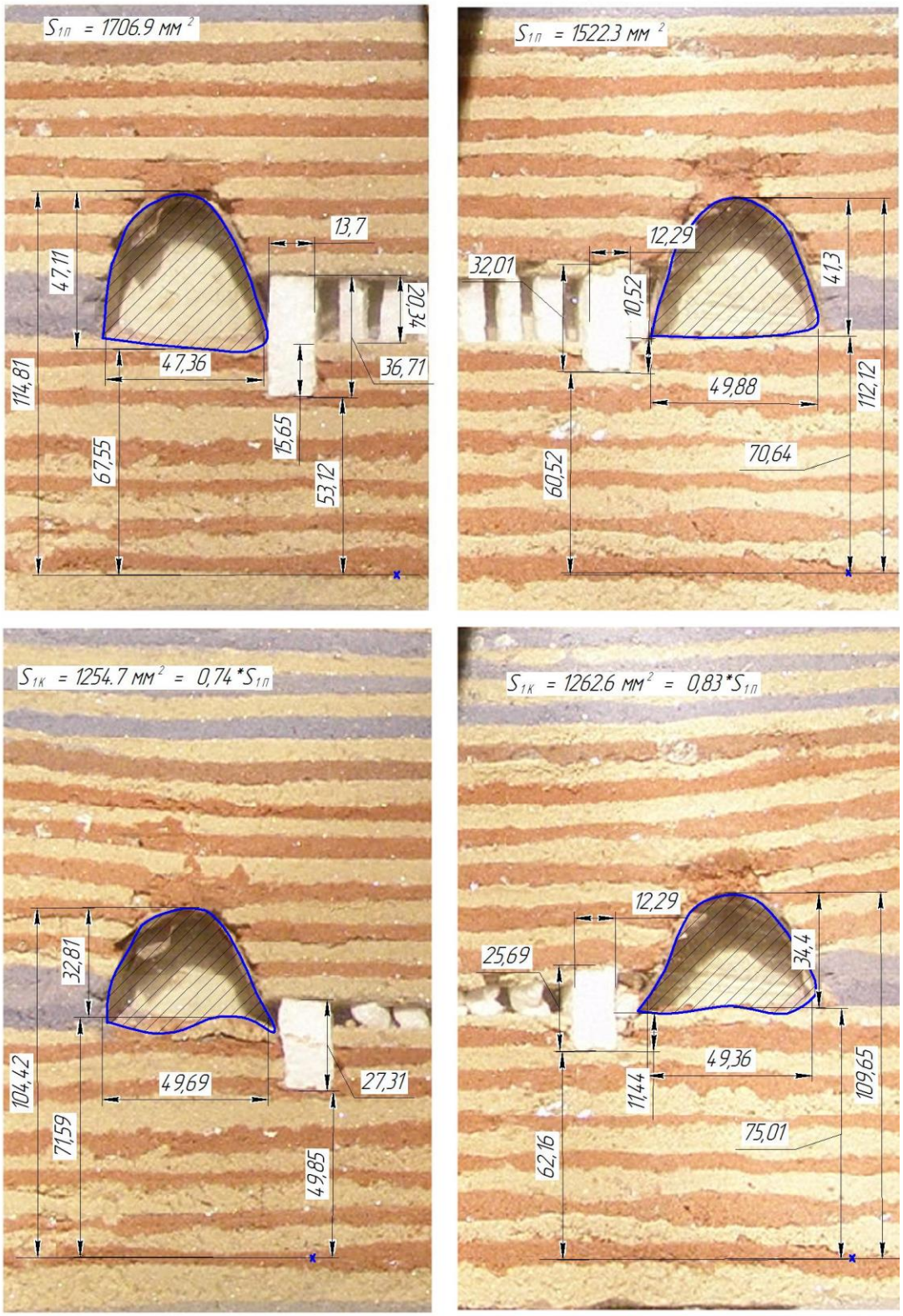


Рисунок М.5 – Загальний вигляд охоронних споруд та виробок в моделі №7 на початку вимірювань поперечних перетинів першої (а) та другої (б) виробок (відповідно, $S_{1П}$ та $S_{2П}$) та наприкінці вимірювань (відповідно, $S_{1К}$ та $S_{2К}$)

Додаток Н

Опис етапів алгоритму вибору засобів охорони

в умовах слабких бічних порід

Блок 1. Початок вибору рішення.

Блок 2. Введення значень показників гірничо-геологічних умов (глибини робіт (H, м), об'ємної ваги порід покрівлі (γ, кН/м^3), потужності пласту (m, м), коефіцієнту бокового розпору (λ, од.), тангенсу кута внутрішнього тертя ($tg\rho_в$, од.), зчеплення вугілля ($C_в$, кПа), показника питомої міцності порід ($f_{ср}$, м$^{1/2}$), розмірного коефіцієнту зближення бічних порід (α, м$^{-1}$)) та параметрів засобів кріплення та охорони, що споруджуються на кінцевій ділянці лави (відстані від вугільного вибою до першого ряду стійок кріплення (a_0, м) та між рамками кріплення (r, м), кількість проходів у кріпленні (n). Визначаються у відповідності з прийнятою технологічною схемою кріплення кінцевої ділянки лави). Показники H, γ, m, a_0, r та n приймаються за шахтними даними; λ, $tg\rho_в$, $C_в$, $f_{ср}$, α– згідно КД 12.01.01.503-2001.

Блок 3. Розрахунок глибини зони зруйнованого вугілля x.

Блок 4. Розрахунок ширини підтримуваного привибійного простору по останній стійці кріплення $R_{пк}$ (м).

Блок 5. Розрахунок висоти підтримуваного привибійного простору по останній стійці кріплення h (м).

Блок 6. Введення значень таких показників: коефіцієнт концентрації напружень над засобом охорони в зоні впливу лави k (k =1,0…1,3); кут між площиною пласта та поверхнею підошви виробки β (град.); ширина виробки у проходці B (м); потужність шару безпосередньої підошви $h_п$ (м); умовно-миттєвий модуль деформації порід підошви E (МПа); коефіцієнт поперечних деформацій порід підошви $\mu_п$; піддатливість кріплення виробки, що охороняється, $U_{доп}$ (м); ширина засобу охорони b, м; модуль деформації засобу охорони $E_о$ (МПа); коефіцієнт поперечних деформацій засобу

охорони μ_o; межа міцності порід підошви на одновісний стиск у зразку $\sigma_{ст_з}$ (МПа); довжина дільниці віджатого вугілля у боку виробки x_* (м).

Блок 7. Розрахунок модуля деформації шару порід підошви, що підстилають засіб охорони E_n (МПа).

Блок 8. Розрахунок коефіцієнта відносної стисливості порід підошви m_v (МПа$^{-1}$).

Блок 9. Розрахунок показника відносної стисливості масиву, який еквівалентний матеріалу охоронної споруди, m_v^o (МПа$^{-1}$).

Блок 10. Розрахунок відносного осідання порід покрівлі над засобом охорони $\xi_o^/$ (од.).

Блок 11. Розрахунок величини просідання засобу охорони відносно поверхні підстилаючих порід $U_в$ (м).

Блок 12. Розрахунок відносної усадки засобу охорони ε_o (од.).

Блок 13. Розрахунок величини зміщень порід покрівлі виробки на ділянці впливу тимчасового опорного тиску позаду лави $U^в_к$ (м).

Блок 14. Перевіряється виконання умови $U^в_к > U_{доп}$ (перевищення зміщень покрівлі у виробці над піддатливістю кріплення). Якщо умова блоку не виконується, здійснюється розрахунок блоку 15, а, якщо виконується – блоку 19.

Блок 15. Розрахунок коефіцієнту стійкості порід підошви $k_{ст}$ в результаті дії на них навантаження з боку засобу охорони.

Блок 16. Перевірка умови забезпечення стійкості підстилаючих порід, при виконанні якої алгоритм посилається до блоку 17, в іншому випадку- до блоку 19.

Блок 17. Виводиться результат щодо стійкості виробки у даних умовах.

Блок 18. Закінчення вибору рішення.

Якщо умова у блоці 14 не виконується, здійснюються розрахунок блоку 19, після якого алгоритм спрямовується до блоку 20.

Блок 19. Приймається, що модуль деформації основи засобу охорони $E_{осн}$ дорівнює поточному модулю деформації підстилаючого масиву.

Блок 20. Перевіряється виконання умови гнучкості засобу охорони на

підстилаючому масиві. Якщо умова блоку не виконується, здійснюється розрахунок блоку 50, а, якщо виконується – блоку 21.

Блок 21. Приймається рішення щодо зміцнення підстилаючих порід у локальній зоні. Якщо прийнято позитивне рішення, алгоритм спрямовується до блоку 22, негативне – блоку 32.

Блок 22. Введення характеристик та параметрів локальної укріпленої зони (модуля деформації $E_з$ (МПа), коефіцієнта поперечних деформацій $\mu_з$, висоти $h_з$ (м) та ширини зони $b_з$ (м)).

Блок 23. Розрахунок відносного показника ефективності локального укріплення порід підошви k_o.

Блок 24. Перевірка умови забезпечення ефективності локального укріплення підошви, при виконання якої алгоритм посилається до блоку 26, в іншому випадку – до блоку 25.

Блок 25. Йде сповіщення про необхідність зміни параметрів локальної укріпленої зони.

Блок 26. Коригування розрахункової величини просідання засобу охорони над локально укріпленою зоною $U^*_в$.

Блок 27. Приймається, що модуль деформації основи засобу охорони $E_{осн}$ дорівнює модулю деформації локальної укріпленої зони $E_з$.

Блок 28. Розрахунок коефіцієнта відносної стисливості укріпленого масиву в локальній зоні m^o_v (МПа$^{-1}$).

Блок 29. Розрахунок відносного осідання порід покрівлі над засобом охорони, під яким знаходиться локально укріплена зона.

Блок 30. Розрахунок відносної усадки засобу охорони, під яким знаходиться локально укріплена зона.

Блок 31. Контроль стану виробки при даних заходах охорони на основі аналітичних, лабораторних або натурних спостережень.

Блок 32. Рекомендація прийняття альтернативних варіанту локального укріплення підошви – використання засобів охорони спеціальної форми зі

спрямуванням видавлюючих зусиль у компенсаційні порожнини та вироблений простір.

Блок 33. Приймається рішення щодо можливості використання рядової породи для спорудження засобу охорони спеціальної форми. Якщо рішення позитивне алгоритм спрямовується до блоку 34, інакше – до блоку 38.

Блок 34. Вводиться значення кута внутрішнього тертя порід, які підстилають засіб охорони, та кількості сітчастих перегородок у конструкції, якщо планується їх використання у засобі охорони.

Блок 35. Приймається рішення щодо спорудження породних опор трапецієподібної форми. Якщо рішення позитивне, алгоритм спрямовується до блоку 36, інакше – до блоку 45.

Блок 36. Йде сповіщення про прийняття рішення щодо спорудження породних опор трапецієподібної форми.

Блок 37. Здійснюється вибір технології охорони підготовчих виробок технологічними циліками трикутної або трапецієподібної форм та у відповідності з параметрами порожнин між ними визначаються параметри опор. Або визначаються параметри опор при безціликовій технології.

Блок 38. Йде сповіщення про спорудження опор у формі прямокутних паралелепіпедів із залізобетону або бетону.

Блок 39. Приймається рішення щодо спорудження опор у формі прямокутних паралелепіпедів із залізобетонних блоків. Якщо рішення позитивне, алгоритм спрямовується до блоку 40, інакше – до блоку 41.

Блок 40. Йде сповіщення про спорудження опор у формі прямокутних паралелепіпедів із залізобетонних блоків.

Блок 41. Йде сповіщення про спорудження опор у формі прямокутних паралелепіпедів з напівблоків.

Блок 42. Визначається ширина опор $b_н$.

Блок 43. Визначається довжина опор $l_н$.

Блок 44. Визначається ширина порожнин між опорами $b_{пор}$.

Блок 45. Йде сповіщення про прийняття рішення щодо спорудження породних опор у формі прямокутних паралелепіпедів .

Блок 46. Визначається ширина породних опор у формі прямокутних паралелепіпедів.

Блок 47. Визначається ширина порожнин між породними опорами у формі прямокутних паралелепіпедів.

Блок 48. Визначається довжина породних опор у формі прямокутних паралелепіпедів.

Блок 49. Розглядається умова використання у конструкції мішків з породою. Позитивне рішення спрямовує алгоритм до блоку 73, негативне – до блоку 31, де відбувається контроль стану виробки з використанням мішків з породою.

Блок 50. Йде сповіщення про необхідність застосування засобу охорони з меншою піддатливістю.

Блок 51. Зменшується піддатливість засобу охорони на 5%.

Блок 52. Приймається рішення щодо можливості використання рядової породи при зміні параметру в блоці 53 або невиконання умови в блоці 78.

Блок 53. Вводиться значення кута внутрішнього тертя порід, з яких споруджується засіб охорони.

Блок 54. Розглядається умова використання засобу охорони з піддатливістю понад 30%. Якщо умова виконується, алгоритм спрямовується до блоку 55, інакше – до блоку 59.

Блок 55. Розглядається умова перевищення ширини засобу охорони його 6-ти кратної висоти. Виконання умови веде до блоку 56, інакше – до блоків 61 або 62, між якими має бути здійснено вибір між двома значеннями ширини засобу охорони (2,2h або 4h).

Блок 56. Йде сповіщення про необхідність застосування бутової смуги.

Блок 57. Визначається ширина бутової смуги.

Блок 58. Визначаються параметри бутової смуги за існуючими методиками.

Блок 59. Розглядається умова використання засобу охорони з піддатливістю

від 26 до 30%. Якщо умова виконується, алгоритм спрямовується до блоку 60, інакше – до блоку 89.

Блок 60. Визначається ширина засобу охорони, що дорівнює $6h$.

Блок 61. Визначається ширина засобу охорони, що дорівнює $4h$.

Блок 62. Визначається ширина засобу охорони, що дорівнює $2{,}2h$.

Блок 63. Йде сповіщення про необхідність армування породної смуги сітчастими перегородками.

Блок 64. Вводяться дані для подальших розрахунків параметрів породної смуги з сітчастими перегородками: кількість перегородок у смузі n_{np}, розмір максимальних шматків породи у смузі $d_ф$ (м), діаметр стрижнів у сітчастих перегородках d (м), гранична відносна деформація видовження арматури, після якої відбувається руйнування стрижня ε_{ub}, допустиме напруження у стрижні при розтягуванні $[\sigma_p]$ (МПа).

Блок 65. Визначення ширини зони можливого руйнування сітчастої перегородки b_p (м).

Блок 66. Розглядається умова збереження цілісності перегородок. Якщо умова виконується, алгоритм спрямовується до блоку 67, інакше – до блоків вибору 68 або 70.

Блок 67. Визначається розмір чарунок сітчастих перегородок.

Блок 68. Після розгляду умови збереження цілісності перегородок у блоці пропонується збільшити діаметр арматури.

Блок 69. Збільшується поточний діаметр арматури на 0,002 м.

Блок 70. Після розгляду умови збереження цілісності перегородок у блоці пропонується змінити клас арматури, у якої матеріал має більшу граничну відносну деформацію ε_{ub} або більшу міцність при розтягуванні $[\sigma_p]$.

Блок 71. Вводяться дані до прийнятого класу арматури (гранична відносна деформація ε_{ub} та міцність при розтягуванні $[\sigma_p]$).

Блок 72. Йде сповіщення про необхідність спорудження стінок з мішків з породою після визначення ширини споруди у блоці 62.

Блок 73. Вводяться дані про об’ємну масу породи у мішках $\gamma_н$ (кг/м^3), довжину мішків $l_м$ (м) та їх діаметр $d_м$ (м).

Блок 74. Розглядається умова забезпечення припустимої ваги мішків у відповідності з нормами щодо переміщення вручну вантажів гірниками. Якщо умова блоку виконується, йде спрямування до блоку 75, інакше до вибору з блоків 76 або 77.

Блок 75. Розглядається умова сумісного використання у конструкції мішків та армування смуги між ними. Позитивне рішення спрямовує алгоритм до блоку 64, негативне – до блоку 31, де відбувається контроль стану виробки з використанням мішків з породою

Блок 76. Зменшується довжина мішка на 0,05 м.

Блок 77. Зменшується діаметр мішка на 0,05 м.

Блок 78. Розглядається умова використання засобу охорони з піддатливістю, яка дорівнює або менше 10 %. Якщо умова виконується, алгоритм спрямовується до блоку 79, інакше – до блоку 82.

Блок 79. Пропонується застосування у якості засобу охорони традиційної литої смуги.

Блок 80. Визначаються параметри литої смуги за існуючими методиками.

Блок 81. Перевіряється виконання умови гнучкості литої смуги на підстилаючому масиві. Якщо умова блоку не виконується, здійснюється розрахунок блоку 31, якщо виконується – блоку 21.

Блок 82. Розглядається умова використання засобу охорони з піддатливістю від до 11 до 15 %. Якщо умова виконується, алгоритм спрямовується до блоку 83, інакше – до блоку 86.

Блок 83. Пропонується застосування у якості засобу охорони тумб із залізобетонних блоків.

Блок 84. Визначаються параметри смуги з тум із залізобетонних блоків за існуючими методиками.

Блок 85. Перевіряється виконання умови гнучкості смуги з тумб із залізобетонних блоків на підстилаючому масиві. Якщо умова блоку не виконується, здійснюється розрахунок блоку 31, якщо виконується – блоку 21.

Блок 86. Розглядається умова використання засобу охорони з піддатливістю, яка перевищує 30 %. Якщо умова виконується, алгоритм спрямовується до блоку 87, інакше – до блоку 52.

Блок 87. Пропонується застосування у якості засобу охорони кострів з деревини (круглого лісу, шпального брусу або бутокострів).

Блок 88. Визначаються параметри кострів з деревини за існуючими методиками, після чого йде спрямування до блоку 31.

Блок 89. Розглядається умова використання засобу охорони з піддатливістю від 16 до 25%. Якщо умова виконується, алгоритм спрямовується до блоків 90 або 91, інакше – до блоку 95.

Блок 90. При виборі даного блоку йде сповіщення про необхідність спорудження стінки з мішків з попередньо ущільненою породою.

Блок 91. При виборі даного блоку йде сповіщення про необхідність спорудження стінок з мішків породою, між якими закладається породна смуга.

Блок 92. Вводяться дані про об’ємну масу породи у мішках $\gamma_н$ (кг/м^3), довжину мішків $l_м$ (м), їх діаметр $d_м$ (м), кількість рядів в одній стінці N, коефіцієнт тертя між породою та матеріалом оболонки мішка f.

Блок 93. Визначається ширина породної смуги між стінками.

Блок 94. Визначається загальна ширина охоронної споруди з мішків з породою, між якими закладається породна смуга.

Блок 95. Йде сповіщення про необхідність спорудження стінок з мішків з породою, між якими закладається армована породна смуга при невиконанні умови блоку 86.

Блок 96. Визначається ширина охоронної споруди з мішків з породою, між якими закладається армована породна смуга.

Додаток П

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"

УЗГОДЖЕНО:
Заст. директора з наукової роботи ІГТМ НАН України, чл.-кор. НАН України, д.т.н.

_____ О.П. Круковський
"28" жовтня 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з наукової роботи ДВНЗ «ДонНТУ», проф., д.т.н.

_____ С.В. Подкопаєв
"28" жовтня 2020 р.

МЕТОДИКА

вибору технологій охорони підготовчих виробок та визначення їх параметрів

Покровськ – 2020

Методика вибору технологій охорони підготовчих виробок та визначення їх параметрів / ДонНТУ, Покровськ, 2020.– 42 с.

РОЗРОБНИКИ:

Негрій С.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин

РОЗГЛЯНУТО:
- на засіданні кафедри «Розробка родовищ корисних копалин» ДВНЗ «ДонНТУ»

Протокол № 2 від "15" вересня 2020 р.

Завідувач кафедри РРКК _____ (Єфремов І.О.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

УЗГОДЖЕНО:
- на засіданні науково-методичної комісії з галузі знань 18 – «Виробництво та технології»

Протокол № 2 від "30" вересня 2020 р.

Голова НМК-18 _____ (Сахно І.Г.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

©ДонНТУ, 2020 рік
©Негрій С.Г.

Додаток Р

Документи щодо впровадження нових технологій

охорони підготовчих виробок

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГВУЗ «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт горного дела и геологи

УТВЕРЖДАЮ:

Технический директор ГП «Донецкая угольная энергетическая компания»

_____ Э.В. Поляков

« 24 » декабря 2010 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», д.т.н.

_____ Е.А. Башков

« 24 » декабря 2010 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ

по варианту заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пласта m_3 ОП «Шахта им. Е.Т.Абакумова» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания»

Руководитель работы д.т.н., проф. Н.Н. Касьян

Исполнители:
к.т.н., доц. С.Г. Негрей
к.т.н., доц. Г.И. Соловьев
к.т.н., доц. И.Г. Сахно
аспирант А.Л. Касьяненко
аспирант В.Н. Мокриенко

Донецк – 2010

Рекомендации по варианту заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пласта по варианту заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пласта m_3 ОП «Шахта им. Е.Т.Абакумова» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания» составлены на основании письма №1594 от 01.11.2010г., адресованного проректору по научной работе ДонНТУ Башкову Е.А. и подписанного и.о. директора шахты А.Н. Черниковым.

Рекомендации разработаны согласно «Указаний по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР» –Л.: ВНИМИ, 1986, – 222с., ТУ У В.2.7-26.5-24478901-004:2007 Невибухова руйнуюча речовина. Технічні умови. – на заміну ТУ У БВ 2.7.00030937.089397. Без обмеження терміну дії. – Харьков: Госстандарт. Харьковский центр стандартизации и аэрологии, 2007-14с.

В случае изменения горно-геологических и горно-технологических условий рекомендуемые параметры способа невзрывного разрушения могут быть скорректированы и изменены при соответствующем согласовании с ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет».

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	4
1.1 Горно-геологические и горнотехнические условия отработки 8 западной лавы пл. m_3	4
1.2 Проведение визуальных и инструментальных наблюдений за состоянием выемочных выработок 8 западной лавы пл. m_3	6
2 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЗАПАДНОГО ПОЛЕВОГО КОНВЕЙЕРНОГО ШТРЕКА И ПОДДЕРЖАНИЯ 8-ГО ЗАПАДНОГО ШТРЕКА ПЛ. m_3	20
2.1 Выбор места расположения полевой выработки относительно пласта и вмещающих пород	20
2.2 Расчет смещений пород на контуре полевого штрека	28
3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОХРАНЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ 8-ГО ЗАПАДНОГО ШТРЕКА ПЛ. m_3	30
3.1 Расчет среднего сопротивления и смещений пород по контуру 8- го западного конвейерного штрека	30
3.2 Анализ условий поддержания 8-го западного конвейерного штрека	33
3.3 Рекомендации по проведению 8 западного конвейерного штрека пл. m_3 при помощи невзрывчатых разрушающих веществ	36
3.3.1 Анализ существующей технологической схемы проведения	36
3.3.2 Предлагаемые технологические решения при проведении 8 западного конвейерного штрека пл. m_3	36
3.3.3 Приготовление рабочей смеси материала	38
3.3.4 Техника безопасности при производстве работ.	40
3.4 Рекомендации по креплению концевого участка лавы и способу охраны 8-го западного конвейерного штрека пл. m_3	40
3.4.1 Анализ существующей технологической схемы крепления концевого участка лавы	40
3.4.2 Предлагаемые технологические решения по креплению концевого участка лавы	41
3.5 Варианты поддержания конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта m_3	44
3.5.1 Комбинированный способ обеспечения устойчивости почвы выемочной выработки при использовании упорно-лежневой и продольно-балочной крепей усиления	44
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК	48

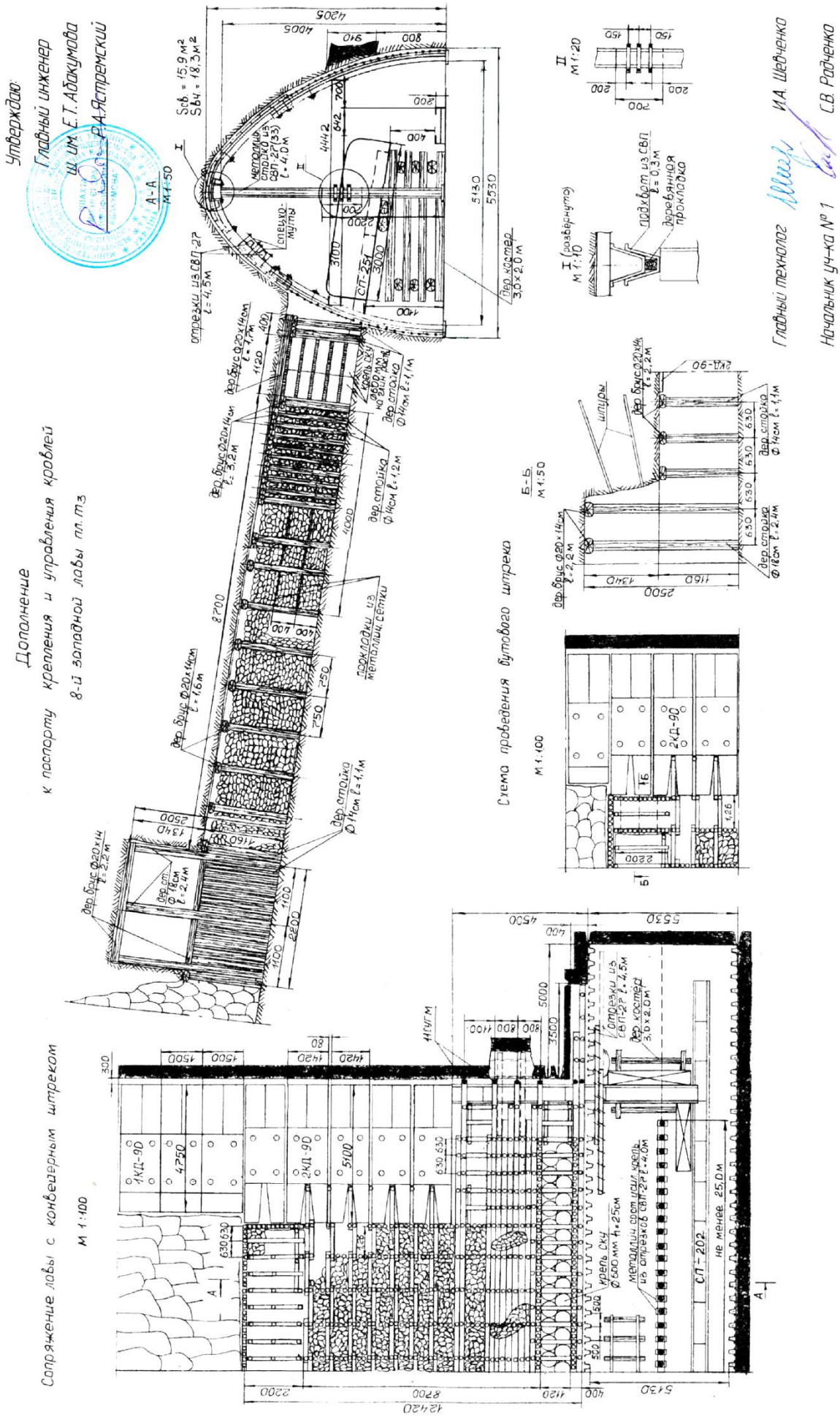


Рисунок Р.1 – Доповнення до паспорту кріплення та управління покрівлею 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова з укладанням у бутову смугу прокладок з металевої сітки

Утверждаю:
Главный инженер
ГП «Шахта им. Н.С. Сургая»
_____ И.И. Бишовец
"29" 05 2017г.

АКТ

приемочных испытаний, способа обеспечения устойчивости конвейерной выработки 13 восточной лавы пл. c_{11}

«29» мая 2017г.

Комиссия в составе представителей ГП «Шахта им. Н.С. Сургая»:
С. А. Култаев – зам. директора по пр-ву – председатель комиссии;
Н. Г. Максименко – главный геолог;
А. С. Сокун – главный технолог;
П. А. Цыбульник – гл. маркшейдер;

представителей ДонНТУ:
С. Г. Негрей – доц. каф. РМПИ, к.т.н.;
А. А. Исаенков – ст. препод. каф. ГиОТ ИИДонНТУ;
С. В. Сахно – аспирант каф. РМПИ;
Т. А. Негрей – ст. препод. каф. РМПИ;

на основании протокола испытаний способа обеспечения устойчивости конвейерной выработки 13 восточной лавы пл. c_{11}, с параметрами, рассчитанными по рекомендациям представителей ДонНТУ, считает данный способ прошедшим приемочные испытания и рекомендует:

- провести доработку способа для выработок, поддерживаемых в условиях высокотрещиноватых пород;
- провести корректировку конструкторской документации в соответствии с протоколом приемочных испытаний.

Протокол приемочных испытаний от «29» мая 2017г.

Председатель комиссии: _____ С. А. Култаев

Члены комиссии: _____ Н. Г. Максименко
_____ А. С. Сокун;
_____ П. А. Цыбульник
_____ Негрей С.Г.
_____ Сахно С.В.
_____ Исаенков А.А.
_____ Негрей Т.А.

Утверждаю:
Главный инженер
ПАО Ш/У «ДОНБАСС»
В.И. Орлов
05. 05. 2011 г.

ПРОТОКОЛ

приемочных испытаний способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями, разработанного коллективом ИГГ ДонНТУ

г. Донецк 04. 05. 2011 г.

Комиссия в составе представителей шахты «Щегловская–Глубокая»:

Скрыль Константин Викторович– главный инженер, председатель комиссии;
Шкуматов Михаил Николаевич– главный маркшейдер;
Рыбалко Александр Сергеевич – главный технолог ПАО Ш/У «ДОНБАСС»;
Горковенко Игорь Валерьевич– начальник участка №1;

представителей ИГГ ДонНТУ:

Касьян Николай Николаевич – зав. каф. РМПИ, докт. техн. наук, проф.;
Сахно Иван Георгиевич – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;
Негрей Сергей Григорьевич – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;
Мокриенко Владимир Николаевич – аспирант каф. РМПИ.

в соответствии с ранее утвержденной методикой (протокол 11.01.2011г) по проведению промышленных испытаний способа охраны выработки

проходили вслед за лавой с подрывкой пород кровли и почвы пласта, крепили металлоарочной крепью АП–5/18,3 из СВП–33 с подставками 1,4 м и шагом: 4×0,5м +1×0,8м, сечением Sсв. = 20,9 м2, Sпр. = 28,6 м2, с железобетонной затяжкой кровли, затяжкой боков металлической сеткой. Вынимаемая мощность пласта 1,37 - 1,52 м, угол падения от 7 до 12°, прочность угля на одноосное сжатие - 15 МПа, объёмный вес – 1,32 т/м3. Над пластом располагалась ложная кровля, представленная глинистым сланцем с нарушенной текстурой или переслоенным прожилками угля, мощностью от 0,1 до 0,5 м. Непосредственная кровля была представлена глинистым сланцем мощностью от 3,5 до 4,0 м. По устойчивости породы относятся к категории $Б_3$, в зонах опорного давления – $Б_2$. Основная кровля была представлена верхней частью слоя глинистого сланца, песчаным сланцем и песчаником общей мощностью от 28,0 м до 42,0 м. Глинистый сланец с прочностью на одноосное сжатие 40 МПа в верхней части слоя переходил в мелкозернистый песчаник мощностью 3,7 м с прочностью на одноосное сжатие от 75 до 95 МПа. Породы основной кровли по обрушаемости относятся к категории $А_2$.

Непосредственная почва была представлена песчаным сланцем мощностью 0,80 м, с прочностью на одноосное сжатие от 20 до 30 МПа. Основная почва – песчаным сланцем, с прочностью на одноосное сжатие от 61 до 75 МПа. Почва относится к категории $П_2 – П_3$.

Изменения в технологии касаются охраны конвейерного штрека (рис.2) Охрану выработки осуществляли следующим образом: с верхней стороны конвейерного штрека поддерживали косовичник шириной 3,5 м в направлении падения пласта. По нижней стороне косовичника, за ножками металлоарочной крепи штрека устраивается запасной выход из лавы в свету не менее 1,5 м2 (согласно требованиям ПБ), который через каждые 2,2-4,0м от забоя штрека закладывается полублоками на всю высоту выработанного пространства с интервалом 1,5 м (т.е. по длине 1,5м- пустота, следующие 1,5м - закладка породой в створе с закладкой полосы из полублоков)

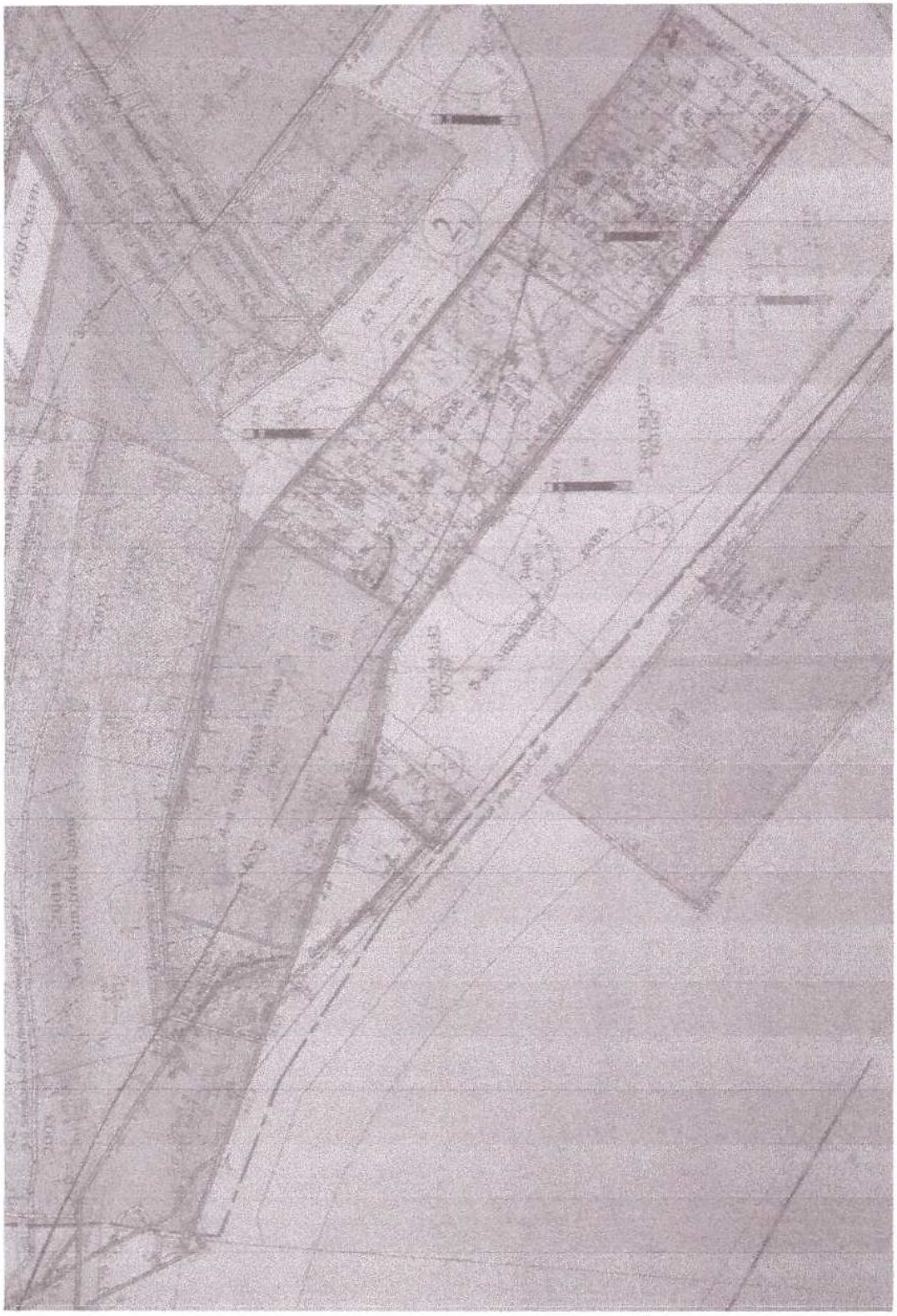


Рис.1. Выкопировка из плана горных выработок пласта m_3 шахты «Щегловская–Глубокая»

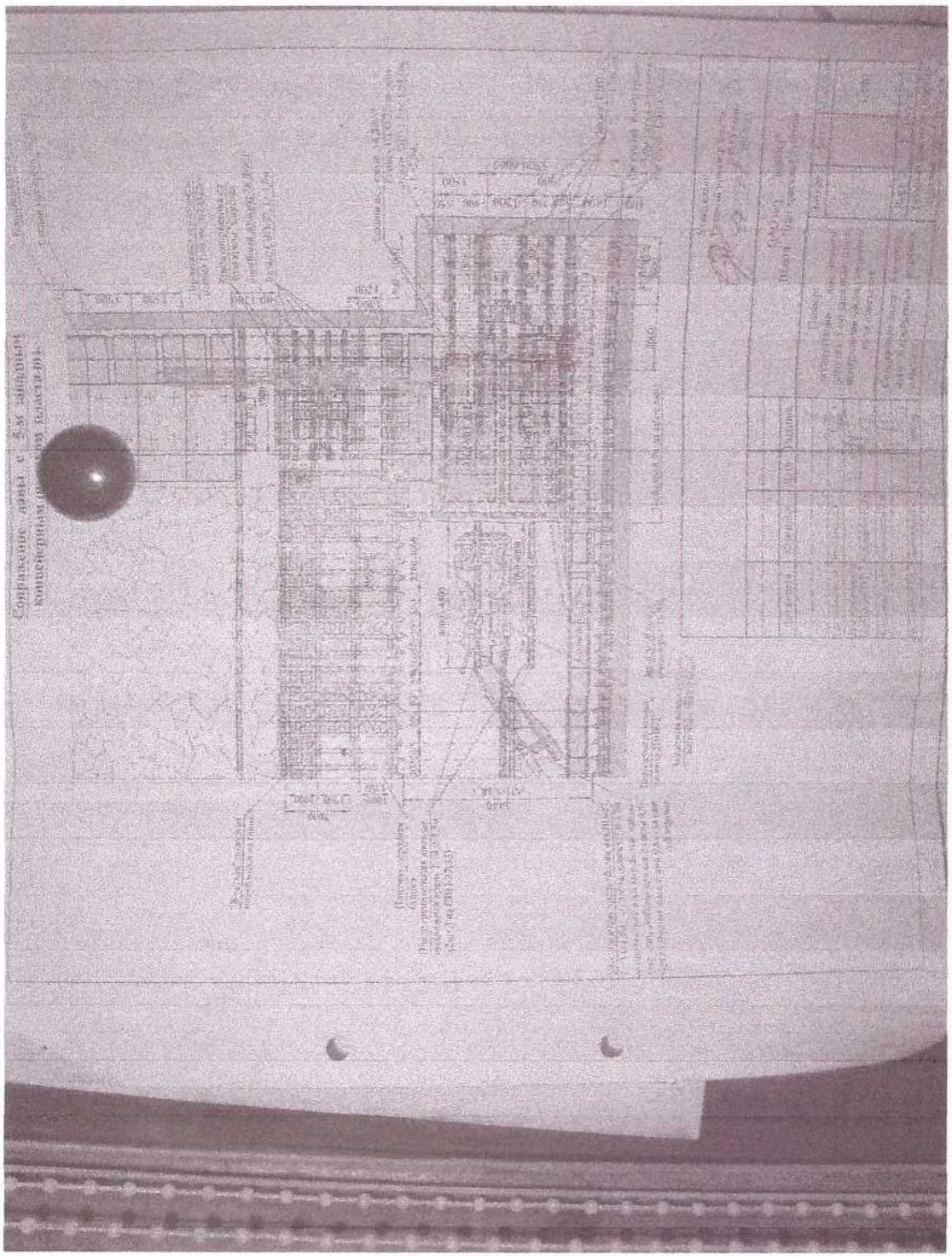


Рис.2. Дополнение к паспорту эксплуатации участка 5-й западной лавы

Выше запасного выхода сверху вниз выкладывали полосу на всю высоту выработанного пространства, шириной 2,0м на глине по схеме перевязки кирпича при кладке стен, из полублоков размерами 0,3×0,15×0,09 каждый. При этом верхняя часть полосы шириной 0,5 м выкладывалась всплошную по всей длине, а нижняя часть выкладывалась шириной 1,0м с оставлением полостей т.е. по длине 1,5м - пустота, следующие 1,5м – выкладывается полоса на глине.

1.3 Описание контрольного и экспериментального участков и способа контроля их состояния.

Контрольный участок оборудовался пятью контурными станциями с шагом их установки 10 м на участке длиной 50 м (35ПК - 40ПК).

Экспериментальный участок оборудовался 5 замерными станциями в период проведения пятого западного штрека с шагом их установки 10 м на участке длиной 50 м (42 ПК+ 5м - 47ПК +5м). Схема расположения замерных станций приведена на рисунке 3.

Наблюдения за проявлением горного давления велись способом, предложенным сотрудниками ДонНТУ, и апробированным в третьем восточном конвейерном штреке пласта m_3 шахты «Щегловская-глубокая» (протокол от 30.12.2010г). Согласно этому способу, замерная станция, приведенная на рисунке 4, состоит из репера и замерных точек на контролируемой раме. Репер представляет собой отрезок металлического прута из арматурной стали диаметром 0,032 м и длиной 0,5 м.

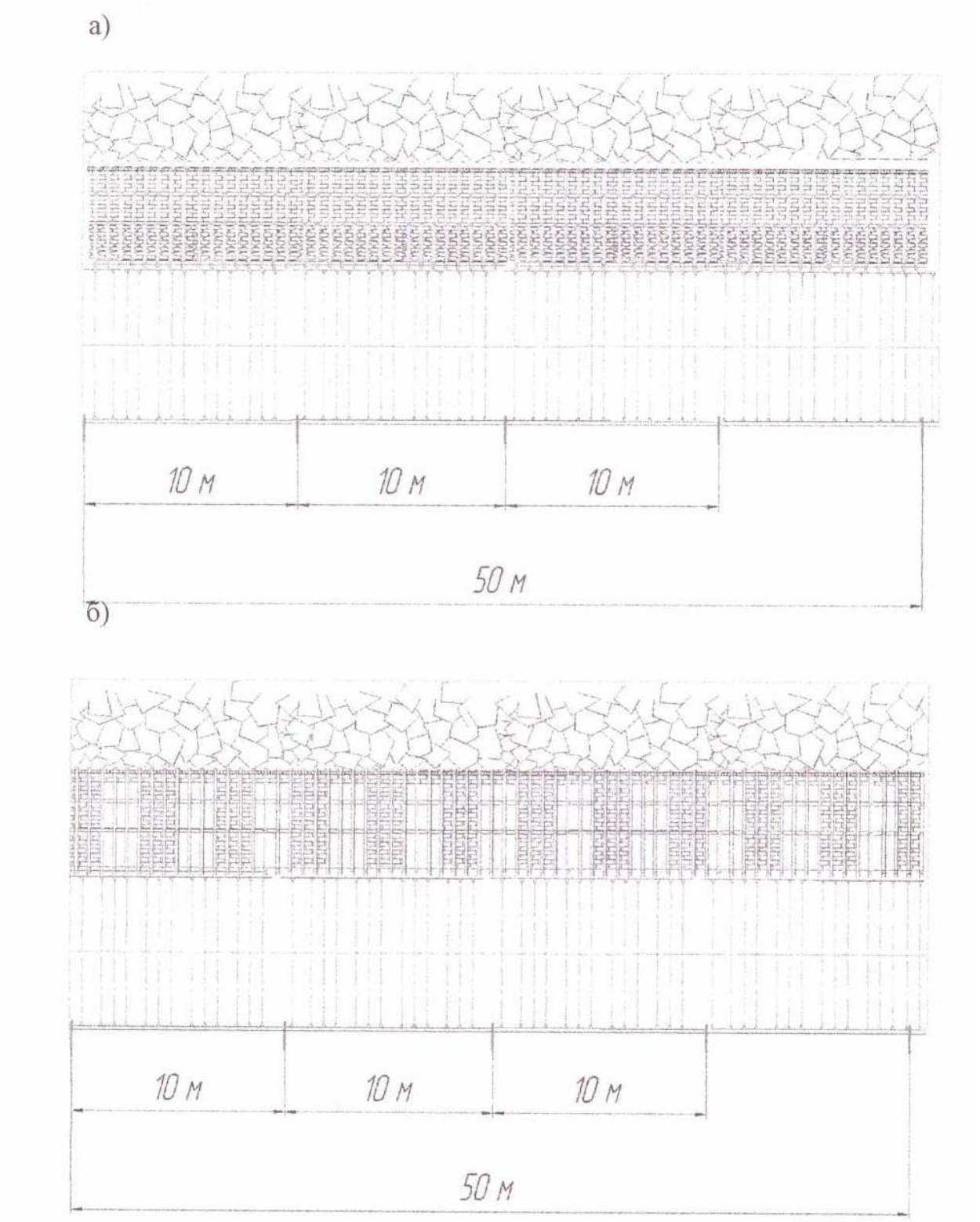


Рис.3. Схема расположения замерных станций на контрольном (а) и экспериментальном (б) участках.

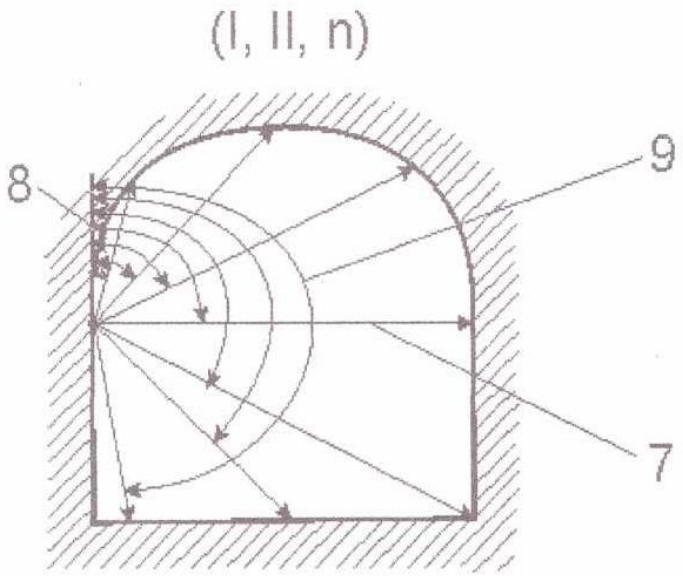


Рис. 4. Схема замерной станции

В качестве замерных точек в ходе приемочных испытаний были выбраны характерные точки (центр верхняка, замки, центр почвы, став конвейера и т.д.), высотные отметки и относительные смещения опорных реперов определялись путем прокладки нивелирного хода от контрольной точки, расположенной вне смещений (маркшейдерская точка в устье выработки), а в промежуточных реперах относительно опорных – при помощи водяного уровня.

Таким образом, была получена информация о пространственном перемещении замерных точек в каждый заданный промежуток времени и после сравнения этих значений с ранее измеренными в исходном состоянии были получены абсолютные значения смещений пород, по степени прироста которых можно судить о возрастании напряжений приконтурного массива, а это, в свою очередь, является критерием оценки эффективности предлагаемого мероприятия.

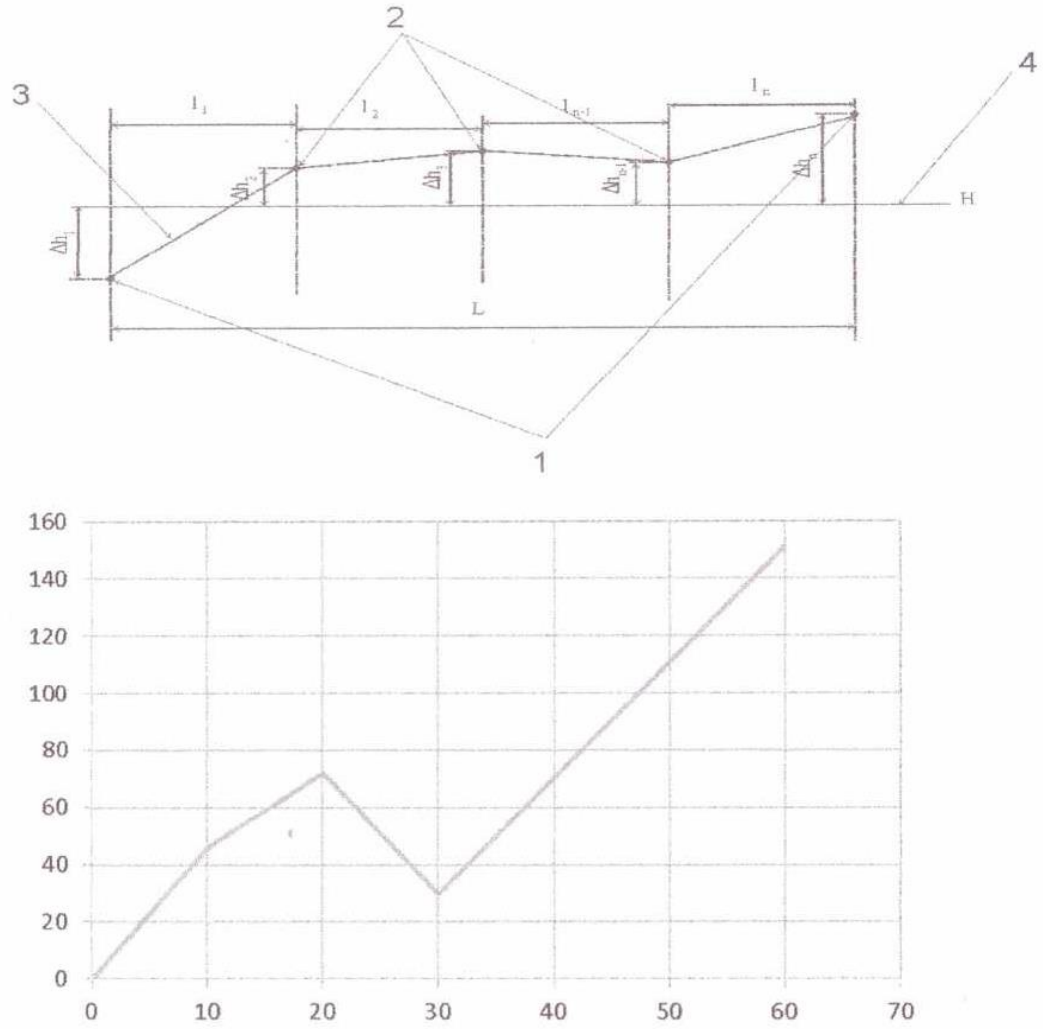


Рис. 4. Схема высотных отметок реперов на контрольном и экспериментальном участках, где 1 опорные реперы, 2 промежуточные реперы, 3- базовый элемент, H – глубина контрольной точки, ln- расстояние между промежуточными реперами, Δ h – высотные отметки опорных и промежуточных реперов относительно изогипсы 4.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ СПОСОБА ОХРАНЫ ВЫРАБОТКИ ЖЕСТКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ С КОМПЕНСАЦИОННЫМИ ПОЛОСТЯМИ

2.1 Результаты измерений

На контрольном участке за время наблюдения средние значения смещений пород почвы составило 0,8 м, на экспериментальном - 0, 55 м.

Исследования показали, что процесс смещения кровли и почвы характеризуется двумя периодами – интенсивным и установившимся. Первый период длится 25-30 суток и характеризуется значительными проявлениями горного давления. Общая конвергенция в выработке на контрольном участке за период интенсивного проявления горного давления достигла 1100 мм и составила более 40% от общей величины. При этом смещения кровли составляют в среднем 300 мм, почвы – 800 мм.

Общая конвергенция в выработке на экспериментальном участке за период интенсивного проявления горного давления достигла 860 мм и составила более 45% от общей величины. При этом смещения кровли составляют в среднем 295 мм, почвы – 565мм.

Смещения пород почвы выработки на обоих участках более активны в период интенсивных смещений, и затухают на расстоянии 70-100м после прохода лавы, смещения кровли продолжаются в зоне установившегося горного давления, и их конечная величина достигает 60-65% от общей конвергенции в выработке

Таким образом, смещение пород почвы выработки, при использовании способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями были на 31% меньше, чем на участке, где выработка охранялась по шахтной технологии. При этом при этом общая конвергенция выработки уменьшилась на 31%

В процессе приемочных испытаний выявлены эксплуатационные и конструктивные недостатки, отмеченные в разделе 3.

2.2 Рекомендации

Приемочные испытания способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями считать законченными.

Провести доработку технологии и корректировку конструкции, устранив при этом недостатки, изложенные в пункте 3 данного протокола.

3 ВЫЯВЛЕННЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НЕДОСТАТКИ

В процессе испытаний было отмечено разрушение некоторых полублоков в перемычках, которые возводились с целью предотвращения утечек воздуха через выработанное пространство. Следует разработать мероприятия по устранению этого явления.

Возведение охранного сооружения требует высокой доли ручного труда. Необходимо разработать механизированный способ возведения охранного сооружения.

4 ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании приемочных испытаний способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями, разработанного коллективом ИГГ ДонНТУ, комиссия пришла к следующим выводам:

1. Смещения пород почвы на экспериментальном участке на 31% меньше чем на контрольном, при этом общая конвергенция уменьшилась на 31%

2. Рекомендовать способ охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями для дальнейшего использования в условиях пучащих пород почвы.
3. ИГГ ДонНТУ провести доработку технологии и корректировку конструкции, устранив при этом недостатки, изложенные в пункте 3 данного протокола.
4. Приемочные испытания способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями в пятом западном конвейерном штреке считать законченными.

Председатель комиссии: _____ Скрыль К.В.

Члены комиссии: _____ Рыбалко А.С.

_____ Шкуматов М.Н.

_____ Горковенко И. В.

_____ Касьян Н. Н.

_____ Сахно И. Г.

_____ Негрей С.Г.

_____ Мокриенко В. Н.

Утверждаю:
Главный инженер
ПАО Ш/У «ДОНБАСС»
В.И. Орлов
04.05.2011 г.

АКТ

приемочных испытаний способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями, разработанного коллективом ИГГ ДонНТУ

г. Донецк 04.05.2011 г.

Комиссия в составе представителей шахты «Щегловская–Глубокая»:
Скрыль Константин Викторович– главный инженер, председатель комиссии;
Шкуматов Михаил Николаевич– главный маркшейдер;
Рыбалко Александр Сергеевич – главный технолог ПАО Ш/У «ДОНБАСС»;
Горковенко Игорь Валерьевич– начальник участка №1;
представителей ИГГ ДонНТУ:
Касьян Николай Николаевич – зав. каф. РМПИ, докт. техн. наук, проф.;
Сахно Иван Георгиевич – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;
Негрей Сергей Григорьевич – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;
Мокриенко Владимир Николаевич – аспирант каф. РМПИ.

На основании протокола приемочных испытаний способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями, разработанного коллективом ИГГ ДонНТУ комиссия считает данный способ выдержавшим приемочные испытания и рекомендует:

- рекомендовать способ охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями для дальнейшего использования в условиях пучащих пород почвы
- ИГГ ДонНТУ провести доработку технологии и корректировку конструкции, устранив при этом недостатки, изложенные в пункте 3 данного протокола.

Протокол приемочных испытаний от 4.05.2011 года.

Председатель комиссии: _____ Скрыль К.В.

Члены комиссии:
_____ Рыбалко А.С.
_____ Шкуматов М.Н.
_____ Горковенко И. В.
_____ Касьян Н. Н.
_____ Сахно И. Г.
_____ Негрей С. Г.
_____ Мокриенко В. Н.

Додаток С

Результати визначення ступеня деформацій підготовчих виробок при застосуванні різних засобів охорони

Таблиця С.1

Результати визначення ступеня деформацій підготовчих виробок на контрольних та експериментальних ділянках з різними заходами охорони

Найменування показників	Значення показників на дільницях		Різниця між показ-никами
	контрольна	експери-ментальна	
1	2	3	4
конвеєрний штрек 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова (армування бутової смуги металевими сітками)			
Проектна площа поперечного перетину виробки, м^2	15,9		-
Проектна ширина виробки , м	5,13		-
Зміщення покрівлі виробки, м	1,1	0,6	-0,5
Зміщення підошви виробки, м	1,1	1,1	0
Ступінь деформацій виробок, % (м^2)	79 (12,6)	62 (9,91)	-17
Ступінь ймовірності вивалоутворення	неминуча	неминуча	-
Частка втрати перетину виробки за рахунок зміщень її покрівлі, % (м^2)	44 (6,96)	27 (4,27)	-17
Частка втрати перетину виробки за рахунок зміщень її підошви, % (м^2)	35 (5,64)	35 (5,64)	0
конвеєрний штрек 5-ої східної лави пласта m_3 шахти «Щегловська-Глибока» (жорсткі опори з компенсаційними порожнинами)			
Проектна площа поперечного перетину виробки, м^2	21,5		-
Проектна ширина виробки , м	5,32		-
Зміщення покрівлі виробки, м	0,79	0,84	+0,05
Зміщення підошви виробки, м	1,05	0,65	-0,4
Ступінь деформацій виробок, % (м^2)	52 (11,2)	44 (9,4)	-8
Ступінь ймовірності вивалоутворення	неминуча	неминуча	-
Частка втрати перетину виробки за рахунок зміщень її покрівлі, % (м^2)	26 (5,6)	28 (5,9)	+2
Частка втрати перетину виробки за рахунок зміщень її підошви, % (м^2)	26 (5,5)	16 (3,5)	-10

Продовження табл. С.1

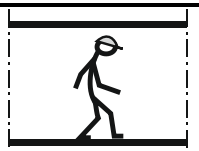
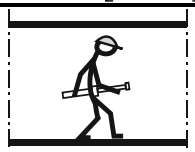
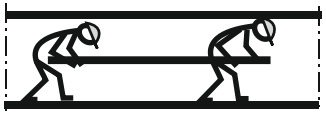
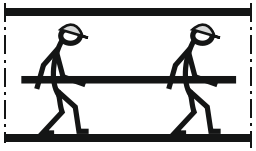
1	2	3	4
конвеєрний хідник 11-ої західної лави пласта c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» (пакетовані смуги або комбіновані смуги з рядової породи та мішків з породою)			
Проектна площа поперечного перетину виробки, м^2	11,2		-
Проектна ширина виробки , м	4,2		-
Зміщення покрівлі виробки, м	0,205	0,205	0
Зміщення підошви виробки, м	0,29	0,29	0
Ступінь деформацій виробок, % (м^2)	22,4 (2,51)	22,4 (2,51)	0
Ступінь ймовірності вивалоутворення	неминуча	неминуча	-
Частка втрати перетину виробки за рахунок зміщень її покрівлі, % (м^2)	11,5 (1,29)	11,5 (1,29)	0
Частка втрати перетину виробки за рахунок зміщень її підошви, % (м^2)	10,9 (1,22)	10,9 (1,22)	0

Додаток Т

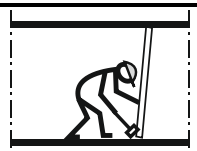
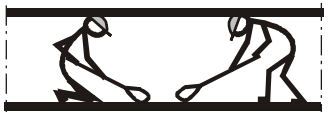
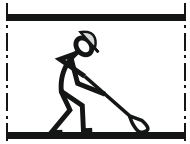
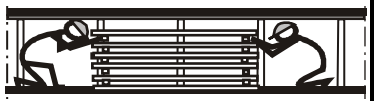
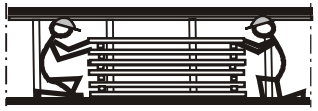
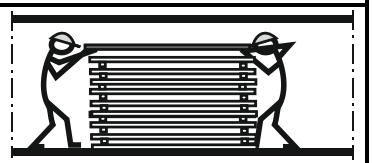
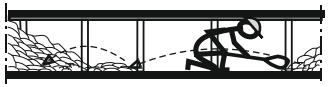
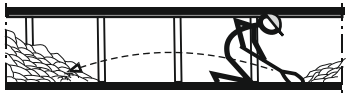
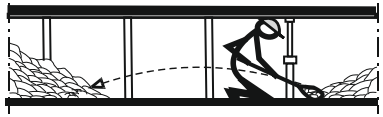
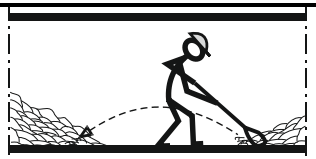
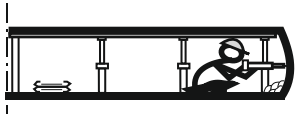
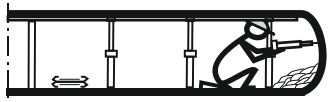
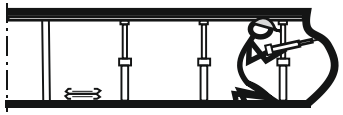
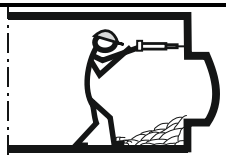
Визначення енерговитрат організмів шахтарів при виконанні операцій зі спорудження засобів охорони

Таблиця Т.1

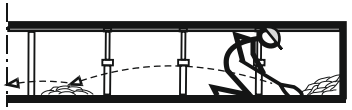
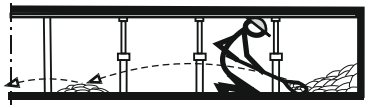
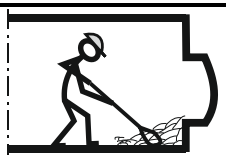
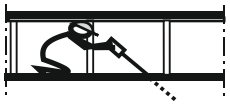
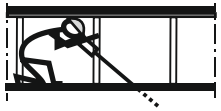
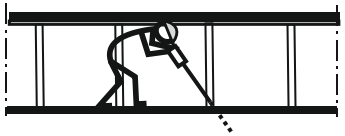
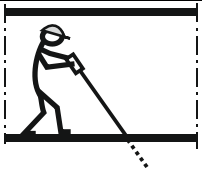
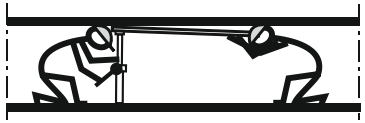
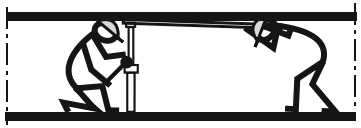
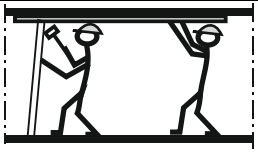
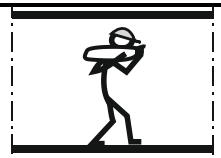
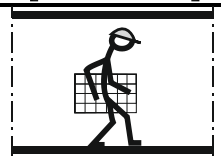
Результати визначення середніх енерговитрат організму шахтаря для певних робочих поз гірників під час виконання операцій при реалізації технологій охорони

Найменування операцій	Робочі пози гірників (енерговитрати, Вт) в залежності від виконуваної операції та потужності пласта *m* [частка перерви у загальній тривалості виконання робіт (%)]			
	m=0,65÷0,89 м	*m*=0,90÷1,05 м	*m*=1,06÷1,70 м	*m*>1,70 м
1	2	3	4	5
Переміщення гірника без вантажу	 558 Вт [48 %]	 475 Вт [39 %]	 422 Вт [31 %]	 377 Вт [23 %]
Переміщення вантажу однією особою	 935 Вт [69 %]	 796 Вт [64 %]	 707 Вт [59 %]	 628 Вт [54 %]
Переміщення вантажу декількома особами	 712 Вт [69 %]	 606 Вт [52 %]	 538 Вт [46 %]	 481 Вт [40 %]

Продовження табл. Т.1

1	2	3	4	5
Встановлення дерев’яних стійок	 614 Вт [53 %]	 593 Вт [51 %]	 593 Вт [51 %]	 565 Вт [49 %]
Зачищення підошви	 487 Вт [39 %]	 342 Вт [15 %]	 237 Вт [-]	 481 Вт [40 %]
Спорудження костра	 396 Вт [27 %]	 337 Вт [14 %]	 299 Вт [3 %]	 267 Вт [-]
Перекидання породи лопатою	 768 Вт [62 %]	 704 Вт [59 %]	 704 Вт [59 %]	 746 Вт [61 %]
Відбивання вугілля відбійним молотком	 418 Вт [31 %]	 418 Вт [31 %]	 454 Вт [36 %]	 427 Вт [32 %]

Продовження табл. Т.1

1	2	3	4	5
Перекидання вугілля лопатою	 452 Вт [36 %]	 411 Вт [29 %]	 411 Вт [29 %]	 439 Вт [34 %]
Буріння шпурів у підошву	 318 Вт [9 %]	 293 Вт [1 %]	 251 Вт [-]	 251 Вт [-]
Встановлення дерев’яного бруса під покрівлю	 362 Вт [20 %]	 349 Вт [17 %]	 349 Вт [17 %]	 338 Вт [14 %]
Переміщення мішків з породою	 613…1036 Вт [53…72 %]	 499…856 Вт [42…66 %]	 412…720 Вт [30…60 %]	 375…643 Вт [23…55 %]
Перенесення металевої сітки	 624 Вт [54 %]	 532 Вт [45 %]	 473 Вт [39 %]	 423 Вт [31 %]

Додаток У

РАСЧЕТ

ожидаемой экономической эффективности от внедрения способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» ПАО ш/у «Донбасс»

г. Донецк 5 мая 2011 г.

С целью уменьшения величины выдавливания пород почвы в горных выработках, на шахте «Щегловская-Глубокая» ПАО ш/у «Донбасс», проводилось внедрение способа охраны выработки жестким сооружениями с компенсационными полостями на участке сопряжения 5 западной лавы пл. m_3 гор. 915 м с конвейерным штреком в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» ПАО ш/у «Донбасс».

Экономический эффект от реализации предложенного способа достигнут путем снижения затрат на подрывку пород почвы на участке сопряжения 5 западной лавы пл. m_3 гор. 915 м с конвейерным штреком, за счет уменьшения величины выдавливания пород почвы в пределах экспериментального участка с 42ПК+5 м по 47ПК+5 м.

Расчет выполнен путем сравнения статей затрат на подрывку пород почвы на контрольном участке и на экспериментальном участке с применением предложенного способа охраны выработки жестким сооружениями с компенсационными полостями в период с февраля 2011 г. по апрель 2011 г. Расчет приведен в ценах 2011 года.

Экономия затрат производства на рабочем месте, где внедряется новая технология определяется по формуле:

$$I_P = (I_Б - I_Н) \times Q_Н, \text{ грн.}$$

где $I_Б$, $I_Н$ - общие затраты производства на единицу продукции (объем работ) соответственно для базового и нового вариантов, грн.;

$Q_Н$ - общий объем производства при использовании новой технологии.

1 Базовый вариант

1.1 Затраты на подрывку пород почвы на контрольном участке за период проведения эксперимента:

$$C_{под} = T_c \times V_{пор}$$

где T_c – затраты на подрывку 1 м^3 пород почвы по данным расчетов расценок и комплексной нормы выработки, для условий шахты «Щегловская-Глубокая» ПАО ш/у «Донбасс».составляет T_c=141,8 грн./м^3;

$V_{пор}$ – объём извлекаемой породы с почвы выработки на контрольном участке, м^3;

$$V_{пор} = \Sigma H_{под} \times B_в \times L_{уч}, \text{ м}^3,$$

где $B_в$ – ширина выработки в свету, м;

$\Sigma H_{под}$ – суммарная величина подрывки пород почвы выработки на контрольном участке за период проведения эксперимента, м;

$L_{уч}$ – длинна участка, м;

$$V_{пор} = 1{,}0 \times 4{,}85 \times 50 = 242{,}5 \text{ м}^3$$
$$C_{под} = 141{,}8 \times 242{,}5 = 34386{,}5 \text{ грн.}$$

1.2 Затраты на перекрепление выработки на контрольном участке за период проведения эксперимента

За период проведения эксперимента на контрольном участке выработка перекреплялась один раз.

1.3 Общие затраты базового варианта на 1 п.м. за период проведения эксперимента:

$$I_Б = 34386{,}5 / 50 = 687{,}7 \text{ грн./п.м.}$$

2 Новый вариант

2.1 Затраты на подрывку пород почвы на экспериментальном участке за период проведения эксперимента

$$C'_{под} = T_c \times V'_{пор}$$

где $V'_{пор}$ – объём извлекаемой породы с почвы выработки на экспериментальном участке, м^3;

$$V'_{пор} = \Sigma H_{под} \times B_в \times L_{уч}, \text{ м}^3,$$

где $\Sigma H'_{под}$ – суммарная величина подрывки пород почвы выработки на экспериментальном участке за период проведения эксперимента, м;

$$V'_{пор} = 0,7 \times 4,85 \times 50 = 169,75 \text{ м}^3$$

$$C'_{под} = 141,8 \times 169,75 = 24070,5 \text{ грн.}$$

2.2 Затраты на перекрепление выработки на экспериментальном участке за период проведения эксперимента

Перекрепление выработки в этом варианте не производилось.

2.3 Затраты на оплату труда при применении способа охраны выработки жестким сооружениями с компенсационными полостями

Таблица 1. – Затраты на оплату труда при применении способа охраны выработки жестким сооружениями с компенсационными полостями

	Норма выработки			Объем работ на 1 м	Кол-во чел-см на 1м	Тарифная ставка, грн.	Расценка за 1 м, грн	Основание для установлен. нормы выработок
	по ЕНВ	«К» по ЕНВ	установлен.					
Извлечения породы в твердом теле, м^3	3,54	-	3,54	0,08	0,023	150,72	3,4	Табл.25.5б
Уборка породы вручную на конвейер, м^3	7,39	-	7,39	0,128	0,017	133,98	2,3	Табл.26.3
На единицу работы (комплексная), м					0,04		5,7	

Таким образом затраты на оплату труда на экспериментальном участке за период проведения эксперимента составят:

$$C_{o.m} = 1{,}1 \times 5{,}7 \times 50 = 313{,}5 \text{ грн.}$$

где 1,1 – учет осложнений связанных с некачественным выполнением работ, и осложнением горно-геологических условий;

2.5 Общие затраты нового варианта на 1 п.м. за период проведения эксперимента:

$$C_{общ} = C'_{под} + C_{o.m} = 24070{,}5 + 313{,}5 = 24384 \text{ грн.}$$

$$I_{И} = 24384 / 50 = 487{,}7 \text{ грн./п.м.}$$

3 Сводные затраты производства на контрольном и экспериментальном участке за период проведения эксперимента

Экономический эффект от применения способа охраны выработки жестким сооружениями с компенсационными полостями на участке сопряжения 5 западной лавы пл. m_3 гор. 915 м с конвейерным штреком в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» ПАО ш/у «Донбасс». (на экспериментальном участке с 42ПК+5 м по 47ПК+5 м), рассчитанным по действующей нормативной методике составит:

$$I_P = I_Б - I_Н = 687{,}7 - 487{,}7 = 200 \text{ грн./п.м.}$$

Главный инженер ПАО
«Шахтоуправление «Донбасс»_____Орлов В.И.
проф. каф. РМПИ ГВУЗ ДонНТУ_____ Касьян Н.Н.
доц. каф. РМПИ ГВУЗ ДонНТУ_____Сахно И.Г.
доц. каф. РМПИ ГВУЗ ДонНТУ_____Негрей С.Г.
аспирант. каф. РМПИ ГВУЗ ДонНТУ_____ Мокриенко В.Н.

Додаток Ф

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Т.в.о. директора ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»
Грачов Є.І. _____
«18» листопада 2020 р.

РОЗРАХУНОК

економічної ефективності від застосування комбінованої охоронної споруди з рядової породи та мішків в умовах конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18} "Шахтоуправління "Південнодонбаське №1"

З метою забезпечення стійкості підготовчих виробок позаду лави та зменшення витрат на їх охорону для умов конвеєрного хідника 11-ої західної лави пласта c_{18} було рекомендоване застосування засобів охорони на основі використання рядової породи, в тому числі комбінованої охоронної споруди, що представляє собою конструкцію зі стінок з мішків, які наповнені дрібнофракційною породою (породних стійок), та заповненням простору між ними рядовою породою.

Основною метою впровадження даного технологічного рішення було зменшення витрат на охорону виробки зі збереженням її експлуатаційного стану. При застосуванні комбінованої споруди досягається збереження експлуатаційного поперечного перерізу конвеєрного хідника з такими ж показниками, як і при застосуванні накатних кострів або пакетованих смуг з використанням цементної суміші "ТЕКХАРД". Тому економічний ефект від застосування комбінованої споруди досягнуто за рахунок зниження витрат на спорудження даної конструкції внаслідок застосування в якості основного матеріалу рядової породи, яка надходила з прохідницького вибою, що знаходився на відстані від місця спорудження не більше, ніж 5 м.

Величина економічного ефекту на 1 м виробки може бути визначена за формулою

$$E = \left(B_Б - B_Н\right) L_Н, \text{ грн.} \qquad (1)$$

де $B_Б$, $B_Н$– питомі витрати на 1 м виробки, що охороняється, відповідно, для базового та нового варіантів технології, грн./м; $L_Н$– протяжність ділянки виробки, яка охоронялася за допомогою нової технології, м.

У даному випадку питомі витрати на охорону виробки у базовому та новому варіантах будуть визначатися виразом

$$B_{Б(Н)} = B_{мат} + B_{тр} + B_{оп}, \quad (2)$$

де $B_{мат.}$– питомі витрати на придбання матеріалів для охоронної конструкції, грн./м; $B_{тр}$– транспортні витрати на доставку елементів конструкції на 1 м довжини споруди, грн./м; $B_{оп}$– питомі витрати на оплату праці гірників, задіяних при спорудженні засобу охорони, грн./м.

При визначенні транспортних витрат можна врахувати витрати на оплату робіт із завантаження вагонів, їх спуск по стволу, транспортування гірничими виробками та розвантаження на дільниці.

Витрати на оплату праці при транспортуванні та розцінка на спорудження засобу охорони приведені на 1 п.м охоронної конструкції визначаються виразом

$$B_{оп} = \sum T_p \cdot T_c, \quad (3)$$

де $\Sigma T_{p.}$– трудомісткість робіт з транспортування матеріалів та спорудження 1 п.м охоронної споруди (доставка елементів конструкції по ділянці, їх обробка та укладання), люд.-змін; T_c– тарифна ставка робітників, які виконують роботи з транспортування та спорудження конструкції, грн./зміну.

Розрахунки витрат на транспортування та розцінок на спорудження 1 п.м охоронних конструкцій з накатних кострів, пакетованих смуг і породних стійок з породною смугою наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахунки розцінок на транспортування та спорудження

1 п.м охоронних конструкцій

Вид роботи	Професія і розряд робочого	Одиниця виміру	Укрупнена комплексна норма виробітку			Обсяг робіт на 1 м виробки	Потрібна кількість людино-змін по нормі	Тарифна ставка, грн.-коп.	Розцінка за 1 м, грн.-коп.	Підстави для встановлення норми
			за збірникою	поправочний коефіцієнт *	з врахуванням поправ. коеф.					
1	2		4	5	6	7	8	9	10	11
накатні костри										
Навантаження елементів дерев'яного кріплення на поверхні	доставщик IIIр.	т	9,9	1,0	14,0	1,34	0,135	216,93	29,29	ЄНВ**, §100, т. 130, п. 2а
Доставка матеріалів в шахті у вагонетках	ГРП III р.	т	37,3	1,5	56,25	1,34	0,024	309,90	7,44	ЄНВ**,§103, т. 133, п.6а
Доставка матеріалів в шахті вручну	ГРОВ V р.	т	37,3	1,0	37,3	1,34	0,036	458,34	16,50	ЄНВ**,§103, т.133,п. 6а
Викладення кострів	ГРОВ V р.	костер	19,4	0,9× 0,5× 0,9	7,857	0,625	0,08	458,34	36,67	ЄНВ***,§40, т. 67, п. 3а

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Часткове закладення виробленого простору породою вручну	ГРОВ V р.	$м^3$	6,92	1,0	6,92	8,82	1,275	458,34	584,38	ЄНВ***, §39, т. 66, п. 7б
Комплексна норма та розцінка	–	–	–	–	–	–	1,55	–	674,27	–
пакетовані смуги										
Навантаження мішків із цементною сумішшю на поверхні	доставщик ШР.	т	9,9	1,0	14,0	0,742	0,053	216,93	11,50	ЄНВ**, §100, т. 130, п. 2а
Доставка матеріалів в шахті у вагонетках	ГРП III р.	т	37,3	1,5	56,25	0,742	0,013	309,90	4,09	ЄНВ**,§103, т. 133, п. 6а
Доставка матеріалів в шахті вручну	ГРОВ V р.	т	37,3	1,0	37,3	0,742	0,02	458,34	9,17	ЄНВ**,§103, т. 133, п. 6а
Викладення мішків з сумішшю	ГРОВ V р.	$м^3$	3,55	1,0	3,55	1,155	0,325	458,34	149,12	табл. 2****
Часткове закладення виробленого простору породою вручну	ГРОВ V р.	$м^3$	6,92	1,0	6,92	8,82	1,275	458,34	584,38	ЄНВ***, §39, т. 66, п. 7б
Комплексна норма та розцінка	–	–	–	–	–	–	1,686	–	758,26	–

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
породні стійки з породною смугою (з розміщенням всієї породи від проведення виробки)										
Викладення мішків з сумішшю	ГРОВ Vр.	$м^3$	2,76	1,0	2,76	1,68	0,609	458,34	278,99	табл. 3
Часткове закладення виробленого простору породою вручну	ГРОВ V р.	$м^3$	6,92	1,0	6,92	8,82	1,275	458,34	584,38	ЄНВ***, §39, т. 66, п. 7б
Комплексна норма та розцінка	–	–	–	–	–	–	1,884	–	863,37	–

*- наведено добуток поправочних коефіцієнтів, які впливають на норму виробітку;

**- Единыенормывыработки (времени) на работы, не охваченныеукрупненнымикомплексными нормами выработки для шахт Донецкого и Львовско-Волынскогоугольныхбассейнов (дополнение к УКНВ), М., 1988.– 286 с.

***- Єдині норми виробітку на очисні роботи для вугільних шахт– Мінвуглепром України, Київ, 2006. – 352 с

****- для мішків масою 25 кг норма визначалася з таблиць 2 і 3 інтерполяцією між нормами, що відповідають масам 20 та 30 кг.

Таблиця 2

Результати розрахунку нормативів часу (норм виробітку) на спорудження пакетованої смуги

Найменування операцій	Нормативи часу на зміну (хв.) при відстані переміщення мішків		
	5 м	10 м	15 м
1	2	3	4
Підготовчо-заключні операції			
Прийом зміни. Огляд робочого місця та приведення його в безпечний стан. Підготовка до роботи та прибирання наприкінці роботи інструменту та пристосувань. Здача зміни. РАЗОМ $Т_{п.з.}$	12		

Продовження табл. 2

1	2	3	4
Норматив часу на особисті потреби ($T_{л.н.}$)		10	
Норматив часу на відпочинок ($к_0$) – 12% від операційного часу (t_o+$t_в$)		10,15	
при масі мішків 20 кг			
Основні операції			
Пересування та викладка мішків «ТЕКХАРД» в опору	11	14	24
Нагнітання води у мішки з сумішшю	35	35	35
РАЗОМ (t_o)	46	49	59
Допоміжні операції			
Підготовка місця для викладки мішків		12	
Розчищення траси для переміщення мішків	15	30	45
РАЗОМ ($t_в$)	27	42	57
РАЗОМ ($t_в$+ t_o)	73	91	116
Норма часу на весь етап викладки опори з мішків, люд.-год. (люд.-змін)	1,45 (0,24)	1,80 (0,30)	2,30 (0,38)
Норма часу на 1 $м^3$ опори, люд.-змін	0,27	0,33	0,43
Норма виробітку, $м^3$	3,29	2,64	2,07
при масі мішків 30 кг			
Основні операції			
Пересування та викладка мішків «ТЕКХАРД» в опору	6	12	16
Нагнітання води у мішки з сумішшю	30	30	30
РАЗОМ (t_o)	36	42	46
Допоміжні операції			
Підготовка місця для викладки мішків		12	
Розчищення траси для переміщення мішків	15	30	45
РАЗОМ (tв)	27	42	57
РАЗОМ (tв+ to)	63	84	103
Норма часу на весь етап викладки опори з мішків, люд.-год. (люд.-змін)	1,24 (0,21)	1,67 (0,28)	2,04 (0,34)
Норма часу на 1 м3 опори, люд.-змін	0,23	0,31	0,38
Норма виробітку, м3	3,81	2,86	2,33
при масі мішків 40 кг			
Основні операції			
Пересування та викладка мішків «ТЕКХАРД» в опору	4	9	14
Нагнітання води у мішки з сумішшю	30	30	30
РАЗОМ (t_o)	34	39	44

Продовження табл. 2

1	2	3	4
Допоміжні операції			
Підготовка місця для викладки мішків	12		
Розчищення траси для переміщення мішків	15	30	45
РАЗОМ ($t_в$)	27	42	57
РАЗОМ ($t_в$+ $t_о$)	61	81	101
Норма часу на весь етап викладки опори з мішків, люд.-год. (люд.-змін)	1,21 (0,20)	1,61 (0,27)	2,00 (0,33)
Норма часу на 1 м^3 опори, люд.-змін	0,22	0,30	0,37
Норма виробітку, м^3	3,94	2,97	2,38

Таблиця 3

Результати розрахунку нормативів часу на спорудження опори

Найменування операцій	Нормативи часу на зміну (хв.) при відстані переміщення мішків		
	5 м	10 м	15 м
1	2	3	4
Підготовчо-заключні операції			
Прийом зміни. Огляд робочого місця та приведення його в безпечний стан. Підготовка до роботи та прибирання наприкінці роботи інструменту та пристосувань. Здача зміни. РАЗОМ $T_{п..э.}$	12		
Норматив часу на особисті потреби ($T_{л..н.}$)	10		
Норматив часу на відпочинок ($к_0$) – 12% від операційного часу ($t_о$+$t_в$)	10,15		
при масі мішків 20 кг			
Основні операції			
Заповнення мішків породою	48/60×70=56		
Переміщення й укладання мішків у опору	11	14	24
РАЗОМ ($t_о$)	67	70	79
Допоміжні операції			
Підготовка місця для викладки мішків	12		
Розчищення траси для переміщення мішків	15	30	45
РАЗОМ ($t_в$)	27	42	57
РАЗОМ (tв+ to)	94	112	136
Норма часу на весь етап викладки опори з мішків, люд.-год. (люд.-змін)	1,86 (0,31)	2,22 (0,37)	2,70 (0,45)

Продовження табл. 3

1	2	3	4
Норма часу на 1 м^3 опори, люд.-змін	0,34	0,41	0,5
Норма виробітку, м^3	2,68	2,22	1,82
при масі мішків 30 кг			
Основні операції			
Заповнення мішків породою	78/60×44=58		
Переміщення й укладання мішків у опору	6	12	16
РАЗОМ (t_o)	64	70	74
Допоміжні операції			
Підготовка місця для викладки мішків	12		
Розчищення траси для переміщення мішків	15	30	45
РАЗОМ ($t_в$)	27	42	57
РАЗОМ ($t_в$+ t_o)	91	112	131
Норма часу на весь етап викладки опори з мішків, люд.-год. (люд.-змін)	1,80 (0,30)	2,22 (0,37)	2,60 (0,43)
Норма часу на 1 м^3 опори, люд.-змін	0,33	0,41	0,48
Норма виробітку, м^3	2,76	2,22	1,90
при масі мішків 40 кг			
Основні операції			
Заповнення мішків породою	108/60×35=53		
Переміщення й укладання мішків у опору	4	9	14
РАЗОМ (t_o)	57	62	67
Допоміжні операції			
Підготовка місця для викладки мішків	12		
Розчищення траси для переміщення мішків	15	30	45
РАЗОМ (tв)	27	42	57
РАЗОМ (tв+ to)	84	104	124
Норма часу на весь етап викладки опори з мішків, люд.-год. (люд.-змін)	1,67 (0,28)	2,06 (0,34)	2,46 (0,41)
Норма часу на 1 м^3 опори, люд.-змін	0,31	0,38	0,46
Норма виробітку, м^3	2,94	2,40	1,98

Витрати на матеріали визначаються добутком кількості відповідних елементів в 1 погонному метрі охоронної конструкції на їх ціну, тобто

$$B_{мат} = n_{ел} Ц_{ел} . \qquad (4)$$

З виразу (4) для накатних кострів вартість 1 м охоронної споруди (об'єм лісу 1,51 м^3 при ціні 1 м^3 брусу 900,00 грн) за матеріалами складе

$$B_{мат} = 1,51 \cdot 900,00 = 1359,00 \text{ грн./м.}$$

Для пакетованої смуги з сумішшю «TEKHARD» (1,9 т суміші на 1 м споруди за ціною 3,50 грн./кг) –

$$B_{мат} = 1,9 \cdot 3500 = 6650,00 \text{ грн./м,}$$

а для комбінованої породної споруди (необхідне придбання поліпропіленових мішків у розрахунку 40 мішків на 1 м споруди за ціною 2,32 грн./мішок)

$$B_{мат} = 40 \cdot 2,32 = 92,80 \text{ грн./м.}$$

Тоді з виразу (1) очікуваний економічна ефективність від впровадження комбінованої споруди у виробці довжиною 1000 м у порівнянні з накатними кострами складе

$E = \left((674,27 + 1359,00) - (863,37 + 92,80)\right) \cdot 1000 = 1077100$ грн. або 1077,10 грн./м,

а у порівнянні з пакетованою смугою –

$E = \left((758,26 + 6650,00) - (863,37 + 92,80)\right) \cdot 1000 = 6452090$ грн. або 6452,09 грн./м.

Головний бухгалтер Сазонов В.М.

В.о.головного технолога Останко О.Е.

Керівник НДР Негрій С.Г.

Додаток Х

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з наукової роботи
ДВНЗ «ДонНТУ»
_____ Є.О. Башков
«12» 10 2016 р.

РОЗРАХУНОК
економічної ефективності від застосування армованої бутової смуги в умовах конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова ДП «Донецька вугільна енергетична компанія»

З метою забезпечення безпечних умов праці на кінцевій ділянці лави та зменшення зміщень на контурі конвеєрного штреку конвеєрного штреку 8-ої західної лави пласта m_3 шахти ім. Є.Т. Абакумова було рекомендоване армування бутової смуги металевими сітками. Згідно рекомендацій необхідно було смугу поділити на два сектори шириною 4 та 3 м. Сектор шириною 4 м, який був ближчим до виробки, для обмеження його піддатливості пошарово закладався породою з укладанням між шарами перегородок з металевих сіток. Другий сектор з боку виробленого простору мав споруджуватись з породи за звичайною технологією. У секторі з перегородками було три породні шари, між якими були дві перегородки з сітчастої затяжки, які укладалися паралельно площині напластування порід.

У цілому використання сітчастих перегородок дозволило створити стійку опору шириною 4 м з піддатливістю, яка не перевищувала 25 %. Це позначилося на загальному стані виробки, що охоронялася, та на зменшенні обвалень порід на кінцевій ділянці лави. В цілому конвергенція порід у виробці зменшилася на 0,5 м. Для збільшення висоти виробки по всій її довжині, за виключенням експериментальної ділянки, на відстані 60 м здійснювалась підривка порід підошви на глибину 0,5 м, а потім на відстані понад 160 м виробка перекріплювалася з випуском породи та встановленням рам кріплення на видавлену підошву. На експериментальній ділянці на відстані від лави 160 м здійснювалася підривка підошви на величину 1,5 м.

Величина економічного ефекту на 1 м виробки може бути визначена за формулою

$$E = B_Б - B_Н, \text{ грн./м} \qquad (1)$$

де $B_Б$, $B_Н$– питомі витрати на 1 м виробки, що охороняється, відповідно, для базового та нового варіантів технології, грн./м.

У даному випадку питомі витрати на охорону виробки у базовому та новому варіантах будуть визначатися виразом

$$B_{Б(Н)} = B_{мат} + B_{оп}, \quad (2)$$

де $B_{мат.}$– питомі витрати на придбання матеріалів для охоронної конструкції, грн./м; $B_{оп}$– питомі витрати на оплату праці гірників, задіяних при спорудженні засобу охорони, а також на ремонтних роботах, грн./м.

Витрати на оплату праці при споруджені засобу охорони та ремонті виробки, що охороняється, віднесені на 1 м довжини виробки

$$B_{оп} = \sum T_p \cdot T_c, \quad (3)$$

де $\Sigma T_{p.}$– трудомісткість робіт на спорудження охоронної конструкції та ремонт виробки на 1 м її довжини, люд.-змін; T_c– тарифна ставка робітників, які виконують роботи зі спорудження засобу охорони та ремонту виробки, грн./зміну.

Взагалі базовий варіант від пропонованого суттєво не відрізняється, тобто об'єм породи, що подається з прохідницького вибою, буде однаковим і без зміни в технології будуть встановлюватись стійки СКУ. Різницею буде наявність перегородок з металевої сітки, яка використовується для затягування боків виробки у прохідницькому вибої, а також зменшення обсягу ремонтних робіт, про які йшлося раніше. Зокрема, фактична різниця витрат на ремонтні роботи буде визначатися витратами перекріплення на підривку порід підошви.

Тому економічний ефект на 1 м виробки спрощено може визначатися за формулою

$$E = B_{рем} - B_{арм}, \text{ грн./м} \quad (4)$$

де $B_{рем}$– витрати на ремонт 1 м виробки, грн./м; $B_{арм}$– витрати на придбання металевої сітки та укладання у споруду, грн./м, тобто

$$B_{арм.} = B_{оп_a} + B_{мат_a}, \text{ грн./м}, \quad (5)$$

де $B_{оп\ а}$– витрати на оплату праці щодо армування 1 п.м бутової смуги, грн. м; $B_{мат\ а}$– вартість сітки на 1 п.м бутової смуги, грн./ м.

Витрати на ремонт визначаються за виразом

$$B_{рем} = B_{пд} + B_{пр}, \quad (6)$$

де $B_{пд}$– витрати на підривку шару порід підошви виробки, грн./м; $B_{пр}$– витрати на перекріплення виробки, грн./м.

Витрати на підривку визначаються виразом

$$B_{пд.} = \sum T_{р_{пд.}} \cdot T_c, \text{ грн./м}, \quad (7)$$

де $\Sigma T_{рпд.}$– трудомісткість робіт з підривки підошви (виймання та навантаження породи конвеєр) на 1 м виробки, люд.-змін; T_c– тарифна ставка робітників, які зайняті на підривці підошви, грн. / зміну;

$$\sum T_{р_{пд.}} = T_{вилуч.} + T_{навант.}; \quad (8)$$

$$T_{вилуч.} = \frac{V_{пор.}}{H_{в.вилуч.}}; \quad (9)$$

$$T_{навант.} = \frac{V_{пор.}}{H_{в.навант.}}, \quad (10)$$

де $T_{вилуч.}$, $T_{навант.}$– трудомісткості робіт, відповідно, з виймання породи та її навантаження у вагонетки на 1 м виробки, люд.-змін; $V_{пор.}$– обсяг породи, що виймається при підривці, на 1 м довжини виробки, м^3/м; $H_{в.вилуч.}$, $H_{в.навантаж.}$– норми виробітку, відповідно, на виймання 1м^3 породи та її навантаження на конвеєр, м^3/люд.-змін;

$$V_{пор.} = b \cdot \Delta h; \quad (11)$$

де b– ширина виробки у світлі після осідання, м; Δh– величина підривки підошви виробки, м.

Витрати на перекріплення виробки визначаються виразом

$$B_{пр} = \sum T_{р_{пр.}} \cdot T_c, \text{ грн./м}, \quad (12)$$

де $\Sigma T_{рпр}$– трудомісткість робіт з немеханізованого вилучення кріплення, випуск та прибирання породи, установки металевих рам кріплення, люд.-змін.

Витрати на оплату праці із закладання металевої сітки в охоронну споруду

$$B_{оп_а} = \sum T_{р_{арм.}} \cdot T_c, \text{ грн./м}, \quad (13)$$

де $\Sigma T_{р\ арм.}$– трудомісткість робіт з монтажу металевої сітки, люд.-змін

$$\sum T_{p_{арм}} = \frac{n_c \cdot H_{вр.}}{T_{зм.}}, \qquad (14)$$

де n_c– кількість сіток на 1 п.м бутової смуги; $H_{вр.}$– норма часу на монтаж, люд.-год.; $T_{зм.}$– тривалість зміни, год.

$$H_{вр.} = \frac{\left(\sum T_o + \sum T_в\right) \cdot k}{60} \qquad (15)$$

де ΣT_o– сумарний норматив часу на виконання основних операцій на одиницю роботи, люд.-хв..; $\Sigma T_в$– сумарний норматив часу на виконання допоміжних операцій на одиницю роботи, люд.-хв.; k– коефіцієнт до оперативного часу, що враховує витрати часу на підготовчо-заключні операції, особисті потреби і відпочинок робітників протягом зміни

$$k = \frac{T_{зм.} \cdot \left(1 + \frac{k'_o}{100}\right)}{T_{зм.} - T_{п.з.} - T_{л.н.}} \qquad (16)$$

де $T_{п.з}$– норматив часу на підготовчо-заключні операції, який визначається на підставі хронометричних спостережень, хв.; $T_{л.н.}$– норматив часу на особисті потреби, дорівнює 10 хв. за зміну; k'_o– нормативне значення коефіцієнта, що враховує відпочинок робітників при виконанні нормованої роботи, у відсотках від сумарного нормативу часу на основні та допоміжні операції.

Розрахунок норми часу на укладку сіток в бутову смугу за результатами хронометражних спостережень наведено в таблиці 1.

Отримаємо: $$k = \frac{360 \cdot \left(1 + \frac{12}{100}\right)}{360 - 12 - 10} = 1{,}19,$$

$$H_{вр.} = \frac{9 \cdot 1{,}19}{60} = 0{,}1785 \text{ люд.-год.},$$

$$\sum T_{p_{арм}} = \frac{16 \cdot 0{,}1785}{6} = 0{,}476 \text{ люд.-змін},$$

$$B_{оп_a} = 0{,}476 \cdot 150{,}72 = 71{,}74 \text{ грн./м}.$$

Розрахунок витрат на ремонт виробки наводиться у таблиці 2.

Вартість 16 сіток, які викладаються на 1 погонний метр засобу охорони загальною площею 8,4032 м^2 при вартості 22,04 грн./м^2 складе 185,21 грн./м.

Таблиця 1

Розрахунок норми часу на укладку сітки в бутову смугу

Найменування операцій	Нормативи часу на зміну, хв.
Підготовчо-заключні операції	
Прийом зміни. Огляд робочого місця та приведення його в безпечний стан. Підготовка до роботи та прибирання наприкінці роботи інструменту та пристосувань. Здача зміни. РАЗОМ $T_{п..э.}$	12
Норматив часу на особисті потреби ($T_{л..н.}$)	10
Норматив часу на відпочинок ($к_0$) – 12% від операційного часу ($t_o+t_в$)	8
Основні операції	
Доставка сіток до місця їх установки	2
Згинання дротів в сітці для з'єднання з сусідніми сітками	1
Укладання сітки	1
РАЗОМ (t_o)	4
Допоміжні операції	
Підготовка місця для укладання сітки	5
РАЗОМ ($t_в$)	5
РАЗОМ ($t_в$+ t_o)	9

Вартість нової рами кріплення складає 5202,75 грн./раму, тому на 1 м виробки витрати на придбання 2-ох рам складуть 10405,50 грн./м, а з міжрамними огорожами 10591,46 грн. Та враховуючи, що не все кріплення замінюється, для коефіцієнту вилучення кріплення, що дорівнює 0,4, витрати за матеріалами на перекріплення складуть 6354,88 грн./м.

Тоді з виразу (5) отримаємо

$$B_{арм.} = 71,74 + 185,21 = 256,95 \text{ грн./м},$$

а з виразів (1) та (4) економічний ефект складе

$$E = (511,54 + 6354,88) - (306,14 + 256,95) = 6303,33 \text{ грн./м}.$$

Таблиця 2

Розрахунок витрат на ремонт 1м виробки

Вид роботи	Одиниця виміру	Укрупнена комплексна норма виробітку			Обсяг робіт на 1 м виробки	Потрібна кількість людино- змін по нормі	Тарифна ставка, грн.-коп. (станом на 24.11.11 р.)	Розцінка за 1 м, грн.-коп.	Підстави для встановлення норми
		за збіркою	поправочний коефіцієнт	з врахуванням поправ. коеф.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
за базовим варіантом									
Відбійка породи відбійними молотками при підривці	$м^3$	7,7	1,0× 0,9× 0,85	5,89	1,3	0,221	133,98	29,61	ЄНВ*, §14, т. 19, п. 4д
Навантаження породи на конвеєр вручну з місця підривки	$м^3$	3,5	0,9× 0,9× 0,85	2,41	1,3	0,539	133,98	72,22	ЄНВ*, §19, т.25, п. 2е
Осадка рейкового шляху з підривкою підошви без перестилання	м	4,52	0,85	3,84	1,0	0,260	133,98	34,83	ТНВ**, §27, т.42, п. 2г
Немеханізоване вилучення кріплення	рам	1,9	0,95× 0,9	1,62	2	1,235	133,98	165,47	ЄНВ***, §2, т. 5, п. 5з
Установка металевих рам	рам	1,5	0,95× 0,9	1,28	2	1,563	133,98	209,41	ЄНВ***, §3, т. 5, п. 5з
Комплексна норма і розцінка проведення підривки	–	–	–	–	–	3,818	–	511,54	–

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
При армуванні бутової смуги									
Відбійка породи відбійними молотками при підривці	$м^3$	7,7	1,0× 0,9× 0,85	5,89	3,9	0,662	133,98	88,69	ЄНВ*, §14, т. 19, п. 4д
Навантаження породи на конвеєр вручну з місця підривки	$м^3$	3,5	0,9× 0,9× 0,85	2,41	3,9	1,245	133,98	166,81	ЄНВ*, §19, т.25, п. 2е
Осадка рейкового шляху з підривкою підошви без перестилання	м	3,11	0,85	2,644	1,0	0,378	133,98	50,64	ТНВ**, §27, т.42, п. 2д
Комплексна норма і розцінка проведення підривки	–	–	–	–	–	2,285	–	306,14	–

*- Єдині норми виробітку на гірничопідготовчі роботи для вугільних шахт– Мінпаливенерго України, Київ, 2004. – 302 с..

**- Типовые нормы выработки на горноподготовительные и транспортные работы для угольных шахт, МУП СССР, Москва, 1977. – 285 с.

***- Единые нормы выработки на ремонт горных выработок на шахтах и рудниках горнодобывающей промышленности, ЦБПНТ, 1966. – 147 с.

Виконавці НДР:

проф. каф. РРКК, д.т.н. І.Г. Сахно

доц. каф. РРКК, к.т.н. С.Г. Негрій

Експерти:

доц .каф. ЕПіУП, к.е.н. Н.О. Подлужна

доц. каф. МеМ, к.е.н. Г.С. Панченко

Начальник науково-дослідної частини ДВНЗ ДонНТУ, к.т.н. О.В. Мірошниченко

Додаток Ц

Довідки про використання результатів дисертаційної роботи

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Негрій С.Г. «Розвиток наукових основ охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід»

Засвідчую, що у відповідності з договором № 266 від 22.12.2016 р. співробітниками ДВНЗ ДонНТУ на базі ДП «Ш/У «Південнодонбаське №1» виконувалась науково-дослідна робота (НДР) на тему «Дослідження кінетики зміщень порід в підготовчих виробках для розробки заходів щодо забезпечення їх експлуатаційного безпечного стану» (№ держреєстрації 0117U004317) з метою розробки способів підтримання виробок, які ґрунтуються на управлінні кінетикою зсувів вміщуючих порід.

За результатами НДР для умов пласта c_{18} були рекомендовані ресурсозберігаючі технології охорони підготовчих виробок для повторного використання. Ці технології ґрунтуються на застосуванні обмежуючих поверхонь в конструкціях з рядової породи для забезпечення необхідного опору нависаючим породам покрівлі, зокрема, комбінованої охоронної споруди та породних опор з компенсаційними порожнинами. Форми або конструкції цих засобів охорони передбачають збільшення площі контакту з породами підошви, а за рахунок врахування кінетики зміщень бічних порід – переспрямування їх у спеціальні порожнини або вироблений простір.

Результати та рекомендації НДР та дисертаційної роботи Негрій С.Г. «Розвиток наукових основ охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, були прийняті на ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» при розробці проектної документації при плануванні гірничих робіт. Зокрема, при застосуванні комбінованої охоронної спорудиочікуваний економічний ефект складе від 1077,10 до 6452,09грн. на 1 п.м виробки (у цінах 2020 року).

Довідка дана для подання у спеціалізовану вчену раду іззахисту дисертацій.

Т.в.о. директора ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» Грачов Є.І.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з наукової роботи
ДВНЗ «ДонНТУ»
_____ С.В. Подкопаєв
«08» ГРУДНЯ 2020 р.

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Негрій С.Г. «Розвиток наукових основ охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід»

Засвідчую, що співробітниками ДВНЗ ДонНТУ на базі ОП «Шахта ім. Є.Т. Абакумова» ДП ДВЕК у період з 01.09.2009 по 24.11.2010 р. виконувалась науково-дослідна робота щодо забезпечення стійкості 8-го західного конвеєрного штреку пласта m_3.

У відповідності з листом керівництва ОП «Шахта ім. Є.Т. Абакумова» № 1594 від 01.11.2010 р. науковим колективом за участю Негрій С.Г. було розроблено рекомендації щодо варіанту проведення західного польового конвеєрного штреку та охорони 8-го західного конвеєрного штреку пласта m_3 ВП «Шахта ім. Є.Т. Абакумова» ДП ДВЕК. Зокрема, було рекомендовано для охорони 8-го західного конвеєрного штреку пласта m_3 споруджувати бутову смугу у відповідності з паспортом кріплення та управління покрівлею та для зменшення її піддатливості у конструкції використовувати обмежуючі поверхні, у якості яких запропоновані металеві сітки. Згідно рекомендацій на експериментальній ділянці 8-го західного конвеєрного штреку пласта m_3 було застосовано засіб охорони бутовою смугою з шириною 7 м, з яких 4 м від виробки армувалися трьома сітчастими перегородками по висоті споруди, а 3 м – закладалися за звичайною технологією без обмежуючих поверхонь. В результаті проведеного натурного експерименту було відзначене зменшення зміщень на контурі виробки та отримано економічний ефект, що склав 6303, 33 грн./м.

Начальник науково-дослідної частини
ДВНЗ ДонНТУ, к.т.н. О.В. Мірошниченко

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Перший проректор ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
_____ Л.Л. Бачурін
«03» 12 2020 року

ДОВІДКА

про практичне використання у навчальному процесі результатів дисертаційної роботи Негрій С.Г. «Розвиток наукових основ охорони підготовчих виробок вугільних шахт в умовах слабких бічних порід», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі «Розробка родовищ корисних копалин» ДВНЗ ДонНТУ з метою створення наукових основ охорони підготовчих виробок в умовах слабких бічних порід й обґрунтування ефективних ресурсозберігаючих засобів охорони виробок, тому її результати мають практичну цінність при підготовці фахівців за спеціальністю 184 – «Гірництво», першого (бакалаврського), другого (магістерського) та третього (аспірантура) освітніх ступенів.

Основні положення та результати досліджень Негрій С.Г. використовуються у навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України при викладанні дисциплін «Сучасні способи ефективного підвищення стійкості гірничих виробок», «Розробка родовищ корисних копалин у складних гірничо-геологічних умовах», «Охорона гірничих виробок», а також під час підготовки аспірантів.

Результати наукових і прикладних досліджень дисертаційної роботи активно використовуються здобувачами освіти при виконанні науково-дослідної роботи студентів та написанні кваліфікаційних робіт магістрів за спеціальністю 184- «Гірництво» спеціалізацій «Розробка родовищ та видобування корисних копалин» та «Охорона праці в гірництві»

Декан гірничого факультету
к.т.н., доц. А.В. Мерзлікін

Начальник навчально-
методичного відділу, к.е.н., доц. Г.С. Панченко

Додаток Ш

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації:

Публікації у фахових виданнях:

1. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Хазипов И.В. Лабораторные испытания опорных породных конструкций, сооружаемых с использованием гибких разделительных прокладок. Физико-технические проблемы горного производства. 2007. Вип. 10. С. 106-111.

2. **Негрій С.Г.**, Сахно І.Г., Мокрієнко В.М. Дослідження механізму передачі навантаження на кріплення виробки від фронту руйнування порід. Вісті Донецького гірничого інституту. 2008. №2. С. 13-18.

3. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Александров С.Н., Мокриенко В.Н., Курдюмов Д.Н. Обоснование возможности применения метода конечных элементов при расчете напряженно-деформированного состояния дискретизированных пород. Вісті Донецького гірничого інституту. 2010. № 2. С. 138-143.

4. **Негрей С.Г.** О возможности увеличения несущей способности бутовых полос. Вісті Донецького гірничого інституту. 2011. №1. С. 179-184.

5. Касьян Н.Н., **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н., Касьяненко А.Л. Новый подход к методике выбора способов охраны выемочных выработок глубоких шахт. Вісті Донецького гірничого інституту. 2012. №1(30)-2(31). С. 165-172.

6. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А., Курдюмов Д.Н. Поддержание выемочных выработок для обеспечения их эксплуатационного и безаварийного состояния. Вісті Донецького гірничого інституту. 2013. №1(32). С. 218-225.

7. **Негрей С.Г.** Усовершенствование технологии охраны подготовительных выработок породными стойками. Вісті Донецького гірничого інституту. 2014. №1(34)-2(35). С. 181-186.

8. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А., Конопелько Е.И. Установление норм выработки при возведении охранных конструкций на концевых участках лав.

Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. 2016. Вип. 2(18). С. 73-81 (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

9. **Негрей С.Г.** О возможности создания устойчивых породных опор для обеспечения эксплуатационного состояния подготовительных выработок. Вісник НТУУ «КПІ» Сер. «Гірництво». 2017. №33. С. 21-30 (https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.33.98824).

10. Негрій Т.О., **Негрій С.Г.**, Ріхерт С.В. Про вплив енергетичних витрат гірників на рівень виробничого травматизму. Вісник Криворізького національного університету. 2017. Вип. 44. С. 78-83 (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

11. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А. Определение параметров породной полосы с ограниченной податливостью. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Вип. 1/2017 (102). С. 50-57 (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

12. **Негрей С.Г.**, Сахно И.Г., Негрей Т.А., Коломиец В.А. Установление зон активных обрушений пород непосредственной кровли на концевых участках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №1(40). С. 5-18.

13. Негрій Т.О., Сахно І.Г., **Негрій С.Г.** Вплив енерговитрат шахтарів на рівень безпеки праці. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях». 2017. Вип. 7 (1229). С. 81-90. (https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.07.11) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

14. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О. Умови застосування трапецієподібних охоронних споруд. Вісті Донецького гірничого інституту. 2017. №2 (41). С. 7-18. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-2-7-18).

15. **Nehrii S.**, Sakhno S., Sakhno I., Nehrii T. Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings. Mining of Mineral Deposits, 2018. Vol. 12 (2018), Issue 4. P. 115-123. (https://doi.org/10.15407/mining12.04.115). (*Наукометрична база* ***Scopus, WoS***).

16. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О., Волков С.В. Безпека ведення робіт на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №1 (42). С. 31-38. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-1-31-38).

17. Негрій Т.О., **Негрій С.Г.** Прогнозування зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав. Вісті Донецького гірничого інституту. 2018. №2 (43). С. 57-68. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-2-57-68).

18. **Негрій С.Г.** Визначення зміщень порід покрівлі в зоні впливу очисних робіт позаду лави. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №1 (44). С. 41-52. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-41-52) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

19. **Негрій С.Г.**, Живогляд С.К., Негрій Т.О. Спостереження за станом виробок при суцільній системі розробки. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. №2 (45). С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

20. **Негрій С.Г.**, Єфремов І.О., Негрій Т.О. Визначення навантажень на засоби охорони в зоні впливу очисних вибоїв. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №1 (46). С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-16-27) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

21. **Негрій С.Г.** Дослідження особливостей процесу передачі навантажень в конструкції з рядової породи. Технічна інженерія. 2020. № 2 (86). С. 171-178. (https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-171-178) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

22. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О., Єфремов І.О. Визначення параметрів окремо розташованих породних опор з компенсаційними порожнинами. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. №2 (47). С. 58-71. (https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-58-71) (*Наукометрична база* ***Index Copernicus***).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

23. **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н. Об особенностях пучения пород почвы выемочных выработок в условиях m_3 шахты им. В.М. Бажанова. Проблеми гірничої

технології: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ: КІІ ДонНТУ, 2008. С. 97-102.

24. Сахно И.Г., **Негрей С.Г.**, Лызенко А.А. Новый подход к анализу напряженно-деформированного состояния разрушенных горных пород. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: материалы междунар. научно-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых. Донецк: ДонНТУ, 2008. Вып.14. С.117-119.

25. Касьян Н.Н., **Негрій С.Г.**, Мокриенко В.Н. Исследование проявлений горного давления в условиях выемочных выработок пласта m_3 шахты «Щегловская-Глубокая». Проблеми гірничої технології: матеріали регіон. наук.-практ. конф. Красноармійськ: КІІ ДонНТУ, 2010. С. 34-38.

26. **Негрей С.Г.**, Мокриенко В.Н. , Курдюмов Д.Н. Выбор метода моделирования проявления горного давления в выработке, охраняемой жесткими опорами. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецк: ДВНЗ ДонНТУ, 2010. Вып.16. С. 93-95.

27. Курдюмов Д.Н., **Негрей С.Г.** Разработка новой ресурсосберегающей технологии охраны горных выработок. Проблемы недропользования: международ. форум-конкурс молодых ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПГУ, 2011. Ч.1. С. 145-147.

28. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Мокриенко В.Н., Климов Д.Н. К вопросу выбора метода исследования распределений напряжений вокруг подготовительной выработки. Перспективи освоєння підземного простору: матеріали 5-ої міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, асп. і студ. Дніпропетровськ: НГУ, 2011. С. 17-20.

29. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Мокриенко В.Н. Использование визуализации траекторий смещений при изучении деформаций горных пород с применением методики PLAXIS. Materiali VI Krakowskiej konferencij mlodych uchonych. Krakow, 2011. С. 353-357.

30. **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Кремень И.В. Лабораторные исследования несущей способности армированных породных опор. Донбас-2020: Наука і техніка – виробництву: матеріали VI-ої наук.-практ. конф. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2012. С. 86-90.

31. **Негрей С.Г.**, Кремень И.В. Повышение несущей способности породных стоек за счет изменения компрессионных показателей сыпучего материала. Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. научн. трудов. Донецк: ДВНЗ ДонНТУ, 2013. Вып.19. С. 44-47.

32. Тупицын А.В., **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н., Негрей Т.А. Проблемы поддержания подготовительных выработок в условиях шахты «Комсомолец Донбасса». Проблемы недропользования: междунар. форум-конкурс молод. ученых. Сб. науч. трудов. СПб: СПГУ, 2014. Ч.1. С. 177-179.

33. **Негрей С.Г.**, Негрей Т.А. Обоснование возможности применения жестких охранных сооружений в условиях слабых подстилающих пород. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали ІІІ-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Красноармійськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2015. С. 106-115.

34. **Негрей С.Г.**, Петренко А.В. Изучение механизма деформирования обособленных породных опор. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали IV-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2016. С. 86-91.

35. **Негрей С.Г.**, Рихерт С.В. Определение параметров жестких охранных сооружений в условиях слабых вмещающих пород. Перспективы развития строительных технологий: материалы конф. Дніпропетровськ: НГУ, 2016. С. 96-100.

36. **Негрей С.Г.** Разработка эффективных ресурсозберегающих средств охраны подготовительных выработок. Інноваційний розвиток гірничовидобувної галузі. Тези доп. на Міжнародній наук.- техн. Інтернет-конференції. Кривий Ріг, 2016. С. 114.

37. **Негрей С.Г.** Лабораторные исследования по установлению эффективности жестких охранных сооружений в условиях слабых пород почвы.

Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДонНТУ, 2017. С. 40-44.

38. **Nehrii S.**, Nehrii T., Piskurska H. Physical simulation of integrated protective structures. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2018. Vol. 60. 00038 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000038) (*Наукометрична база* ***Scopus***).

39. **Негрій С.Г.**, Киященко Р.С., Мокрий В.Г., Гіжа М.П. Пошук заходів щодо забезпечення стійкості слабких порід при використанні жорстких охоронних споруд. Технології і процеси у гірництві та будівництві: зб. наук. праць. Покровськ: ДонНТУ, 2018. С. 22-28.

40. **Nehrii, S.**, Nehrii T., Bachurin L., Piskurska H. Problems of mining the prospective coal-bearing areas in Donbas. E3S Web Conf. Ukrainian School of Mining Engineering, 2019. Vol. 123. 01011 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301011) (*Наукометрична база* ***Scopus***).

41. **Негрій С.Г.**, Негрій О.С. Проблеми підтримання підготовчих виробок при суцільній системі розробки. Scientific achievements of modern society: the 4th International scientific and practical conference, Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom, 2019. P. 710-715.

42. **Негрій С.** Визначення пріоритетів розробки засобів охорони підготовчих виробок. Українська школа гірничої інженерії: Тези доп. на XIII міжнародній наук.-практичній конференції (Бердянськ, 03-07.09.19р.), Дніпро, 2019. С. 69-70.

43. **Nehrii S.**, Nehrii T., Kultaev S., Zolotarova O. Providing resistance of protection means on the soft adjoining rocks. E3S Web Conf. II International Conference Essays of Mining Science and Practice, 2020. Vol. 168. 00033 (https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800033) (*Наукометрична база* ***Scopus***).

44. **Негрій С.Г.**, Негрій О.С. Встановлення ефективних конструкцій засобів охорони виробок у складних гірничо-геологічних умовах. Технології і процеси у гірництві та будівництві: матеріали VIII-ої міжнарод. наук.-техн. конф. Покровськ: ДонНТУ, 2020. С. 30-36.

Патенти:

45. Пат. вин. № 94327, МПК(2011.01) E21D 11/00 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01). Спосіб охорони гірничих виробок / М.М. Касьян, **С.Г. Негрій**, В.М. Мокрієнко, І.В. Хазіпов (Україна). – a200911242; заявл. 05.11.2009, опубл. 26.04.2011, бюл. № 8. – 3 с.: іл.

46. Пат. к.м. № 54012, МПК(2011.01) E21D 15/00. Спосіб охорони підготовчих виробок / М.М. Касьян, Е.П. Фельдман, І.В. Хазіпов, **С.Г. Негрій**, В.М. Мокрієнко (Україна). – u201004634; заявл. 19.04.2010, опубл. 25.10.2010, бюл. № 20 – 2 с.: іл.

47. Пат. к.м. № 137375, МПК(2019.01) E21D 11/00, E21F 15/00. Спосіб охорони гірничих виробок / **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, В.О. Коломієць, І.В. Іорданов (Україна). –a201700437; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.10.2019, бюл. № 20 – 4 с.: іл.

48. Пат. к.м. № 142589, МПК(2020.01) E21D 11/00, E21F 15/00. Спосіб охорони гірничих виробок/ **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, В.О. Коломієць, І.В. Іорданов (Україна). –a201700436; заявл. 17.01.2017, опубл. 25.06.2020, бюл. № 12 – 5 с.: іл.

49. Пат. к.м. № 144773, МПК E21D 11/14 (2006.01). Спосіб підвищення стійкості порід підошви під засобом охорони / **С.Г. Негрій**, Т.О. Негрій, О.С. Негрій (Україна). –u202002868; заявл. 12.05.2020, опубл. 26.10.2020. бюл. №20 – 4 с.: іл.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

50. Мокриенко В.Н., **Негрей С.Г.**, Курдюмов Д.Н. Изучение влияния формы охранного сооружения, возводимого вслед за лавой, на механизм смещений подстилающих его пород. Записки Горного института. 2012. Т.199. С. 176-179.

51. **Негрей С.Г.** Определение параметров комбинированного охранного сооружения из рядовой породы. Вісті Донецького гірничого інституту. 2015. №1(36)-2(37). С. 23-32.

52. **Негрей С.Г.** Исследование напряженно-деформированного состояния бутовых опор. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №1(38). С. 9-16.

53. **Негрей С.Г.** Испытания породных полос с ограниченной податливостью. Вісті Донецького гірничого інституту. 2016. №2(39). С. 54-60.

54. **Негрій С.Г.**, Негрій Т.О. Дослідження особливостей поведінки слабких бічних порід навколо засобів охорони. Науковий вісник ДонНТУ. 2019. №1-2. С. 16-27. (https://doi.org/10.31474/2415-7902-2019-1(2)-2(3)-54-79).