

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА
АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОГТЄВА ОЛЬГА ПАВЛІВНА

УДК :351.785(699.852):622.8
(індекс)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ОБОРОННО-
ПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ У ВИКОРИСТАНИХ ШАХТАХ ТА
РОЗРОБКАХ**

263 Цивільна безпека

26 Цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання чужих ідей,
результатів і текстів мають посилання на відповідне джерело

Когтєва О.П.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник – Беліков А.С., доктор технічних наук, професор, завідувач
кафедри безпеки життєдіяльності Придніпровської державної академії
будівництва та архітектури

Дніпро - 2023

АНОТАЦІЯ

Когтєва О.П. Забезпечення безпеки при будівництві оборонно-промислових комплексів у використаних шахтах та розробках.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 Цивільна безпека. – Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, 2023.

Дисертацію присвячено забезпеченню безпеки при будівництві та експлуатації підземних споруд в існуючих гірничих виробках вугільних шахт з урахуванням ризик-орієнтованого підходу оцінки небезпечних факторів праці.

Події останнього часу в Україні диктують нові напрямки і сфери досліджень. Безпека людини – право, що гарантоване Конституцією України та іншими законодавчими актами і документами. Воєнні дії на території держави спонукають до ще більшої уваги щодо безпеки не тільки у виробництві, а й у буденному житті кожної людини. В світі давно виник інтерес до підземного будівництва з різних причин. Одна з них – безпечність існування людини в період техногенних або інших подій. Таким безпечним простором може бути підземний простір, підземне будівництво. Але окрім загроз техногенного та іншого характеру необхідна впевненість у безпечному стані при будівництві та експлуатації підземної споруди. В роботі вперше представлена методика ризик-орієнтованого підходу щодо контролю за станом підземного об'єкта на прикладі виробки в умовах стандартного сценарію перебігу подій і в стані граничних умов під впливом динамічних сил ззовні, що необхідна для виявлення та попередження небезпечних ситуацій при роботі працівників при повторному використанні виробок, що призначені для розміщення в них воєнно-промислових об'єктів. Визначені строки використання та запропоновані відповідні рекомендації щодо моніторингу та використання підземного простору.

Сумісно з ІГТМ НАНУ за безпосередньої участі автора була розроблена і затверджені методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд з метою забезпечення безпечної роботи і безпечного використання підземного простору в якості оборонно-промислового об'єкта.

У **вступі** наведено актуальність теми, мету дослідження, наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача та апробацію результатів досліджень.

У **першому розділі** проведено аналіз травматизму при охороні підземних виробок. Визначено, що в наслідок нарощування темпів видобутку та збільшення глибини видобутку є проблема використання виробок в якості підземних споруд. Тому забезпечення безпеки при будівництві промислових об'єктів у виробках шахт є актуальною задачею, набуло більшого значення використання виробок шахт в якості підземних споруд. Проаналізовано різні види підземного будівництва, в тому числі світовий досвід використання підземного будівництва оборонно-промислового комплексу для забезпечення національної безпеки України. З'ясовано можливість використання існуючих підземних споруд в цьому напрямку. На основі проведеного аналізу було сформульовано мету та задачі дослідження.

У **другому розділі** визначено, що для встановлення повної картини процесів, що відбуваються при деформаціях підземних кріплень споруд (виробок), необхідні інженерні дослідження, що надають більш повну інформацію щодо параметрів механічних властивостей, напружено-деформованого стану масиву, стану кріплення. Описано методику проведення експериментальних досліджень для визначених умов. Проведений порівняльний аналіз стану пісковика у сухому і вологому стані: значення межі міцності на стиснення зменшується у 2 рази, модуль пружності – у 4 рази, коефіцієнт поперечної деформації збільшується у 2,3 рази. Зроблені відповідні

висновки щодо стійкості гірських порід в різних умовах, проаналізовано характер змін фізико-механічних властивостей порід за різних умов, розроблені і запатентовані пристрої для випробувань порід на в'язкість руйнування та для випробування гірських порід на тріщиностійкість, встановлені закономірності запропоновано застосовувати в подальшому для визначення ризиків втрати стійкості при оцінці безпеки експлуатації підземних споруд при використанні їх для розміщення воєнних об'єктів.

У **третьому розділі** наведені результати натурних досліджень. Проаналізовано конкретні умови, структура пласта, характеристика його складників. Проаналізовані результати натурних досліджень, встановлені залежності.

Проведена оцінка ризиків втрати стійкості підземної виробки за результатами натурних спостережень, проведена статистична обробка даних, розрахована похибка є меншою за 20%, встановлені залежності, які носять лінійний характер, розраховані коефіцієнти кореляції, які мають значення 76...95. На основі проведених досліджень проведено обґрунтування та розробка методики визначення можливих ризиків втрати стійкості підземних виробок, що дозволяють запропонувати профілактичні заходи по забезпеченню безпечного подальшого використання виробок в часі.

У **четвертому розділі** проведена оцінка геомеханічного стану гірських порід і стійкості підземного об'єкта на прикладі виробки. Обґрунтовано використання стандартних відхилень і коефіцієнтів варіації фізико-механічних властивостей порід для визначення ризиків втрати стійкості виробки, проведено моделювання напружено-деформованого стану породного масиву методом кінцевих елементів і оцінка стійкості підземних виробок для повторного їх використання в оборонно-промислових цілях. На основі проведених досліджень і моделювання підземного об'єкту визначені закономірності найбільш вірогідного стану підземних виробок з урахуванням зовнішнього впливу окрім гірничого тиску масиву, безпечний стан та можливість подальшої

експлуатації виробки в якості воєнно-промислового об'єкта. Надані розроблені методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд.

Ключові слова: безпека праці, підземне будівництво, статистичні методи, середнє квадратичне значення, метод кінцевих елементів, виробка, навантаження, стійкість гірських порід, охоронні споруди, деформації, межа міцності, деформування, підвищення рівня безпеки.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, які відображають основні результати дисертації

1. Ляшок Я.О., Сергієнко О.І., Куцерубов В.М., Когтева О.П., Сергієнко Л.В. Вплив вологи на фізико-механічні властивості пісковика (ВП «Шахта «Капітальна»», Донбас). *Науковий вісник Національного гірничого університету*, 2020, №2, с.11-17. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).

2. Сергієнко О.І., Когтева О.П., Уваров М.О. Чисельне моделювання в'язко-пружних деформацій однорідного масиву навколо одиночної виробки. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. Том 31 (70) № 3, 2020. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).

3. Бачурін Л.Л., Іорданов І.В., Когтева О.П., Подкопаєв Є.С., Єфремов О.І., Король А.В., Григорець М.О. Експериментальні дослідження деформаційних характеристик охоронних споруд гірничих виробок. *Вісті донецького гірничого інституту*. №2 (47), 2020, с.7-22. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).

4. Когтева О.П., Уваров М.О. Дослідження процесу тріщиноутворення зразків пісковика при трьох точковому вигині в лабораторних умовах. *Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді: матеріали міжнародної науково-*

практичної конференції, 28 квітня 2021 року. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. 216 с. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).

5. Сергієнко О.І., Когтєва О.П., Куцерубов В.М. Лабораторні дослідження руйнуючих напружень при зсуві з стисненням. *Науковий вісник ДонНТУ*. №1(6)-2(7), 2021. с.123-130. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).

6. Когтєва О.П., Сергієнко О.І., Мітіна Н.Б., Беліков А.С. Методика спостережень при веденні робіт в умовах деформації арочного кріплення для удосконалення безпеки працівників. *Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. (Технічні науки)*. Вип.45. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2022. 120–125с. (Особистий внесок – проведено дослідження; обробка отриманих даних).

7. Беліков А.С., Слащова О.А., Когтєва О.П., Яланський О.А. Особливості визначення ризиків і контролю втрати стійкості підземних виробок в умовах мінливості властивостей гірських порід. Зб. наук. праць. Серія: Безпека життєдіяльності. Дніпро, ПДАБА. № 5 (вересень–жовтень) 2023 р.

8. Пат.№ 148712 Україна, МПК G01N 3/24. Пристрій для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві / Заявл. 09.04.2021; опубл. 08.09.2021, Бюл.№36 -5с.

9. Пат.№ 148200 Україна, МПК G01N 3/00. Пристрій для випробування гірських порід на тріщиностійкість / Заявл. 31.03.2021; опубл. 14.07.2021, Бюл.№28 -5с.

ABSTRACT

Kohtieva O.P. Ensuring safety in the construction of defence and industrial complexes in disused mines and workings.

Thesis for a PhD Degree, Major 263: - 'Civil Security'. – Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, 2023.

The thesis is devoted to ensuring safety during the construction and operation of underground structures in existing coal mine workings, taking into account the risk-based approach to assessing occupational hazards.

Recent events in Ukraine dictate new directions and areas of research. Human security is a right guaranteed by the Constitution of Ukraine and other legislative acts and documents. Military operations on the territory of the state prompt even greater attention to safety not only in production, but also in the everyday life of every person. The world has long been interested in underground construction for various reasons. One of them is the safety of human existence during man-made or other events. Underground space and underground construction can be such a safe space. However, in addition to threats of anthropogenic and other nature, it is necessary to be confident in the safe condition during the construction and operation of an underground structure. This paper presents for the first time a methodology of a risk-based approach to monitoring the condition of an underground facility on the example of a workings under a standart scenario of events and in the state of boundary conditions under the influence of dynamic forces from the outside, which is necessary to identify and prevent dangerous situations during the work of employees when reusing workings intended for the placement of military-industrial facilities in them. The terms of use are determined and appropriate recommendations for monitoring and using the underground space are proposed.

Together with the Institute of Geotechnical Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, with the direct participation of the author, methodological recommendations were developed and approved for determining risks and assessing the risk of loss of stability of underground workings intended for the placement of industrial and defence facilities in order to ensure safe operation and safe use of underground space as a defence and industrial facility.

The introduction describes the relevance of the topic, the purpose of the study, scientific novelty, practical significance of the results, the personal contribution of the applicant and testing of the research results.

The **first** chapter analyses injuries during the protection of underground workings. It is determined that due to the increase in the rate of production and the depth of mining, there is a problem of using workings as underground structures. Therefore, ensuring safety in the construction of industrial facilities in mine workings is an urgent task, and the use of mine workings as underground structures has become increasingly important. The article analyses various types of underground construction, including the world experience of using underground construction of the defence industry to ensure the national security of Ukraine. The possibility of using existing underground structures in this direction is determined. Based on the analysis, the purpose and objectives of the study were formulated.

The **second** section determines that in order to establish a complete picture of the processes occurring during deformation of underground supports of structures (workings), engineering studies are needed to provide more complete information on the parameters of mechanical properties, stress-strain state of the massif, and state of the support. The methodology for conducting experimental studies for certain conditions is described. A comparative analysis of the state of sandstone in dry and wet conditions is carried out: the value of the compressive strength decreases by 2 times, the elastic modulus - by 4 times, the transverse deformation coefficient increases by 2.3 times. Relevant conclusions were made about the stability of rocks under different conditions, the nature of changes in the physical and mechanical properties of rocks under different conditions was analysed, devices for testing rocks for fracture toughness and for testing rocks for crack resistance were developed and patented, and the established regularities were proposed to be used in the future to determine the risks of stability loss when assessing the safety of underground structures when used to accommodate military facilities.

The **third** section presents the results of field studies. Specific conditions, reservoir structure and characteristics of its components are analysed. The results of the field studies were analysed and dependencies were established.

The risks of loss of stability of the underground workings were assessed based on the results of field observations, statistical data processing was carried out, the calculated error is less than 20%, linear dependencies were established, and correlation coefficients were calculated, which have values of 76...95. On the basis of the conducted research, a substantiation and development of a methodology for determining the possible risks of loss of stability of underground workings were carried out, which allow to propose preventive measures to ensure the safe further use of workings in time.

Chapter **fourth** assesses the geomechanical state of rocks and the stability of an underground facility using the example of a working face. The use of standard deviations and coefficients of variation of physical and mechanical properties of rocks to determine the risks of loss of stability of a mine workings is substantiated, the stress-strain state of the rock mass is modelled by the finite element method, and the stability of underground workings for their reuse in defence and industrial purposes is assessed. On the basis of the conducted research and modelling of the underground facility, the regularities of the most probable state of underground workings, taking into account external influences other than rock pressure, the safe condition and the possibility of further operation of the workings as a military-industrial facility, were determined. The article provides developed methodological recommendations for determining risks and assessing the danger of loss of stability of underground workings intended for the placement of industrial and defence facilities.

Key words: labour safety, underground construction, statistical methods, mean square value, finite element method, working space, stress, rock stability, safety structures, deformation, tensile strength, safety improvement.

References

1. Liashok, Y. O., Serhienko, O. I., Kutserubov, V. M., Kohtieva, O. P., & Serhienko, L. V. (2020). The influence of the moisture on the physical and mechanical properties of the sandstone (separate unit "kapitalna" coal mine",

donbas). *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2020 (2), 11-16.
doi:10.33271/nvngu/2020-2/011

2. Serhienko O.I., Kohtieva O.P., Uvarov M.O. NUMERICAL MODELING OF VISCO-ELASTIC DEFORMATION OF A HOMOGENEOUS MASSIF AROUND OF A SINGLE WORKING SPACE. *Naukovyi zhurnal "Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky"*. Tom 31 (70) № 3, 2020.

3. Bachurin L., Iordanov I., Kohtieva O., Podkopayev Y., Yefremov O., Korol A., Hryhorets M. Experimental studies of deformation characteristics of mine protection structures. *Visti donetskoho hirnychoho instytutu*. №2 (47), 2020, s. 7-22.

4. Kohtieva O.P., Uvarov M.O. Doslidzhennia protsesu trishchynoutvorennia zrazkiv piskovyku pry trokh tochkovomu vyhyni v laboratornykh umovakh. *Naukovi dosiahnennia ta vidkryttia suchasnoi molodi: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, 28 kvitnia 2021 roku. Pokrovsk: DVNZ "DonNTU", 2021. 216 s.

5. Serhienko, O., Kohtieva, O., & Kutserubov, V. (2021). LABORATORY INVESTIGATIONS OF DESTRUCTIVE STRESSES DURING COMPRESSION SHEAR. *Naukovyi Visnyk Donetskoho Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu*, 1(6)(2(7)), 123–130. [https://doi.org/10.31474/2415-7902-2021-1\(6\)-2\(7\)-123-130](https://doi.org/10.31474/2415-7902-2021-1(6)-2(7)-123-130).

6. Kohtieva, O., Serhienko, O., Mitina N., Belikov A. Metodyka sposterezhen pry vedenni robit v umovakh deformatsii arochnoho kriplennia dlia udoskonalennia bezpeky pratsivnykiv. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu: zb.nauk.prats. (Tekhnichni nauky)*. Vyp. 45. – Mariupol: DVNZ "Pryazov. Derzh. Tekhn. Un-t", 2022. 120-125 s.

7. Belikov, A., Slashchova, O., Kohtieva, O., Yalanskyi, O. Osoblyvosti vyznachennia ryzykiv i kontroliu vtraty stiikosti pidzemnykh vyrobok v umovakh minlyvosti vlastyvostei hirskykh pored. *Zb. nauk. prats. Serii: Bezpeka zhyttedialnosti. Dnipro, PDABA*.

8. Pat.№ 148712 Ukraina, MPK G01N 3/24. Prystrii dlia vyprobuvannia hirskykh porid na viazkist ruinuvannia pry poperechnomu zsuvi / Zaiavl. 09.04.2021; opubl. 08.09.2021, Biul.№36 -5s.

9. Pat.№ 148200 Ukraina, MIIK G01N 3/00. Prystrii dlia vyprobuvannia hirskykh porid na trishchynostiikist / Zaiavl. 31.03.2021; opubl. 14.07.2021, Biul.№28 -5s.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	14
ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ОБОРОННИХ КОМПЛЕКСІВ ПРИ РОЗМІЩЕНІ В ШАХТАХ І ВИРОБ	22
1.1 Аналіз стану нещасних випадків на виробництвах в Україні	22
1.2 Світовий досвід розміщення оборонних комплексів в підземних спорудах	27
1.3 Сучасні цивільно-оборонні підземні об'єкти	31
1.4 Принципи підземного будівництва	39
Висновки до розділу 1	43
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
2.1 Методика проведення експериментальних досліджень	45
2.1.1 Проведення експериментальних досліджень	56
2.2 Методика проведення натурних досліджень	63
Висновки до розділу 2	65
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РИЗИКУ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК З УРАХУВАННЯМ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	68
3.1 Проведення натурних досліджень у підземних виробках	68
3.2 Результати натурних досліджень деформаційних процесів в підземній виробці	75
3.3 Ідентифікація ризиків втрати стійкості підземної виробки за результатами натурних спостережень	84
Висновки до розділу 3	94

РОЗДІЛ 4. ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БІЧНИХ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК	96
4.1 Особливості оцінки геомеханічного стану гірських порід і стійкості підземних оборонно-промислових об'єктів при визначенні безпечної їх експлуатації в виробках	96
4.2 Обґрунтування використання стандартних відхилень і коефіцієнтів варіації фізико-механічних властивостей порід для визначення ризиків втрати стійкості підземних об'єктів	102
4.3 Моделювання напружено-деформованого стану породного масиву методом кінцевих елементів	107
4.4 Оцінка стійкості підземних виробок для розміщення оборонно-промислових об'єктів	110
4.5 Використання результатів моделювання для визначення ризиків втрати стійкості підземних промислових об'єктів	124
4.6 Розробка методики оцінки ризиків втрати стійкості	129
Висновки до розділу 4	133
ВИСНОВКИ	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	138
ДОДАТОК А	151
ДОДАТОК Б	153
ДОДАТОК В	156
ДОДАТОК Г	158

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ОПК – оборонно-промисловий комплекс;
- ГАЕС – гідроакumuлююча електростанція;
- ГЕС – гідро електростанція;
- ТЕС – тепло електростанція;
- АЕС – атомна електростанція;
- ВСП – виробничий структурний підрозділ;
- ШУ – шахтоуправління;
- ПАТ – публічне акціонерне товариство;
- МКЕ – метод кінцевих елементів

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Проведений аналіз ситуації у вугільній промисловості в Україні показав, що за останні роки погіршилась ситуація із вуглевидобутком та забезпеченням безпеки робіт у вугільних шахтах. Таке становище призводить до закриття вугільних шахт. Воєнні дії на території України та зарубіжний досвід будівництва воєнних об'єктів, ставлять перед країною питання забезпечити надійне укриття об'єктів воєнного призначення. Безпечні місця не тільки в якості сховищ для людей, а і безпечне виробництво і все що з ним пов'язане – транспортні системи, сховища для паливно-мастильних матеріалів, складські приміщення тощо.

За словами міністра оборони України Олексія Резнікова, враховуючи воєнний стан нашої країни, необхідно переглянути розміщення воєнних об'єктів в підземних виробках використаних шахт, соляних розробок. Вони можуть створити систему захисту для виробництв шляхом перенесення виробництв під захист земної товщі. Перевагою від наземних складів є те, що підземна порода затримує тиск вибуху і осколки, що є домінуючим фактором небезпеки в боєприпасах.

Враховуючи світовий досвід використання підземного простору для безпечного розташування промислових потужностей та об'єктів оборонного комплексу виникла необхідність проаналізувати та оцінити стан і можливості підземних об'єктів на прикладі виробок, що можуть бути використані повторно для такої потреби з урахуванням надійності і безпеки їх експлуатації.

Тому, проведення досліджень фізико-механічних характеристик гірських порід та обґрунтування стійкості виробок щодо визначення можливих ризиків втрати стійкості, що призводить до руйнування і обвалень у виробках є актуальною задачею, спрямованою на забезпечення безпеки при розміщенні у виробках оборонно-промислових об'єктів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з Загальнодержавною соціальною програмою поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки, затвердженою Законом України від 4 квітня 2013 року №178-VII, концепцією реформування системи управління охороною праці в Україні, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 року №989-р, Указом Президента України Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року, виданий 30 вересня 2019 року №722/2019, планом науково-дослідної роботи: «Дослідження впливу зміни фізико-механічних властивостей гірських порід на формування напружено-деформованого стану підроблюємого масиву і розробка ефективного способу управління покрівлею в очисних вибоях» (номер державної реєстрації № Н-4-16, етапи виконання 2017-2021рр., рівень участі здобувача - виконавець)

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи - забезпечення безпеки при використанні виробок вугільних шахт в якості оборонно-промислового комплексу на основі натурних, експериментальних досліджень і моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні наукові та прикладні завдання.

1. Провести аналіз світового досвіду і перспективи використання підземного простору вугільних шахт для розміщення оборонно-промислових комплексів та цивільно-оборонних підземних об'єктів.

2. Провести експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей гірських порід для встановлення закономірностей змін параметрів, натурні дослідження стійкості кріплень виробки для подальшого моделювання і оцінки ризиків щодо безпечного використання підземного об'єкту в воєнно-промислових цілях.

3. За результатами проведених досліджень (експериментальних і натурних) скласти оцінку втрати стійкості підземної виробки, визначити рівень

ризиків ймовірних руйнувань для забезпечення безпеки праці робітників і підтримання робочого простору у задовільних умовах.

4. Провести чисельні дослідження напружено-деформованого стану бічних порід навколо виробки та обґрунтування відхилень і коефіцієнтів варіації фізико-механічних властивостей порід, провести моделювання методом кінцевих елементів для подальшої оцінки стійкості підземних виробок, які використовуються для забезпечення безпеки в особливі часи або у воєнні часи.

5. Встановити закономірності інтенсивності деформування капітальної виробки і виробки в період усталених зрушень, що дозволить з врахуванням розкиду параметрів, забезпечити безпечний строк експлуатації виробки.

6. Розробити методика оцінки ризиків втрати стійкості виробок, з врахуванням фізико-механічних характеристик гірських порід з метою збереження безпечності робочого середовища.

7. Провести промислове впровадження отриманих результатів на виробництві.

Об'єкт дослідження: процеси виникнення напружено-деформованого стану, виникнення небезпек в результаті втрати стійкості виробки як джерела ризику руйнувань при експлуатації використаних шахтних розробок для розміщення об'єктів воєнно-промислового значення.

Предмет дослідження: закономірності впливу фізико-механічних властивостей гірських порід на стійкість виробки, як чинники небезпеки при використанні підземного об'єкта для воєнно-промислових цілей.

Методи дослідження.

При виконанні дисертаційних досліджень використовувались методи статичного аналізу, комплексний метод, який включає аналіз існуючих літературних джерел і узагальнення науково-технічних досягнень. В дослідженнях використовувались відомі методи лабораторних випробувань, натурних досліджень; методи системного, структурного, функціонального і

математичного аналізу; для оцінки ризиків – теорія ймовірності та математичної статистики із застосуванням сучасних інформаційних систем і обчислювальних комплексів; моделювання методом кінцевих елементів за допомогою обчислювального комплексу.

Наукова новизна отриманих результатів.

В роботі вирішена важлива науково-технічна задача в області цивільної безпеки. Вперше запропоновано використання розкиду параметрів за їх стандартним відхиленням при ідентифікації ризику втрати стійкості підземної виробки та запропонована можливість забезпечення безпеки при використанні вугільних шахт і виробок в якості будівництва оборонно-промислового комплексу на основі натурних, експериментальних досліджень і моделювання. На основі оцінки стану гірських порід і стійкості виробок визначені ризики втрати стійкості підземних споруд, що дозволяє прогнозувати безпеку використання підземних виробок для розміщення воєнно-промислових об'єктів.

В процесі виконання роботи вперше отримано:

- встановлені закономірності зміни межі міцності, модуля пружності, коефіцієнта поперечної деформації, змін питомої потенційної енергії зміни об'єму і форми від величини стискаючих сил, нормальних напружень і дотичних напружень від кута нахилу зразка, залежність дотичних від нормальних напружень;
- встановлена закономірність залежності межі міцності на стиснення від вологості, отримана залежність модуля пружності та коефіцієнта поперечної деформації від вологості;
- проведено обґрунтування та розробка методики визначення можливих ризиків втрати стійкості підземних виробок, що дозволяють запропонувати профілактичні заходи по забезпеченню безпечного подальшого використання виробок в часі;

- вперше проведено обґрунтування використання відхилень і коефіцієнтів варіації для проведення моделювання напружено-деформованого стану гірських порід на основі методу кінцевих елементів;
- вперше запропоновано процедура імітаційного алгоритму, змодельовані ситуації найбільш вірогідного сценарію подій і критичного, для визначення зон ризиків втрати стійкості і можливості їх усунення;
- встановлені закономірності зміщення покрівлі та здимання підосви підземної виробки в умовах впливу динамічних опорних тисків при найбільш вірогідному сценарії її деформування і за умов впливу динамічних опорних тисків, що перевищують геостатичні напруження в два і три рази, що дозволяє оцінити стан безпечної експлуатації виробки та запропонувати необхідні засоби і заходи з її підвищення;
- проведено вдосконалення пристроїв для випробування порід на в'язкість руйнування та для випробування гірських порід на тріщиностійкість. На пристрої одержані патенти: пристрій для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві та пристрій для випробування гірських порід на тріщиностійкість.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці методичних рекомендацій в співпраці з ІГТМ НАН України з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд, які дозволяють визначити ризики і оцінити небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд.

Розроблена методика впроваджена в Головному Управлінні ДСНС України у Дніпропетровській області (акт впровадження від 10.08.2023), в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Основи теорії надійності та техногенний ризик» для здобувачів вищої освіти I та II рівнів підготовки за спеціальністю 263 Цивільна безпека в Українському державному хіміко-технологічному університеті (акт впровадження від 19.07.2023) (Додаток Г).

Особистий внесок здобувача. Особисто здобувачем виконано аналіз літературних та інформаційних джерел, які розглядають підземне будівництво в цілому і, зокрема, в якості воєнних об'єктів.

Особисто здобувачем проведені лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей гірських порід і аналіз змін характеристик властивостей під дією різних чинників (навантаження, водонасичення).

Особисто здобувачем проведені натурні дослідження, і встановлені закономірності зміни параметрів висоти і перерізу з часом по довжині виробки в умовах шахтної виробки.

Особисто здобувачем проведений аналіз отриманих даних та ідентифікацію ризиків втрати стійкості, встановлені лінійні моделі зміщень покрівлі і регресійні залежності ризиків втрати стійкості у часі.

Здобувачем особисто проведено обґрунтування відхилень і коефіцієнтів варіації фізико-механічних властивостей порід і визначення ризиків втрати стійкості підземних споруд, змодельований стан виробки за стандартним сценарієм розвитку подій і в стані надзвичайної ситуації (динамічного навантаження внаслідок зовнішніх дій особливого стану чи воєнних дій). Надані методичні рекомендації щодо оцінки ризиків втрати стійкості виробок під час використання останніх в якості воєнно-промислових об'єктів.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи викладено та обговорено на науково-практичних конференціях різного рівня: II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Новітні технології в освіті, науці і виробництві». Квітень 2020; Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 28 квітня 2021 року; XXI Міжнародна науково-практична конференція «Scientists and methods of using modern technologies», 30 травня – 02 червня 2023 р., Мельбурн, Австралія.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 162 сторінках друкованого тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних

висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 137 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 8 таблицями, 52 рисунками. Список використаних джерел містить 117 найменувань, з них 53 кирилицею та 64 латиницею.

РОЗДІЛ І

СТАН ПИТАННЯ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ОБОРОННИХ КОМПЛЕКСІВ ПРИ РОЗМІЩЕНІ В ШАХТАХ І ВИРОБКАХ

1.1. Аналіз стану нещасних випадків на виробництвах в Україні.

Незважаючи на підтримку з боку держави, державні вуглевидобувні підприємства страждають від низької продуктивності праці та низької рентабельності. Станом на квітень 2018 року заборгованість з виплати заробітної плати у вугільній промисловості становила 470 млн грн (загальна заборгованість по заробітній платі в усіх галузях економіки України - 1,9 мільярда гривень). Важливо зазначити, що 40% вугільних шахт працюють понад 70 років, а 96 відсотків з них не реконструювалися понад 20 років. Крім того, значна частина державних вугільних шахт працює у складних гірничо-геологічних умовах. Із семи тисяч одиниць стаціонарного обладнання дві третини повністю зношені і потребують негайної заміни. 24 травня 2017 року Кабінет Міністрів України схвалив новий стратегічний документ щодо реформування та розвитку вугільної галузі, який отримав назву "Концепція реформування та розвитку вугільної промисловості на період до 2020 року". Документ визначає стратегію реструктуризації шахт та цілеспрямованого інвестування з метою перетворення вугільної галузі на самоокупну та самодостатню для самоокупності та забезпечення сталого постачання вугілля.

Аналізуючи статистику нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, необхідно виділити проблеми зі збором даних. По-перше, значна кількість нещасних випадків не реєструється. Про непрямі ознаки заниження рівня виробничого травматизму в Україні свідчать приховування нещасних випадків на виробництві. В Україні можна навести порівняння статистики нещасних випадків на виробництві України та Німеччини. У Німеччині працює понад 40 мільйонів працівників і зафіксовано

понад мільйон нещасних випадків на виробництві, в Україні - 16 мільйонів працівників, але у 2017 році було зареєстровано лише 4 313 нещасних випадків на виробництві. Це означає, що рівень виробничого травматизму в Україні майже в десять разів менший, ніж у Німеччині. Це порівняння свідчить про те, що зареєстровані нещасні випадки на виробництві та професійні захворювання нещасні випадки в Україні становлять лише невелику частину від реальних показників. Проблема зниження показників є ще більш серйозною у випадку з професійними захворюваннями. Відсутність державного реєстру професійних захворювань, так в Україні у 2017 році було зареєстровано лише 1951 випадків професійних захворювань з 16 мільйонів працівників. Однак, за даними Державної служби з питань праці, 68,7% працівників гірничодобувної промисловості (158000 з 230000) працюють в умовах, що не відповідають санітарно-гігієнічним нормам [1].

В теперішній час гірничо геологічні умови на шахтах, що розроблюють вугільні пласти, значно погіршилися. Збільшився гірський тиск бічних порід, знизилась їх несуча здатність, збільшилась кількість пластів, що відпрацьовуються, які є небезпечними за раптовими викидами або схильні до чисельних гірничо-геологічних порушень. Сукупність цих факторів має значний вплив на рівень виробничого травматизму, особливо від обрушень і обвалень. Тому оцінка стійкості підземних виробок, схильних до проявів гірського тиску, внаслідок впливу різних гірничо-геологічних і гірничотехнічних чинників, є актуальною.

Чисельність обвалень гірських виробок скорочується через впровадження новітніх технологій, але, все одно цей вид травматизму гірників складає більшість серед нещасних випадків на виробництві. Особливо в умовах, коли роботи ведуться на все більшій глибині [2]. Вуглевидобувна промисловість залишається і сьогодні однією з лідируючих за кількістю потерпілих від нещасних випадків на виробництві (табл.1.1).

Таблиця 1.1.

Кількість нещасних випадків на виробництві

Вид нагляду	2019	2018	2017	2016	2015
Вугільна промисловість	690	725	780	864	752
Гірничорудна та нерудна промисловість	160	173	201	192	207
Нафтогазовидобувна промисловість та геологорозвідка	30	25	20	23	11
Енергетика	121	118	121	136	113
Будівництво та промисловість будматеріалів	244	205	224	184	206
Котлонагляд та підйомні споруди	14	15	16	20	10
Машинобудування	270	364	336	313	311
Металургійна промисловість	199	244	260	255	268
Хімічна, нафтохімічна та нафтопереробна промисловість	129	105	128	146	137
Транспорт	293	338	393	364	396
Зв'язок	47	76	57	60	60
Газова промисловість	28	32	35	36	48
Житлово-комунальне господарство	135	140	155	167	141
Агропромисловий комплекс	517	503	537	578	602
Деревообробна промисловість	53	67	76	51	83
Легка та текстильна промисловість	22	38	23	22	17
Соціально-культурна сфера та торгівля	924	958	951	1017	898
Р а з о м	3876	4126	4313	4428	4260

Діаграма стану виробничого травматизму зі смертельними наслідками за період 2019-2022 рр. за даними Державної служби України з питань праці представлена на рис.1.1.

Динаміка подій, що призвели до нещасних випадків зі смертельним наслідком за 5 місяців 2020 - 2023 р.р. (% від загальної кількості загиблих)

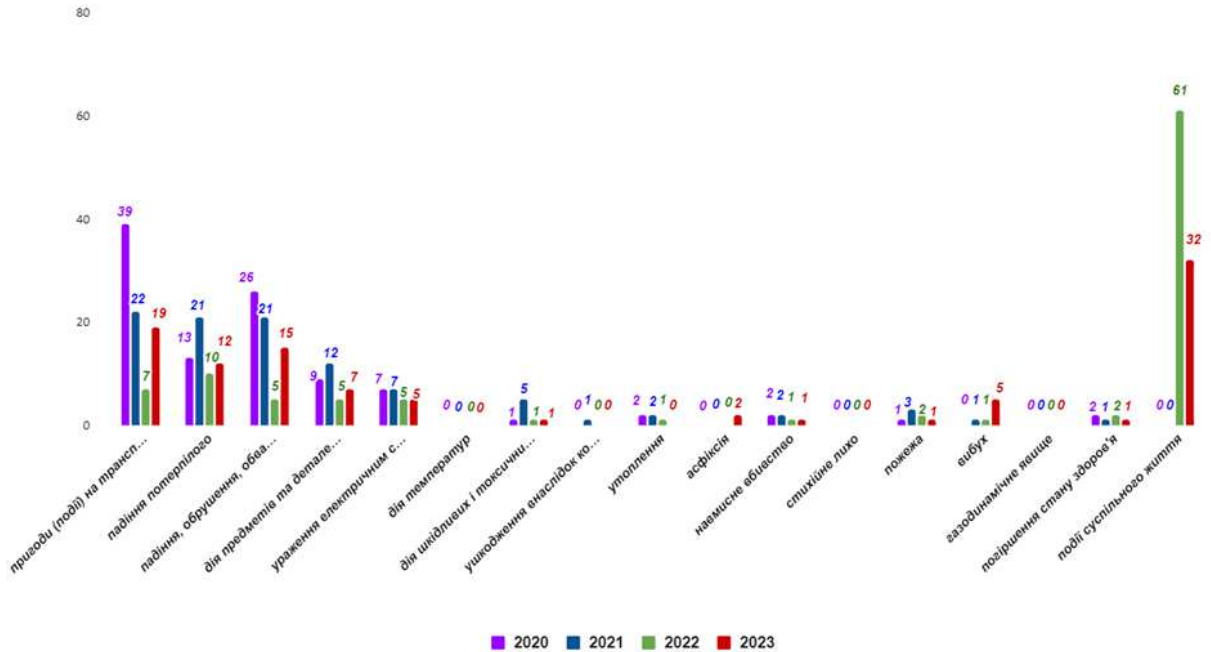


Рис.1.1 Діаграма стану виробничого травматизму зі смертельними наслідками за період 2019-2023 рр. [3, 4]

За даними таблиці 1.2. видно, що найбільш небезпечна за кількістю нещасних випадків є вуглевидобувна галузь в Україні [5].

Таблиця 1.2.

Кількість нещасних випадків за енергетичними галузями України

Галузі	Кількість нещасних випадків виробничого травматизму					З них смертельних				
	2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022
Електроенергетична	118	121	137	97	197	11	20	25	14	32
Вугільна промисловість	725	690	524	561	391	21	20	20	19	12

Продовження табл. 1.2

Гігричорудна та нерудна промисловість	173	160	141	161	83	22	16	15	21	10
Будівництво та промисловість будматеріалів	205	244	213	239	136	54	61	47	69	32
Машинобудування	364	270	230	278	191	19	20	14	19	21
Металургійна промисловість	244	199	186	174	106	21	13	14	8	14
Всього по галузям	1829	1684	1431	1510	1104	148	150	135	150	121

Особливо небезпечними, з точки зору смертельного травматизму гірників в лавах, вважаються такі місця: сполучення лав з виробками (25,6%), в уступах лав на крутому падінні (23%), при управлінні покрівлею (7,5%), інші місця (7,2%).

Більшість травм на сполученні лав зі штреками пов'язані з кріпленням і його якістю. Однією з головних причин травмування гірників є обвалення порід та вугілля, зумовлене несвоєчасною оборкою покрівлі, порушення паспортів кріплення, незадовільний стан кріплення та невідповідність паспортів кріплення гірничо-геологічним умовам. Найбільшу небезпеку представляє робота на сполученнях лав, що розміщені на пластах з крутим кутом нахилу [6].

При відробці вугільних пластів, особливо на великих глибинах, постійно необхідно вирішувати питання, пов'язані з провітрюванням, дегазацією, пиловихухозахистом, профілактикою гірських ударів та раптових викидів, протипожежної безпеки та інші [7, 8].

В складних умовах підземних виробок для забезпечення безпеки робіт працівників необхідне постійне обстеження і фіксація місць порушення з метою недопущення подальших руйнувань і прийняття відповідних запобіжних заходів. З огляду на те, що геотехнологічні та гірничо-технічними умови підземних виробок обумовлені особливостями конкретного середовища, то має місце оцінка ризиків в кожному конкретному випадку. Особливо зростає

необхідність підвищення контролю та оцінка ризику небезпеки при використанні існуючих виробок шахт при будівництві підземних воєнних об'єктів.

1.2 Світовий досвід розміщення оборонних комплексів в підземних спорудах

Враховуючи обставини воєнного часу сьогодення, є потреба в розміщенні оборонно-промислових комплексів у безпечних від воєнних дій місцях. Світовий досвід показує, що це можливо. Для цих цілей пристосовують об'єкти, що розміщені на значних відстанях вглиб від поверхні ґрунту: тунелі, метрополітени, соляні шахти, розробки тощо.

Оборонне середовище світу постійно змінюється через зміну національної політики. Ці зміни вимагають розробки планів цивільно-військового співіснування на різних об'єктах для вирішування різних завдань, пов'язаних і з миротворчими місіями і місіями з ліквідації наслідків стихійних лих [9].

Використання підземного середовища у воєнних цілях не нова ідея, історія має факти використання з давніх часів. З часом ці споруди лише модернізувались до військових потреб певного часу і певної території. Досвід Першої світової війни дозволив німцям розробити ефективні методи використання підземних споруд в період Другої світової війни. Німці швидко і ефективно розробили програму переобладнання і нового будівництва і до січня 1945 року перетворили шахти, печери, шосейні тунелі, залізничні тунелі, тунелі для зберігання пива та підвали на промислові об'єкти. Загалом під землею працювало близько 227 заводів, не враховуючи підземні лікарні, бомбосховища, воєнні штаби і склади. Виробляли від кульопідшипників до літаків, заводи були добре захищені від бомбардувань. Так в соляній шахті м. Тартун (Німеччина) на глибині близько 500 м розміщувався завод Юнкера з лінією збірки фюзеляжу (рис 1.2).

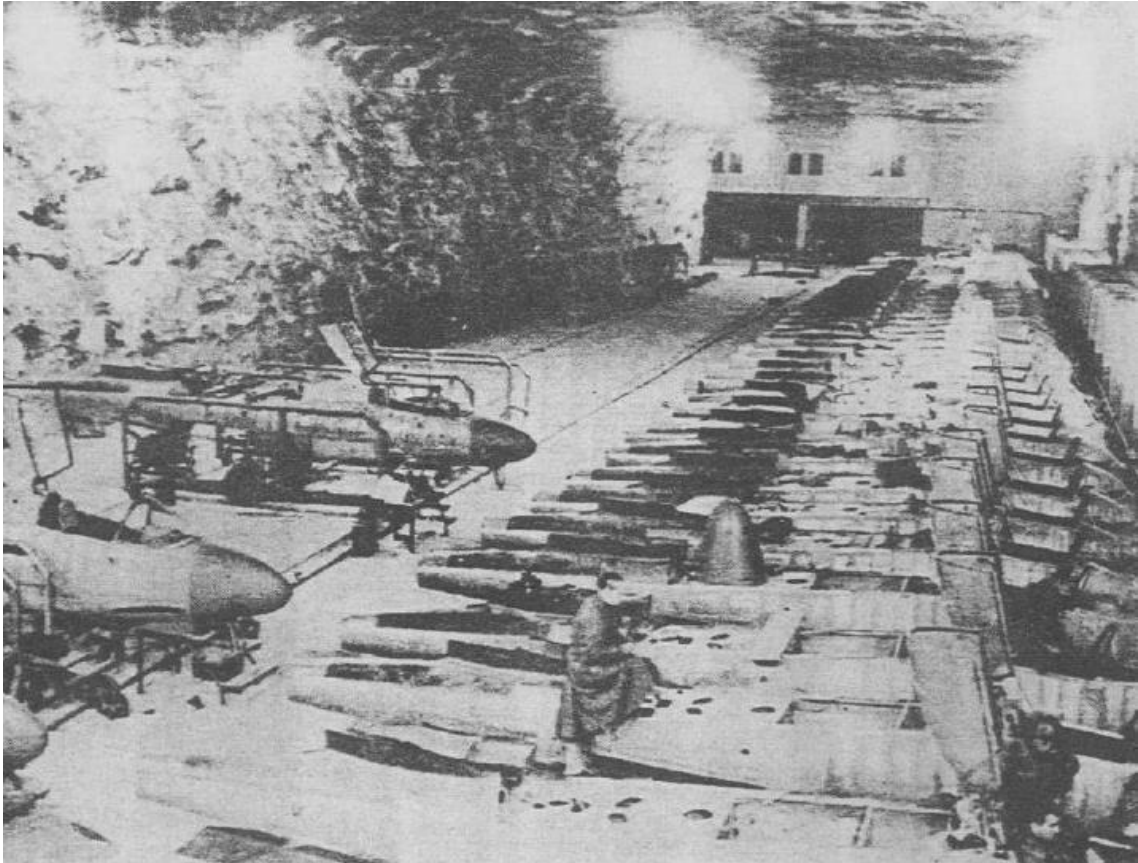


Рис.1.2 Лінія збірки фюзеляжу, завод Юнкера (1954р)

Згідно досліджень США по Північній Кореї, армія має широку програму зміцнення об'єктів, майже вся передова артилерія може зберігатись в добре захищених підземних сховищах. Так, на початку 90-х років Північна Корея мала 134 заводи з виробництва озброєнь, більшість з яких повністю чи частково приховані під землею [10].

На сьогодні, з поширенням використання ракет з точним наведенням, геологічні бар'єри, підземні військові спорудження набули нового значення. Після усвідомлення руйнівної сили атомної бомби, а пізніше водневої інженерний корпус армії США та ряд дослідницьких груп працювали над проектуванням захисних споруд, що протистоятимуть великомасштабним вибухам,

спираючись на знання геологічного середовища та фізичних властивостей гірських порід. Розвиток руйнівної зброї продукує увагу до підземного розташування військових командних центрів та інших воєнних об'єктів і сховищ. Є досвід розташування підземних споруд, призначених для протистояння значним вибухам на глибині 1600 м та більше [11] (рис1.3).

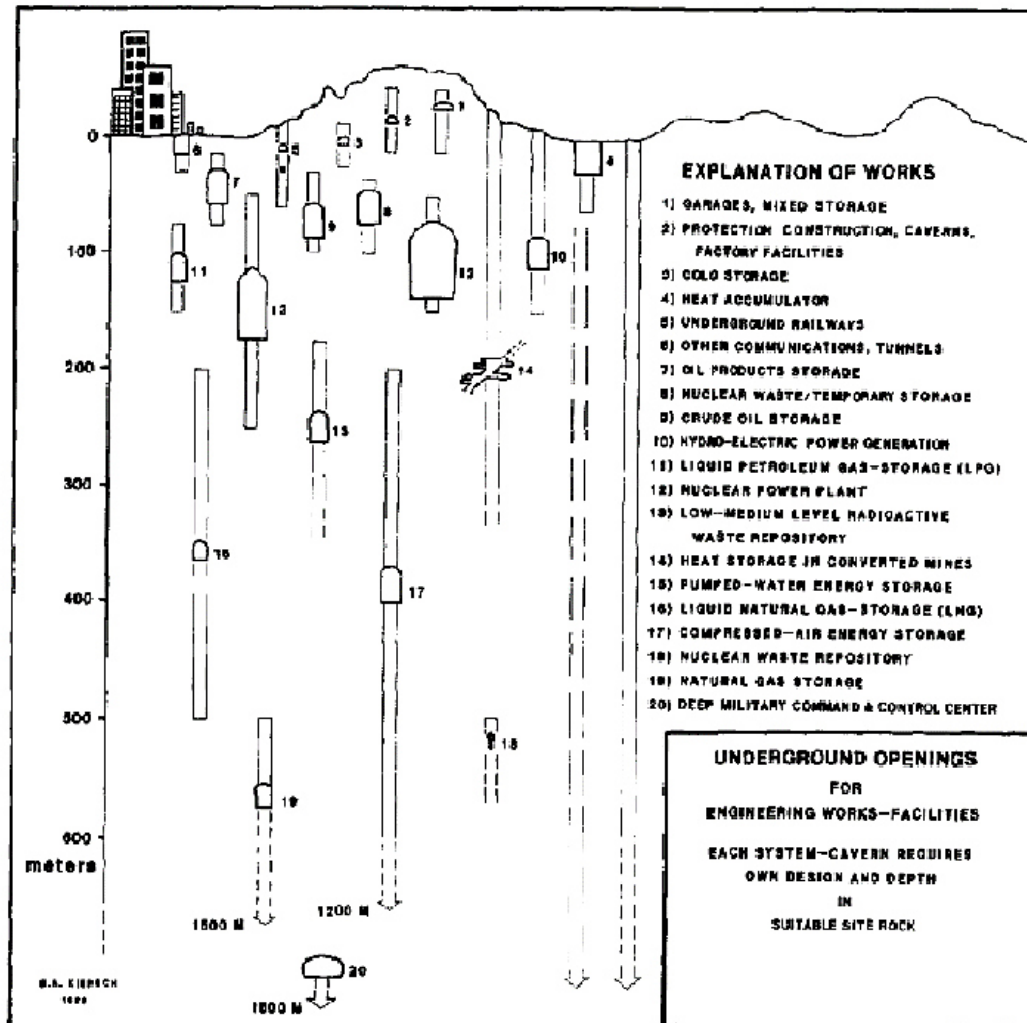


Рис. 1.3 Схема розміщення різних військових інженерних споруд залежно від типу і призначення [12, 13]

Холодна війна залишила багато слідів. Суперництво та наявність ядерної зброї, а також наявність підземних воєнних баз США привертало найбільшу увагу. А саме, воєнна база в гірському комплексі the Cheyenne Mountain

Комплекс недалеко від Колорадо-Спрингс. Інженерний комплекс розміщений всередині гранітної гори. Як центр бойових операцій NORAD 6 почав повністю функціонувати з лютого 1967 року. Цей центр та декілька інших центрів підтримували місії NORAD з аерокосмічного попередження і контролю та забезпечували попередження про балістичні ракети або повітряні атаки проти Північної Америки. Інший об'єкт - FEMA – оперативний центр федерального агентства з надзвичайних ситуацій в Mount-Weather (рис.1.4).

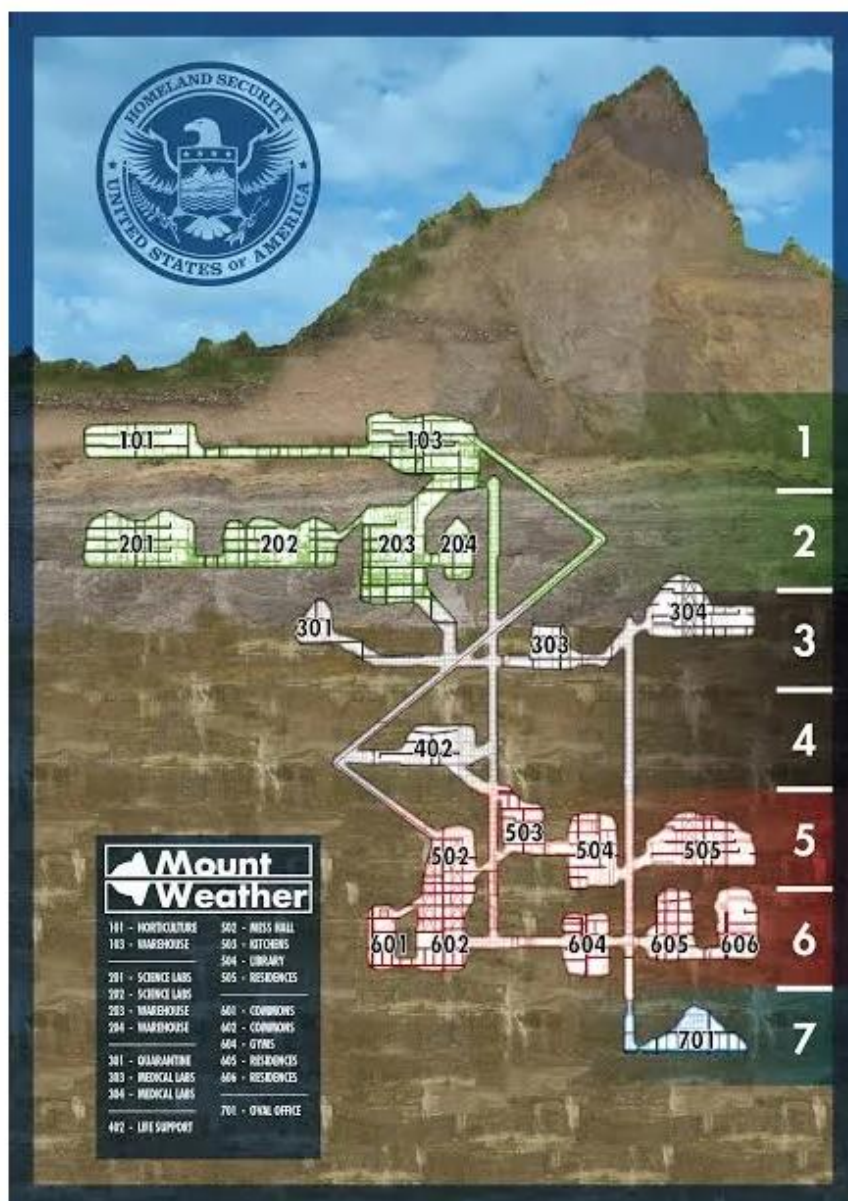


Рис.1.4 Оперативний центр федерального агентства з надзвичайних ситуацій FEMA в Mount-Weather, США

У 1954 році Національне бюро погоди пробурило експериментальний тунель близько 90 м вглиб гори. Разом з FEMA тут розміщуються: національний центр з розробки інформації, Центр обміну інформацією з інформаційних систем стихійних лих, центр логістики агентства. RRMC – глибока воєнна база з підземним ядерним бункером, розміщена недалеко від вершини Blue Ridge штат Пенсильванія. Це віддалено розміщені, захищені об'єкти, які можна використовувати для ведення воєнних операцій, а також для всієї країни на випадок надзвичайної ситуації, як, наприклад, ядерна війна. Цей об'єкт має площу в 650 акрів і представляє собою підземний ядерний бункер та центр аварійних операцій і є також частиною системи бункерів NORAD 6 та FEMA. Однією з відомих баз є база США випробувальний і тренувальний полігон - Зона 51. Це засекречений воєнний об'єкт, тому лише за неофіційними даними основна робоча зона бази розміщена під землею [14].

База 816 - підземний об'єкт на південно-західній території Китаю, донедавна секретна база, ядерний воєнний завод, найбільша в світі штучна печера. Площа поверхні печери складає більше 104 тис.м², протяжність тунелів складає понад 20 км, печера має висоту 79,6 м. З 2016 року цей об'єкт доступний до відвідування туристами [15, 16].

Зарубіжний досвід та досвід будівництва воєнних об'єктів в Україні свідчить про актуальність такого будівництва з використанням підземних існуючих виробок.

1.3 Сучасні цивільно-оборонні підземні об'єкти

Останнім часом збільшується інтерес до підземного будівництва. Урбанізація, дефіцит земельного простору на поверхні, збільшення кількості транспортних засобів, погіршення екологічної ситуації - це все збільшує інтерес до підземного будівництва. Хмарочоси ввєрх та вглиб вже не є дивом,

прикладом може слугувати цілі підземні міста в Монреалі - Ресо, близько 4 млн.м², та Торонто - РАТН, близько 371,6 тис.м² торгівельних площ, де працює близько 5000 людей. Це переважно торгівельно-розважальні центри розміщені під землею між тунелями метро [17, 18]. ще одним прикладом підземного міста є Кубер Педі. Місто під землею в австралійській пустелі яке налічує близько 3500 жителів. Створене гірниками для перебування поблизу місця видобутку дорогоцінного каміння опалу та для можливості сховатись від спеки. Крім шахт, готелів, будинків, під землею розташована церква, магазини [19].

В Сінгапурі в 2012 році розроблені і побудовані підземні споруди – сховища вуглеводнів, що складаються з камер і тунелів, під'їзних тунелів на різних рівнях, на глибині до 132 м. Досвід цього будівництва вдосконалив технології будівництва подібних об'єктів для тривалого перебування людей під землею, цьому рішенню передувала розробка міністерством оборони підземного складу боєприпасів. Сховище показало суттєві переваги використання підземного простору для підвищення безпеки. Підземне будівництво стало частиною довгострокової стратегії економічного розвитку [20, 21]. Автори [9] займались вивченням проблеми розміщення складів боєприпасів підземного типу з метою стійкого розвитку цивільного і воєнного призначення. Разом з тим, склади боєприпасів потребують значних охоронних зон через дотримання достатніх безпечних відстаней для запобігання раптових вибухів та пошкодження або руйнування будівель та інфраструктури. Як правило, склади боєприпасів розташовують на транспортних вузлах для своєчасної можливості доставки і розподілу боєприпасів на випадок воєнного часу. Об'єкти, засновані на методах управління за межами зберігання вибухонебезпечного знаряддя, мають перспективи в майбутньому, оскільки розробка високоточних і високопродуктивних снарядів йде швидкими темпами. «Розумний» склад боєприпасів може бути розроблений як модель нового військового об'єкту, що відповідає вимогам Четвертої промислової революції, 4IR. Дійшли висновку [9], що використання складів боєприпасів підземного

типу є ефективною альтернативною технологією, яка може в значній мірі сприяти як економічному ефекту, так і екологічному, тому що при наземному будівництві кількість викидів CO₂, що утворюється під час виробництва і будівництва бетону, значно більша. Перевагою від наземних складів є те, що підземна порода затримує тиск вибуху і осколки, що є домінуючим фактором небезпеки в боєприпасах.

Країни невеликі за площею (наприклад Сінгапур, Республіка Корея) з 90-х років минулого століття почали будівництво складів боєприпасів підземного типу для ефективного використання своєї землі. Сінгапур має практику будівництва різних об'єктів під землею (спортивні майданчики, торговельні центри) з-за обмеженості землі. У 2007 році побудовано великий підземний склад, враховуючи безпечну відстань між боєприпасами, з великими камерами шириною до 25 м і довжиною близько 100 м. Крім того, були застосовані захисні споруди – уловлювачі уламків, розширювальна камера, барикада на виході тощо. В 2015 році подібні підземні сховища з камерами, встановленими на різній глибині, були побудовані в Республіці Корея [9]. Після масштабного і руйнівного землетрусу в провінції Сичуань (Китай) у 2008 році була втілена в життя ідея побудови більш надійного проти сейсмічних проявів підземного житла. Підземний бункер має площу 16 га і розрахований на 6600 осіб. На його території розміщена лікарня, сміттєспалювальні апарати та продуктові склади. Бункер може повноцінно незалежно існувати протягом місяця [15].

Польща, маючи обмежені запаси нафти та газу, змушена будувати підземні сховища для зберігання вуглеводнів. Це спонукає до нових розробок і інвестицій в цій сфері. Особлива увага приділяється найбільшим в Польщі соляним підземним сховищам Wierchowice. Тільки соляні каверни дають змогу зберігати як газ, так і рідкі вуглеводні. Придатними до такого використання налічується 27 об'єктів [22, 23, 24] Єдина діюча у Великобританії соляна шахта з 2004 року використовується для захоронення небезпечних матеріалів, відходів. Відходи налічують до 100 тис т небезпечних речовин,

таких як забруднені ґрунти та відходи від кольорової металургії та хімічної промисловості. Працююча на північному сході шахта з видобутку калійної солі забезпечує місцем науково-дослідну лабораторію. Лабораторія розташовується на глибині 1.1 км і займається вивченням так званої «темної матерії». Підземне розташування захищає лабораторію від космічного випромінювання, радіоактивності, що робить можливими багато експериментів [25]. Вченими Туреччини та Канади запропоновано використання підземних умов для розміщення фотоелектричних реакторів для застосування в оборонній та космічній промисловості [26].

Глибина розвиненої багаторівневої системи інженерного забезпечення міста Лондон складає 67 м під землею. Це міські простори різного призначення, технологічно пов'язані з наземними спорудами і будівлями. Сьогодні ці споруди використовуються за різними призначеннями. Забудована частина підземного простору Токіо складає більше 500 тис. м². Перенесення під землю об'єктів з більшою потребою транспорту - це шлях до низько вуглецевого шляху розвитку. До відомих підземних споруд світу входить протиповіневий тунель в Токіо довжиною більше 10 км. Це відображає японську концепцію містобудівництва - на скільки місто росте догори, на стільки ж воно повинно заглиблюватись під землю [27, 28.]. Науково-дослідні центри та учбові лабораторії розташовуються під землею за різних причин. Висока сейсмостійкість підземних виробок та екрануючі властивості гірських порід обумовили розміщення під землею складних науково-дослідних комплексів. Ряд наукових проблем вимагає виключно підземного розміщення установок, наприклад, для реєстрації нейтринних часточок. В Японії поблизу залізорудної шахти Каміока на глибині 1 км побудована нейтринна лабораторія – циліндрична камера діаметром 19 м і глибиною 23 м. В камері розміщений металевий бак з водою, внутрішня частина його вкрита тисячами фотоелементів. У 1997 році там же було побудовано новий комплекс «Каміоканде» діаметром 35 м і глибиною 60 м [29, 30].

Сучасні концепції містобудівництва передбачають розподіл підземних будівель за чотирма рівнями глибини: перший, розміщений на максимальній глибині, вміщує комунікації, що не потребують постійного обслуговування людиною; на другому розташовуються підприємства промисловості і енергетики з необхідністю постійного перебування обслуговуючого персоналу; на третьому рівні розміщуються тунелі, автостоянки, гаражі, складські приміщення, розвантажувальні майданчики, службові комунікації та об'єкти короткочасного обслуговування; на четвертому перед поверхневому рівні магазини, пішохідні зони, культурні центри, підприємства торгівельно-побутового обслуговування з можливістю необмеженої кількості відвідувачів на короткочасний період [31]. Найглибші споруди світу зображені на рис.1.5.

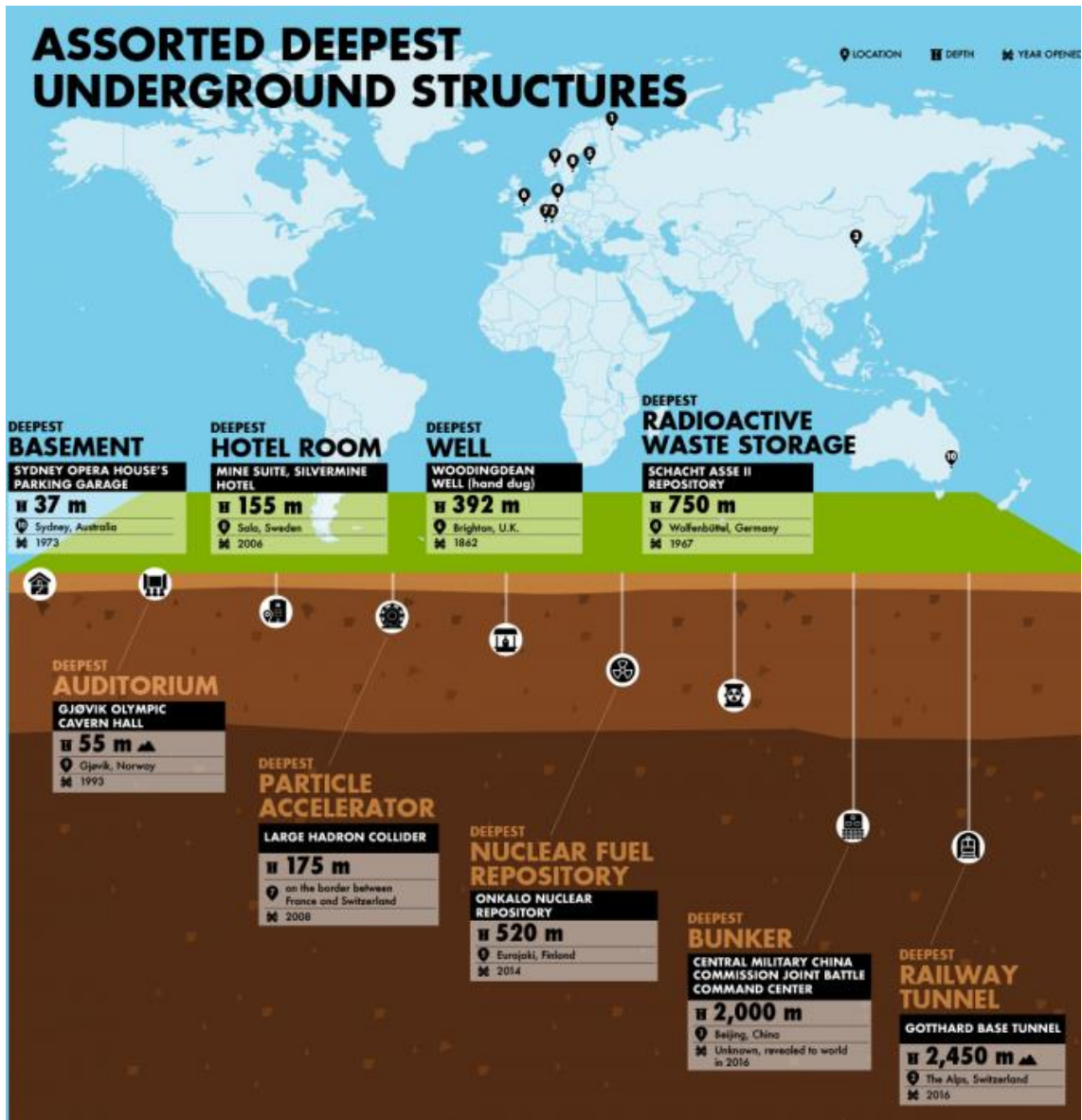


Рис.1.5 Найглибші підземні споруди світу [32]

За словами міністра оборони України Олексія Резнікова, є необхідність, враховуючи воєнний час нашої країни, переглянути наші шахти, соляні розробки. Вони можуть створити систему захисту для виробництв шляхом перенесення виробництв під захист земної товщі. В якості прикладу міністр привів досвід Ізраїлю, країни, яка вже довгий час знаходиться під обстрілами та ракетними атаками, але має безліч виробництв. Резніков запропонував розміщувати об'єкти оборонно-промислового комплексу в шахтах [33, 34].

Комісія з атомної енергетики США розробила геніальний метод захоронення ядерних відходів. За цим методом тріщинуваті породи заповнюються цементним розчином. Таким чином затверділий розчин переводить ядерні мінерали в стабільний стан, вони стають подібними до гірської породи. Інші методи захоронення ядерних відходів передбачають використання соляних шахт і тунелів, бо сіль має хорошу здатність захищати від радіації [35]. Захоронення відходів є успішним рішенням, оскільки воно відокремлює відходи від людей і навколишнього середовища над землею, а також тому, що воно передбачає використання геологічних структур з більш тривалими періодами стабільності, ніж радіоактивний цикл самих відходів. Розміщення інфраструктури під землею має низку переваг, включаючи вирішення екологічних проблем. Це реальна можливість встановлення більш раціональних та стійких інфраструктурних систем [36]. В 1997 році в Швеції був введений в експлуатацію новий центр з надзвичайних ситуацій, розміщений під існуючою пожежною станцією, в скельному масиві. Ця споруда спроектована так, що на випадок надзвичайної ситуації може слугувати як сховище для 200 адміністраторів. Споруда повністю автономна і добре захищена, знаходиться на 25 м нижче рівня фундаменту пожежної станції і має загальну площу 3 тис.м². За оцінками спеціалістів США найбільш доцільним є розміщення під землею найважливіших виробничих підприємств, а також стратегічні запаси нафтопродуктів, продовольчі запаси, об'єкти енергетики. Більшість ракетних комплексів Америки розташована глибоко під землею, а на глибині 25-30 м створені системи підземних установок запуску міжконтинентальних ракет. В штаті Колорадо на глибині 700 м в граніті побудований підземний центр, який захищений від ядерного удару, в штаті Невада створений комплекс для підземних ядерних дослідів (в ньому було проведено більше 600 ядерних вибухів) [29].

Одним з пріоритетних видів підземних споруд для розміщення воєнних виробництв є підземні паркінги і гаражі. Об'єкти подвійного призначення - це

інженерні споруди виробничого, суспільного, комунального або транспортного призначення, які пристосовані до укриття людей, техніки від небезпеки техногенного або воєнного характеру [37]. Гірничі виробки, пройдені при розробці корисних копалин, в певних умовах можуть бути використані повторно для розміщення в них підземних об'єктів різного призначення. Перспективними для розміщення об'єктів є виробки:

-закріплені, при експлуатації яких не потрібне додаткове зведення кріплення, або закріплені, але знаходяться в стійкому стані;

- виробки шириною 4 м та більше, висотою не менше 2,4 м, загальною площею не менше 500 м²;

- горизонтальні або з нахилом не більше 0,2;

- сухі або частково затоплені через відсутність засобів водовідливу.

Для розміщення об'єктів підходять виробки, відпрацьовані при розробці корисних копалин (гіпсу, вапняку, кам'яної та калійної солей, рудних родовищ). Підходять пристовбурні двори та інші гірничо-капітальні виробки вугільних шахт. Найбільш сприятливими умовами для повторного використання володіють гірничі виробки, що залягають на глибині 100-150 м у вапнякових, гіпсових та соляних відкладеннях [29]. Для деяких старопромислових шахтарських регіонів України проекти на шахтних водах є нагальними, бо за кількістю шахт, які закриваються ця тема стала більш актуальною. Так, матриця можливих потужностей шахтних гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС), розроблена німецькими фахівцями, починається з глибини 100 м і місткістю сховища 0,1 млн т води, що уможливорює створення енергетичного сховища потужністю 26МВт, а за умов глибини 1250 м та сховища на 1,5 млн т води – 4850 МВт. В Україні першочерговими кандидатами на перетворення на ГАЕС могли б стати шахти Донецького (Мирноградського, Селидівського, Добропільського районів) та Львівсько-Волинського басейнів [38].

При освоєнні підземного простору в промислових і господарчих цілях доцільно використовувати існуючі транспортні системи гірничих підприємств. При експлуатації підземних споруд в якості об'єктів подвійного призначення необхідно враховувати наступне:

- природні умови і рельєф місцевості;
- гірничо-геологічні та гірничо-технологічні фактори.

Форма та розміри поперечного перерізу підземної споруди повинні забезпечувати необхідну технологічну можливість розміщення в ній необхідного переміщеного обладнання та інженерних комунікацій, а також відповідати необхідним вимогам безпеки при експлуатації, транспортуванні обладнання і матеріалів, вентиляції та водовідведенні [39].

При розміщенні об'єктів у виробках необхідно провести комплекс будівельних робіт з підготовки їх за заданими параметрами. Об'єкти повинні бути безпечними для експлуатації, надійно захищені від проникнення в них поверхневих та підземних вод. Витрати на пристосування відпрацьованого простору для розміщення в ньому того чи іншого об'єкта можуть бути значними [29]. При цьому, безпека повинна бути забезпечена за рахунок надійності використання підземного простору та потребує системного підходу проведення натурних і експериментальних досліджень. Статистичний аналіз отриманих даних дозволяє встановити ризики втрати стійкості кріплень для подальшого своєчасного реагування і попередження обвалень і руйнувань.

1.4 Принципи підземного будівництва

Підземне будівництво стає все більш затребуваним по всьому світу. У підземних споруд є багато важливих характеристик, які вигідно відрізняють їх від наземних об'єктів. Переваги захищених землею споруд очевидні: збереження природного середовища, незалежність від складних геологічних умов, стабільний тепловий режим протягом року та надійний спосіб захисту

населення в особливий період. Тому більшість спеціалістів світу вважають що цей тип будівництва є перспективним [40]. За класифікацією, розробленою Л.М.Гейманом, підземні споруди поділяють за призначенням, що наведено в таблиці (табл.1. 3)

Таблиця 1.3

Класифікація підземних споруд за призначенням

Характер гірничо-будівельних робіт	Основні призначення підземної споруди	Тип підземної споруди	Розміщувані об'єкти
Проведення гірничих виробок за цільовим проектом	Транспортні комунікації	Тунелі, засипні траншеї	Автомобільні, залізо дорожні, гідротехнічні тунелі, метрополітени, трубопроводи
	Розміщення об'єктів електро- та теплопостачання	Камери великих перерізів, тунелі	ГЕС, ТЕС, АЕС, ГАЕС, атомні станції теплопостачання
	Розміщення сховищ питної води і споруд для очищення стічних вод	Камери великих перерізів, тунелі	Резервуари для зберігання питної води, станції з очищення стічних вод

Продовження табл. 1.3

	Розміщення об'єктів міського господарства	Котловани та траншеї з засипкою, тунелі дрібного закладання	Гаражі, телефонні станції, кінотеатри, вокзали, торговельні центри, ресторани, архіви, пішохідні переходи, спортивні комплекси, міські колектори та ін.
	Розміщення об'єктів оборонного призначення	Шахтні стволи, штольні, камери, котловани з засипкою	Стартові комплекси ракет, довгострокові командні пункти, сховища тощо
Комплексне освоєння підземного простору проведенням гірничих виробок за цільовим проектом і пристосування раніше відпрацьованих	Розміщення промислових підприємств	Шахтні камерні виробки, спеціально пройдені камери великих перерізів, тунелі	Заводи точних приладів, електронного обладнання, суднобудування, машинобудування, авіабудування, воєнної техніки та ін.
	Розміщення науково-дослідних об'єктів	Шахтні камерні виробки, спеціально пройдені камери великих перерізів, тунелі	Нейтринні, сейсмогеографічні, фізичні лабораторії, сейсмостанції та ін.

Продовження табл. 1.3

Пристосування під об'єкти існуючих гірничих виробок і природних порожнин	Розміщення підприємств, сховищ, лікувальних установ, об'єктів туризму та ін.	Гірничі виробки вапнякових, гіпсових, соляних шахт, печери	Підприємства з виробництва продуктів харчування, сховища промислових товарів, лікувальні установи, туристичні комплекси та ін.
--	--	--	--

До складу інженерних досліджень для будівництва входять основні їх види, а саме інженерно-геодезичні, інженерно-геологічні, інженерно-гідрометеорологічні, інженерно-екологічні, дослідження ґрунтових будівельних матеріалів та джерел водопостачання на основі підземних вод. До складу інженерно-геологічних робіт в будівництві підземних споруд входять: систематичний опис гірських порід в забої виробок (у зведенні і стінах), визначення міцності і стійкості гірських порід, фіксування проявів гірського тиску, вивалів, обводнення та газоносності гірських порід, способу проходження, стан тимчасового кріплення і постійної обшивки. За обраним типом підземного будівництва і за обраним розташуванням проводять геотехнічну розвідку. Мета розвідки – отримання кількісних характеристик, які будуть використані для визначення небезпеки навантажень на підземні конструкції, вибору способу розробки гірських порід, параметрів кріплення, визначення напружено-деформованого стану гірничого масиву, його тріщинуватості, водного режиму та інше. В процесі проходження підземних виробок необхідно вести систематичний нагляд за фактичними інженерно-геологічними умовами, що характеризують стійкість вибою та за їх

відповідністю проектним даним. Моніторинг необхідний для своєчасного і оперативного корегування кріплення і способів проходження.

При розробці великопролітних виробок для підземних АЕС, а особливо виробок реакторних приміщень, висуваються підвищені вимоги щодо збереження контуру виробки, до конструкцій і матеріалів обшивки. Як свідчить проведений нами аналіз, найбільш прийнятним вважається розміщення об'єктів у виробках на глибинах 150-200 від поверхні землі в масивах гірських порід міцністю понад 100 МПа [29, 30], що дозволяє забезпечити безпеку їх експлуатації.

Тому, для оцінки безпеки при будівництві та експлуатації об'єктів у гірничих виробках необхідна розробка методики щодо визначення можливих ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (втрати стійкості кріплень, що призводить до обвалень і руйнувань) з урахуванням умов будівництва.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано стан травматизму в Україні. Встановлено, що на сьогоднішній день вирішення питання забезпечення безпеки при зведенні об'єктів з використанням соляних, шахтних виробок та інших об'єктів підземного будівництва є актуальною задачею по забезпеченню національної безпеки України.

2. На основі аналізу світового досвіду розміщення воєнних об'єктів та оборонних комплексів у підземному просторі виявлено, що такий спосіб є не тільки прийнятним, а й доцільним і більш безпечним в умовах надзвичайних ситуацій або особливого часу. Але для його реалізації необхідне додаткове проведення експериментальних і натурних досліджень для встановлення відповідних залежностей геотехнічних показників, що характеризують стан підземного простору, виробок по забезпеченню безпеки при будівництві та експлуатації об'єктів.

3. Проаналізовано варіанти підземного сучасного будівництва загального користування і деякі об'єкти воєнного призначення, їх безпечна експлуатація в світовій практиці на теперішній час. З огляду на ситуацію в Україні перспективним є використання підземного простору існуючих виробок в якості розміщення воєнно-промислових комплексів, для забезпечення національної безпеки України.

4. На основі проведеного аналізу принципів підземного будівництва та класифікації підземних споруджень за призначенням встановлено, що для забезпечення заходів безпеки підземних споруд необхідна розробка методики щодо визначення можливих ризиків виникнення надзвичайних ситуацій з урахуванням умов будівництва.

Список використаних джерел у розділі 1

У розділі 1 використані [1...40] джерела. Їх перелік і найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

РОЗДІЛ II

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика проведення експериментальних досліджень

Враховуючи складність визначення небезпечних факторів при підземному будівництві в шахтах, необхідно провести цілу низку інженерних досліджень, для цього нами було проведено обґрунтування та розробка методики проведення досліджень, що дозволяють визначити ризики прояву негативних факторів.

До складу інженерних досліджень входять інженерно-геологічні, які передбачають стан гірських порід в досліджуваному просторі виробки, спосіб проходження, стан кріплення, отримання кількісних характеристик для визначення навантаження на конструкції, визначення напружено-деформованого стану масиву, тріщинуватості тощо [29]. Зазначені характеристики в певній мірі визначають ризики прояву небезпечних факторів при будівництві.

Процес руйнування порід навколо гірничих виробок призводить до виникнення небезпек таких як зміна її робочої форми, деформація кріплення, порушення технологічних операцій. Отже для визначення ризику прояву небезпеки необхідно встановити залежність процесів деформування порід навколо виробок та провести експериментальні дослідження по визначенню зміни параметрів механічних властивостей до, та в момент руйнування зразків гірської породи, на прикладі пісковика. За статичним аналізом наявності пісковика в покрівлях вугільних шахт Західного Донбасу визначено, що пісковики присутні в покрівлі в 64% від загальної площі виїмкових полів[41, 42, 43,44].

Для визначення змін міцності гірських порід поширена відома шкала міцності [45], запропонована проф. М.М. Протод'яковим. До сих пір

працівники виробництв і вчені характеризують породи, насамперед, коефіцієнтами міцності М.М. Протод'яконова (f), якими користуються для наближеної порівняльної характеристики різних порід, для вибору напрямків механізації, технологічних схем, при вирішенні питань проектування шахт і копальнь, плануванні гірничих робіт.

При цьому необхідно враховувати вплив вологи, яка змінює ці параметри механічних властивостей порід. Гірничі виробки нерідко знаходяться під впливом вологи, тому цей фактор є важливим при встановленні фізико-механічних властивостей масиву. Нами, при проведенні експериментальних досліджень на визначення механічних властивостей пісковика, проведено випробування зразків на одноосьове стиснення. Однаковим випробуванням підлягали зразки пісковика в сухому і в насиченому вологою стані. Таким чином визначались зміни основних механічних властивостей у процесі деформування та руйнування при сухому та вологому стані. Такий підхід дозволяє визначити напружено-деформований стан і поведінку масиву порід над виробленим простором. Зовнішнє навантаження на зразок за тією чи іншою віссю визначалось за наведеною методикою [41, 46-50]. Такий підхід дозволив визначити: девіатор напружень, параметр Надаї-Лоде для напруженого стану і деформацій, об'ємну деформацію, середню деформацію кульового тензору, октаедричну дотичну деформацію, модуль усестороннього об'ємного стиснення, модуль зсуву, коефіцієнт поперечної деформації, лінійний модуль пружності, енергію зміни об'єму, енергію зміни форми.

Характеристикою девіатора є величина, пропорційна середньоквадратичному значенню компонент девіатора:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_1 \cdot \sigma_3} \quad (2.1)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - девіатор напружень, МПа

Вид напруженого стану характеризується параметром Надаї-Лоде μ_σ .

$$\mu_\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}. \quad (2.2)$$

Об'ємна деформація. Сума інваріантів в головних осях має фізичний сенс об'ємної деформації:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V_o} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 - \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3 + \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3. \quad (2.3)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – лінійні деформації.

Середня деформація кульового тензору – це середня лінійна деформація

$$\varepsilon_o = \frac{\varepsilon_v}{3}. \quad (2.4)$$

Октаедрична дотична деформація

$$\gamma_{окт} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}. \quad (2.5)$$

Параметр Надаї-Лоде для деформацій

$$\mu_\varepsilon = \frac{2 \cdot \varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}. \quad (2.6)$$

Модуль усестороннього об'ємного стиснення

$$K = \frac{\sigma_o}{\varepsilon_o}. \quad (2.7)$$

Модуль зсуву

$$G = \frac{\tau_{окт}}{\gamma_{окт}}. \quad (2.8)$$

де $\tau_{\text{окт}}$ – октаедрична дотична напруження

Коефіцієнт поперечної деформації

$$\nu = \frac{3 \cdot K - 2 \cdot G}{6 \cdot K + 2 \cdot G}. \quad (2.9)$$

де

Лінійний модуль пружності

$$E = \frac{9 \cdot K \cdot G}{3 \cdot K + G}. \quad (2.10)$$

Енергія зміни об'єму

$$A_v = \frac{\sigma_o^2}{2 \cdot K}. \quad (2.11)$$

Енергія зміни форми

$$A_f = \frac{3 \cdot \tau_{\text{окт}}^2}{4 \cdot G}. \quad (2.12)$$

Проведені дослідження і отримані при цьому дані механічних властивостей піщаника при впливі на них вологи, дозволяють прогнозувати при математичному моделюванні напружено-деформований стан гірського масиву та ризику прояву небезпек.

Нами для реалізації експерименту зсуву зі стисненням були виготовлені окремо металеві матриці з кутом нахилу 15° , 30° та 45° (рис. 2.1) [51].



Рисунок 2.1 Металеві матриці з кутом нахилу 15°, 30° та 45°

При проведенні експерименту були вибрані зразки пісковиків L_1S_1 (вугільні пласти I_1 залягають в товщі потужних пісковиків), відібрані в умовах ВП "Шахта "Капітальна" ДП "Мирноградвугілля" на глибині 930 м (вибір обумовлений тим, що пісковики складають до 64% від загальної площі виїмкових полів у Західному Донбасі), і мали вигляд кубиків 50x50x50 мм, згідно відповідних методик [41-43, 52-55]. Випробування проводилось за допомогою пресу П-50 в лабораторії гірського тиску на базі ДВНЗ «ДонНТУ». Виконання експерименту фіксувалося на фото і відео спостереження. Показник міцності на зрушення (тимчасовий опір зрушенню), як і межа міцності на стиск, широко застосовується для оцінки опірності гірських порід і вугілля руйнуванню, зокрема при визначенні опірності руйнуванню різальним інструментом [52-55].

За отриманими, під час проведення експерименту, даними були визначені граничні напруження, що виникають в момент руйнування, що дозволило характеризувати напружено-деформований стан масиву.

При випробуваннях на зсув кут α площини роз'єму між блоками може змінюватись, що надає можливість проведення випробувань при різних співвідношеннях нормальних і дотичних напружень, що виникають в площині

руйнування. Граничні нормальні і дотичні напруження, що діють в площині зсуву, обчислювались за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{np} &= \frac{P}{F} (\cos \alpha + f_k \sin \alpha) \\ \tau_{np} &= \frac{P}{F} (\sin \alpha - f_k \cos \alpha) \end{aligned} \right\},$$

де P – зусилля, що розвивається пресом, кН;

F – площа поверхні сколювання зразка, м²;



α – кут установки зразка;

f_k – коефіцієнт тертя кочення при наявності катків або коефіцієнт тертя спокою при відсутності катків і мастила $f_k = 0,15$.

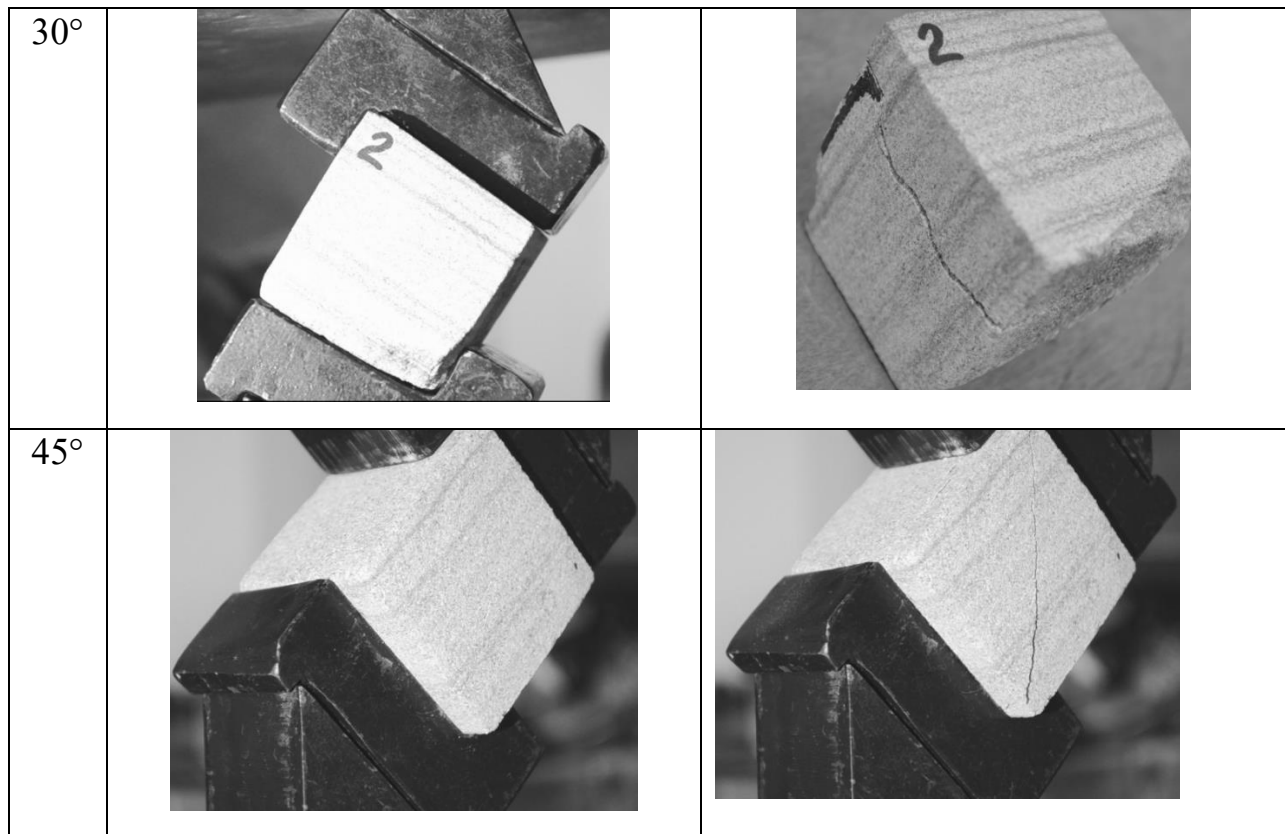
Процес руйнування зразків пісковику при проведенні експериментальних досліджень на зсув з стисненням за різним кутом нахилу металевих матриць наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Зразки пісковику при випробуванні на зсув зі стисненням

Кут	Зразок перед випробуванням	Зразок після випробування
15°		

Продовження табл. 2.1



Реологічні властивості визначались за методикою [56-58]. Повздовжні та поперечні деформації вимірювали індикаторами часового типу з ціною поділки 0,01 мм (рис. 2.2).



а)



б)

Рисунок 2.2 Вимірювання деформацій зразка: а – установка індикаторів часового типу, б – зразок після випробування

Поточні данні вимірювань як деформацій (рис. 2.2, а), так і навантаження (рис. 2.2, б) записувалися камерою спостереження у відео форматі. Це надало можливість мати значення показань приборів у будь який час випробування.

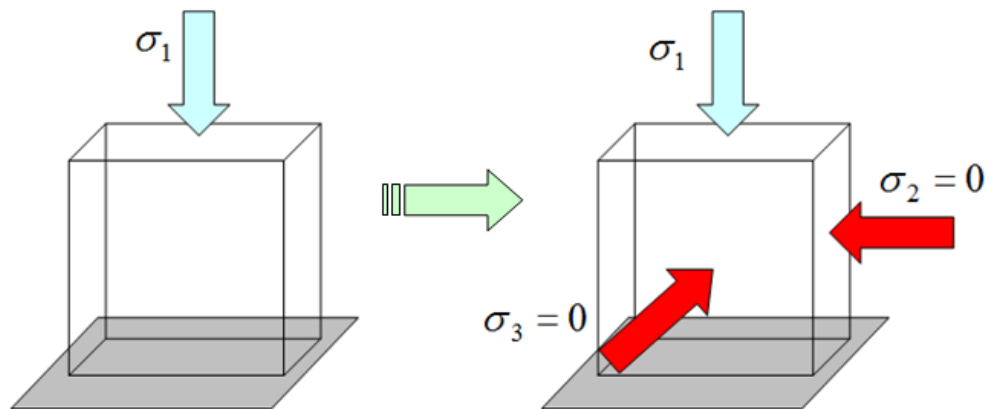


Рисунок 2.3 Схема розташування головних напружень при випробуванні

Повзучість являє собою процес зміни у часі деформацій тіла при незмінних доданих до неї напруженнях (рис.2.3). Знання реологічних властивостей матеріалу, а також характеристик міцності і руйнування дозволяє побудувати математичну модель для прогнозу руйнування твердого тіла при наявності в ньому тріщини. Метою експериментальних досліджень є визначення параметрів повзучості і параметрів деформування зразків пісковику у часі [59]. Перед початком експерименту слід підібрати величину навантаження такого, щоб процес повзучості одного зразка протікав протягом декількох годин. В результаті експерименту на повзучість твердого матеріалу фіксують відносну деформацію зразка у поставлені інтервали часу при дії постійного навантаження. Співвідношення лінійної теорії в'язко-пружності для опису повзучості і релаксації напружень в одновимірному випадку мають відповідно вигляд:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau; \quad (2.13)$$

$$\sigma(t) = E \cdot \varepsilon(t) + E \int_0^t R(t-\tau) \varepsilon(\tau) d\tau, \quad (2.14)$$

де $K(t-\tau)$ – ядро повзучості; $R(t-\tau)$ – ядро релаксації. Параметри цих ядер знаходять на підставі результатів експериментів на повзучість і релаксацію.

Так як процес повзучості відбувається при постійному навантаженні $\sigma_x = const$, то рівняння (2.1) після перетворень можна записати у вигляді:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_0 \int_0^t K(t-\tau) d\tau; \quad (2.15)$$

де $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_x}{E}$ – деформація в момент часу $t=0$.

Для опису необмежених процесів повзучості і релаксації використовувалось різницеве ядро Абеля:

$$K(t-\tau) = \lambda \frac{(t-\tau)^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)}, \quad 0 \leq \alpha < 1, \quad (2.16)$$

де $\Gamma(1-\alpha)$ – гамма-функція, а реологічні постійні α і λ визначались експериментально, зокрема, випробування на повзучість.

Для опису цього типу повзучості також використовувалось експоненціальне ядро

$$K(t-\tau) = \lambda e^{-\beta(t-\tau)}, \quad (2.17)$$

де β і λ – реологічні постійні.

Явища, що обумовлюють тривале руйнування гірських порід, кількісно залежать від їх реологічних властивостей, що характеризуються відношенням параметрів повзучості [57]. При підвищенні надійності і характеристики стану

масиву враховувались фізичні процеси, які виникають в гірських породах під дією навантаження. Нами враховувались закономірності деформації в породах під час руйнування [60, 61].

Визначені властивості і характеристики не є коректними, так як при проведенні досліджень за рахунок складної конструкції і додаткових дотичних і нормальних напружень не задовольняється повністю задача по визначенню тріщиностійкості, то для більш точних результатів і визначень фізико-механічних властивостей гірських порід нами був запропонований пристрій для визначення в'язкості руйнування гірських порід при поперечному зсуві (рис. 2.4), на який отриманий патент №148712 [62].

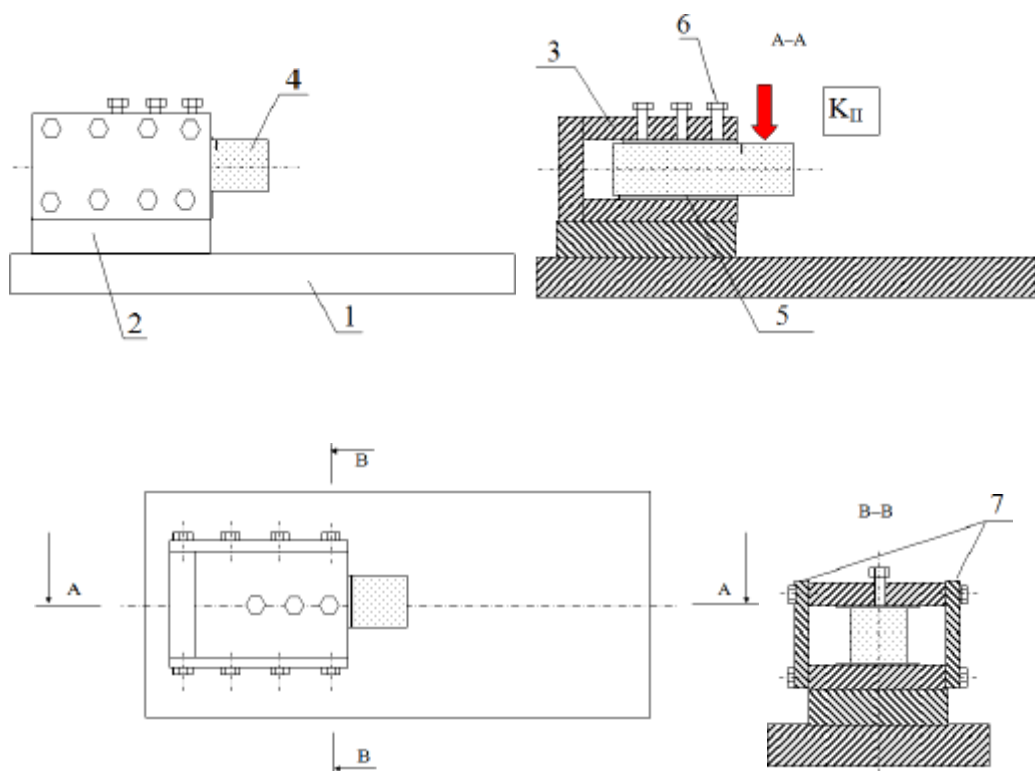


Рис. 2.4 Креслення пристрою для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві: 1 – основа, 2 – опорна станина, 3 – П-подібний тримач, 4 – зразок, 5 – металеві прокладки, 6 – болти, 7 – планка

Запропонований пристрій [62] для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві дозволяє визначити максимальне

навантаження при руйнуванні зразка без впливу на результат додаткових дотичних і нормальних напружень.

При проведенні досліджень на тріщиностійкість відбувався осьовий зсув зразка, і випробування з використанням гідравлічного пресу при одновісному стисканні надавали некоректні дані, тому нами був запропонований пристрій (рис. 2.5), на який отриманий патент №148200 [63].

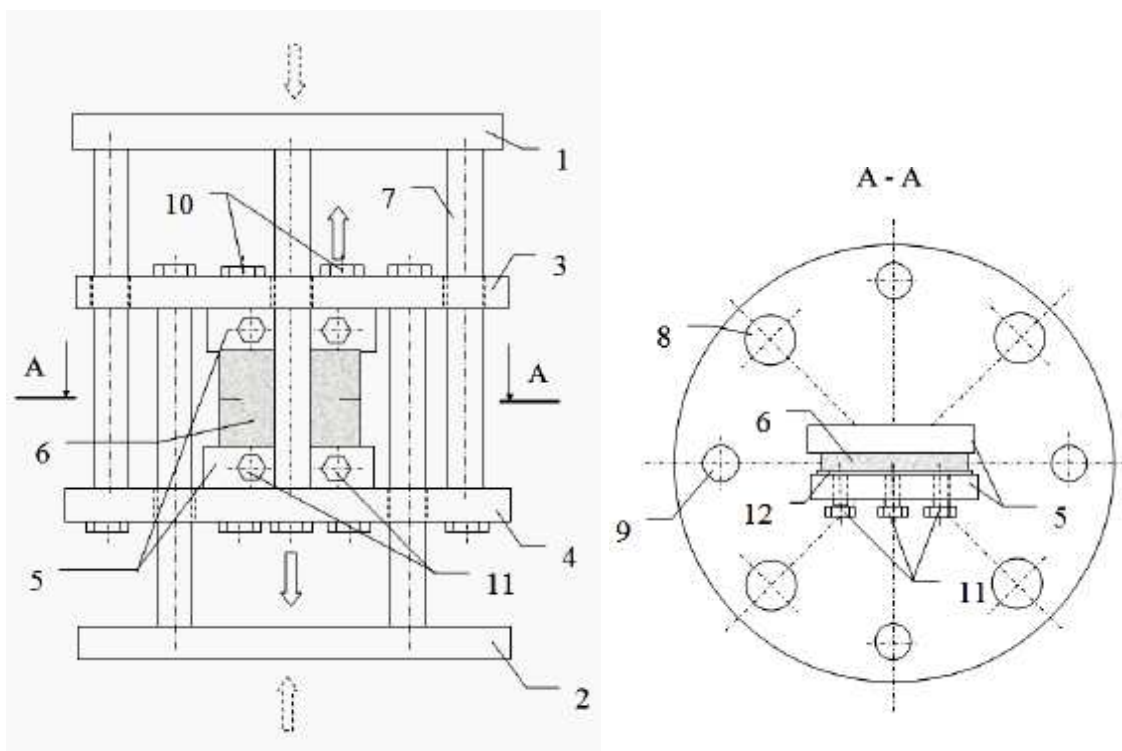


Рис. 2.5 Креслення пристрою для випробування гірських порід на тріщиностійкість: 1, 2 – верхня та нижня опорні плити, 3, 4 – верхня та нижня проміжні плити, 5 – утримувач зразка, 6 – зразок, 7 – опорні стрижні, 8 – отвори, 9 – отвори для кріплення стрижнів

Запропонований нами пристрій [63] для випробування гірських порід на тріщиностійкість містить стрижні та кріплення зразка, утримувач зразка (який має бути прямокутної форми з боковими надрізами), чотири опорних стрижні циліндричної форми, що з'єднують попарно між собою опорні та проміжні плити, на яких закріплено болтами утримувач зразка, що дозволяє усунути

зсуви зразка при випробуваннях.

2.1.1 Проведення експериментальних досліджень

На основі проведених нами досліджень [48] механічних властивостей зразків сухих та вологих, які впливають на стійкість виробок і враховуються при оцінці ризику втрати стійкості, отримана наступна залежність межі міцності від вологості зразка (рис. 2.6):

$$\sigma_c = 21.323 \cdot w^{-0.4045} \quad (2.18)$$

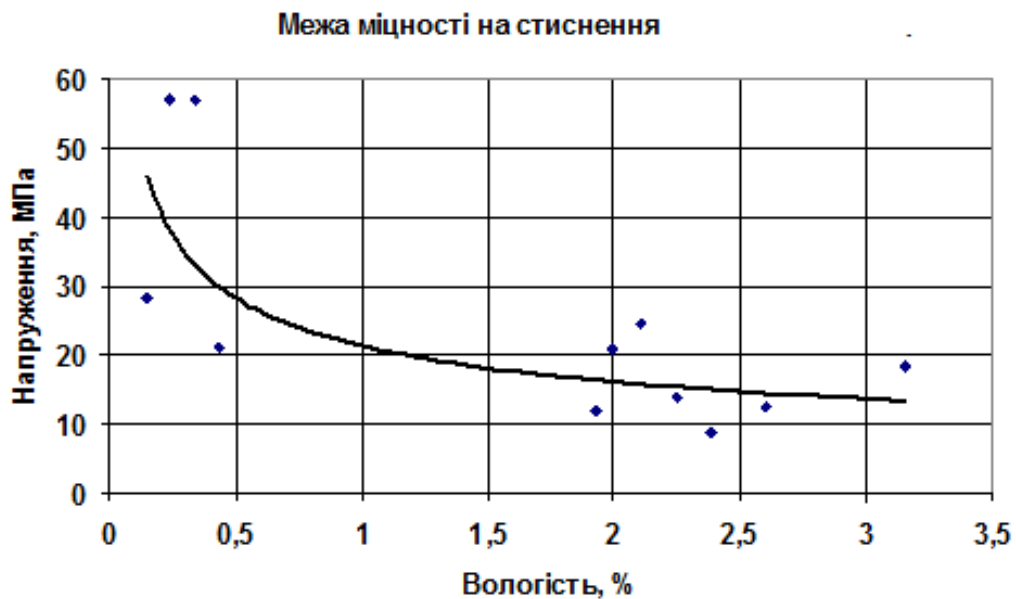


Рис. 2.6 Графік залежності межі міцності на стиснення від вологості зразка пісковика

Залежність межі міцності на стиснення від вологості зразка пісковика має вигляд степеневі функції. Наявність води в породах знижує міжмолекулярні зв'язки в мінералах, що впливає на міцність і знижує її. Нами було встановлено, що при примусовому зволоженні зразків насиченість зразків водою складає

від 2% до 3,15%; при пасивному насиченні вологою з повітря до 0,5% . При зволоженні зразків відбувається зменшення межі міцності на стиснення у 2 рази. Так, сухий зразок має межу міцності складає 45 МПа, при насиченні до 1% межа міцності набуває значення 22 МПа (рис. 2.6).

Нами встановлена залежність показника модуля пружності від вологості (рис. 2.7). Залежність має вид степеневої функції:

$$E = 0.3816 \cdot w^{-0.6259} \quad (2.19)$$

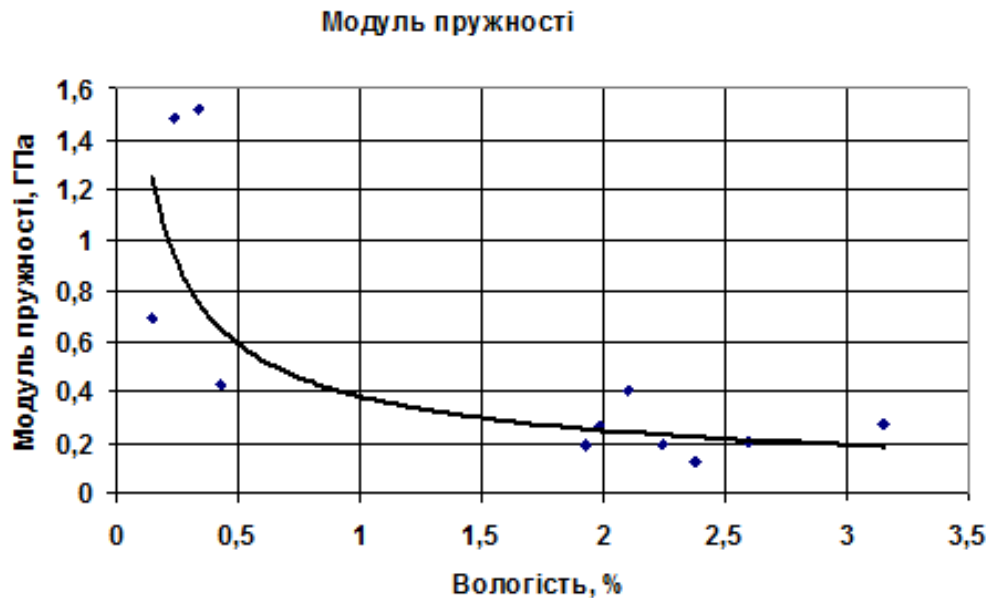


Рис. 2.7 Графік залежності модуля пружності від вологості зразка пісковика

При збільшенні вологості змінюються пружні деформації на пластичні, що веде до зменшення модуля пружності. Встановлено зменшення модуля пружності у 4,2 рази. Графік показує, що модуль пружності сухого зразка 1,28 ГПа, а при зволоженні в 1% складає 0,35 ГПа (рис. 2.7).

На основі проведених нами досліджень встановлена залежність коефіцієнта поперечної деформації від вологості зразка (рис. 2.8). Залежність коефіцієнта поперечної деформації від вологості зразка пісковика має вигляд логарифмічної функції:

$$\mu = 0.0918 \cdot \ln(w) + 0.3526 \quad (2.20)$$

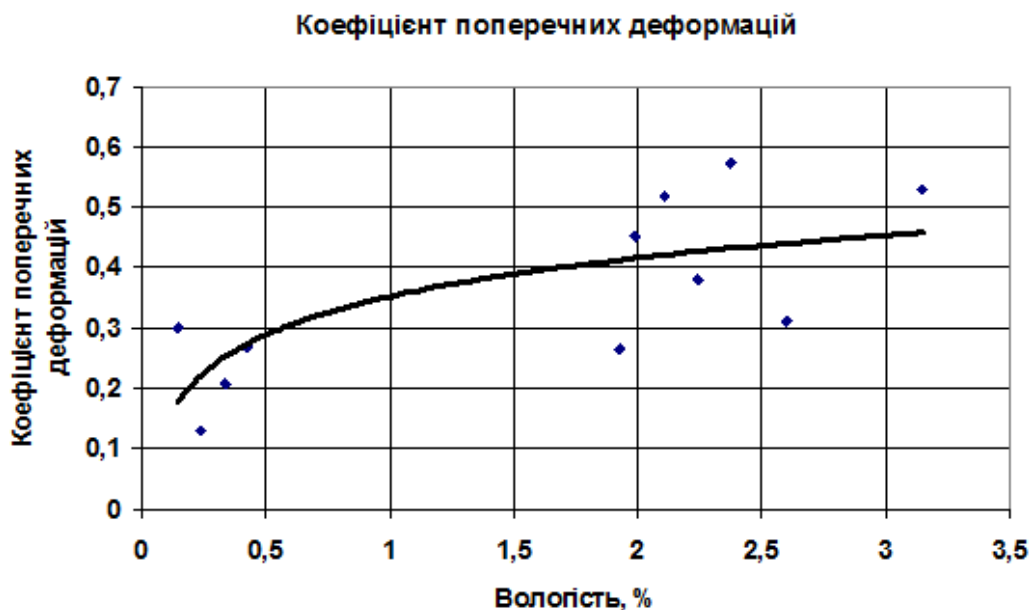
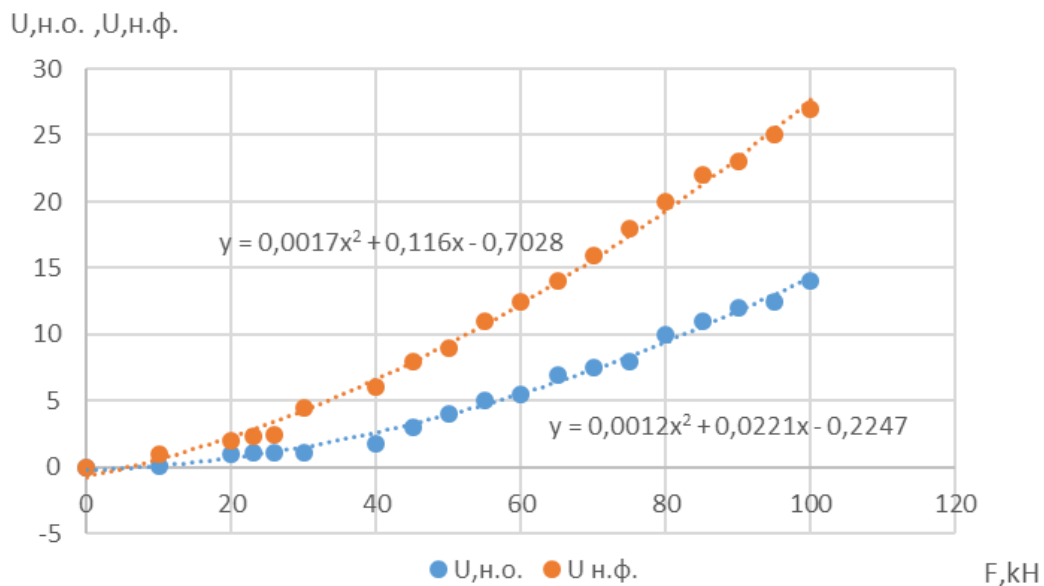


Рис. 2.8 Графік залежності коефіцієнта поперечної деформації від вологості зразка пісковика

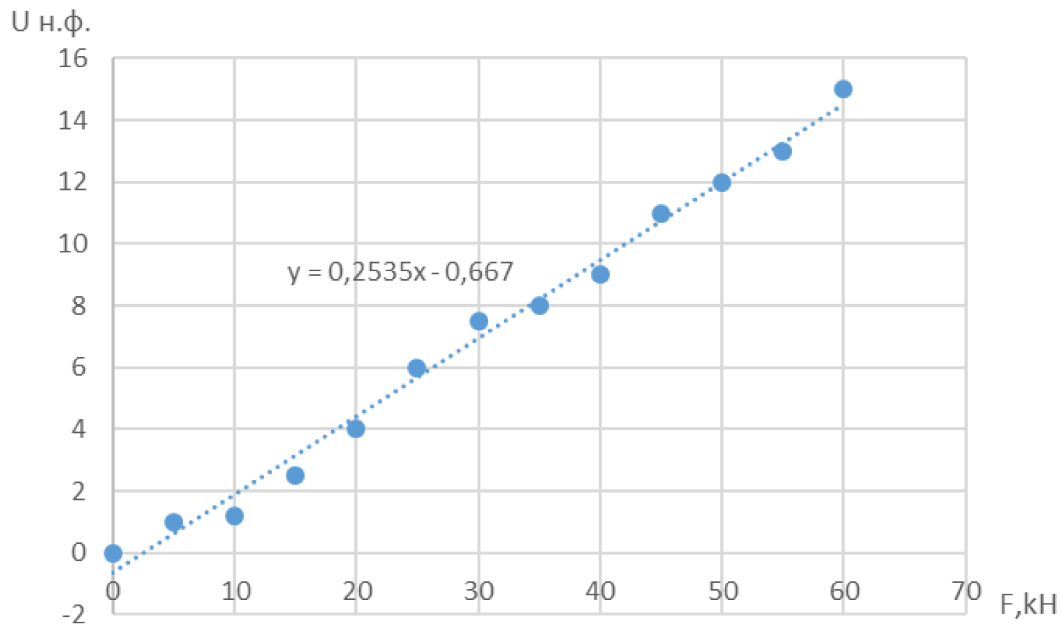
Зі збільшенням вологості поперечні деформації зростають за рахунок пластичних деформацій, що виникають у вологому зразку на відміну від крихких, які діють у сухому зразку. Встановлено збільшення коефіцієнта поперечної деформації у 2,3 рази. За графіком видно, що коефіцієнт поперечних деформацій сухого зразка складає 0,16, а в зволоженому до 1% зразку зростає до 0,38 (рис. 2.8).

Отримані нами фізико-механічні властивості пісковика в результаті експериментальних випробувань були прийняті для чисельного дослідження напружено-деформованого стану гірських порід навколо виробки, що підтримується.

За результатами проведених нами досліджень [64] було вперше встановлено характер деформування охоронних споруд у вигляді куштів зі стояків гірничих виробок за лінійною залежністю і накатних кострів за степеневою функцією. Встановлено, що при деформації накатних кострів їх потенційна енергія збільшується в міру збільшення стискаючої сили, при цьому питома потенційна енергія витрачається на зміну об'єму менше ніж на зміну форми охоронних споруд (рис.2.9).



а)



б)

Рис. 2.9 Графіки змін питомої потенційної енергії накатних кострів зі шпал (а) і кушів зі стояків (б) при зміні об'єму U_o і форми U_ϕ охоронних споруд від величини стискаючої сили F (Н): 1 – U_o (Дж/м³); 2 – U_ϕ (Дж/м³)

Отримані залежності змін питомої потенційної енергії зміни об'єму і форми від величини стискаючої сили, які мають вид:

$$y = 0.0012 \cdot x^2 + 0.0221 \cdot x - 0.2247 \quad (2.21)$$

$$y = 0.2535 \cdot x - 0.667 \quad (2.22)$$

$$y = 0.0017 \cdot x^2 + 116 \cdot x - 0.7028 \quad (2.23)$$

В результаті виконаних досліджень деформаційних характеристик охоронних споруд, призначених для підтримання бічних порід підземних виробок встановлено, що використання кушів зі стояків є малоефективним, бо така споруда під дією стискаючої сили руйнується раптово, а для забезпечення безпеки необхідні піддатливі охоронні споруди, такі як, наприклад, накатні костри.

При випробуванні на зсув зі стисненням нами було встановлено, що із збільшенням кута нахилу зразка спостерігається тенденція зменшення нормальних руйнуючих напружень (рис. 2.10). Отримана залежність наступного виду:

$$y = -0.2467 \cdot x + 22.733 \quad (2.24)$$

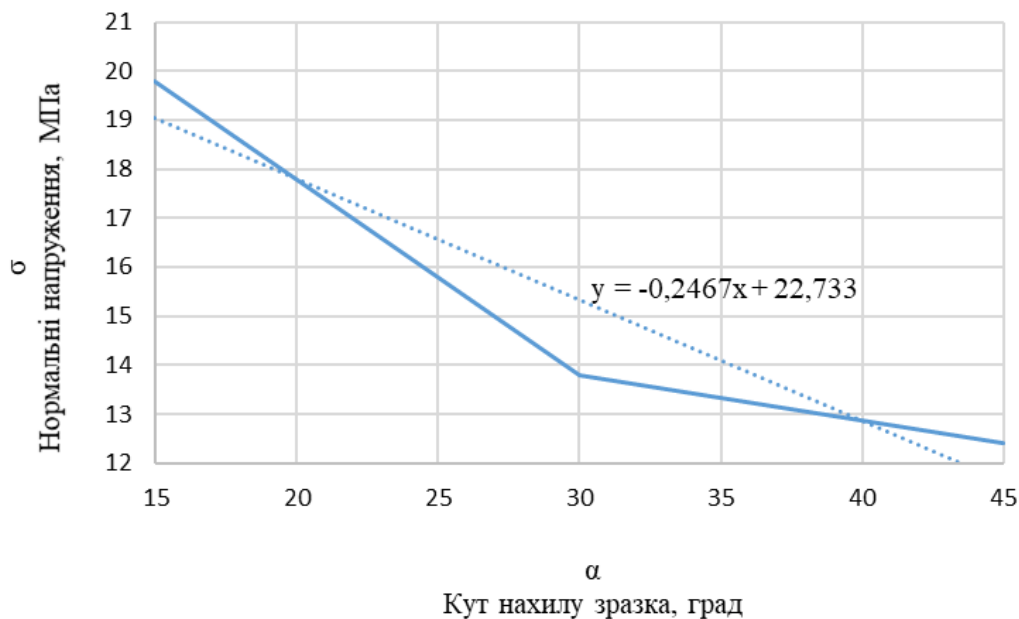


Рис. 2.10 Залежність нормальних напружень від кута нахилу зразка

Графік показує, що при зсуві при куті нахилу в 15° спостерігались напруження в 19,8 МПа, при 30° в 13,9 МПа, при 45° - 12,9 МПа відповідно.

Зі збільшенням кута нахилу зразка при випробуванні маємо тенденцію лінійного зростання дотичних руйнуючих напружень (рис. 2.11). Залежність лінійна має вид:

$$y = 0.2267 \cdot x - 1.2333 \quad (2.25)$$

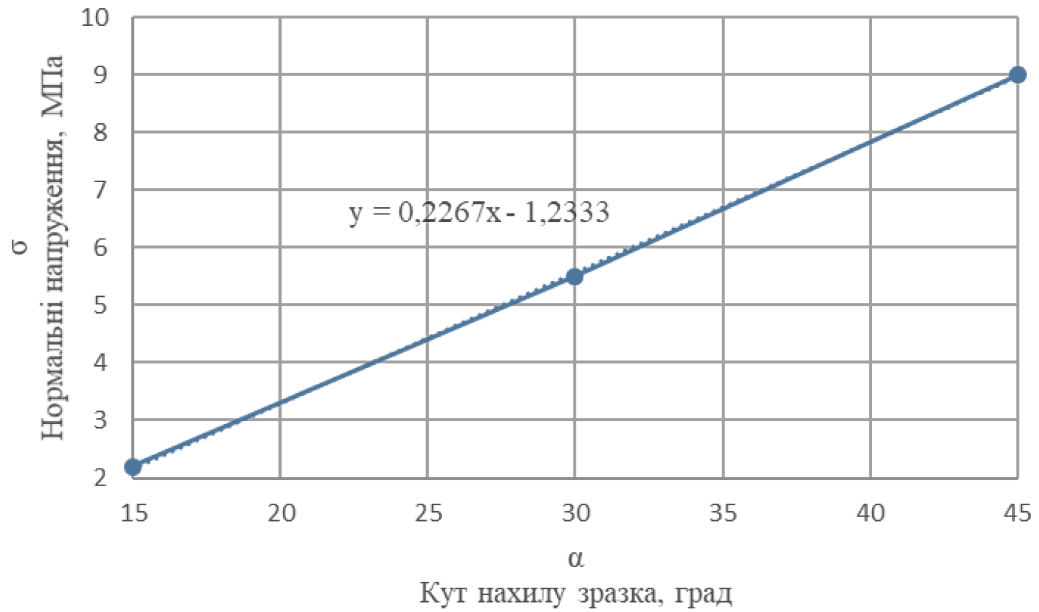


Рис. 2.11 Залежність дотичних напружень від кута нахилу зразка

Отже зміна кута нахилу зразка змінює долю участі руйнуючих напружень – перетворюючи стискаючі напруження у дотичні і навпаки (рис. 2.12) за наступною залежністю:

$$y = 8521.8 \cdot x^{2.772} \quad (2.26)$$

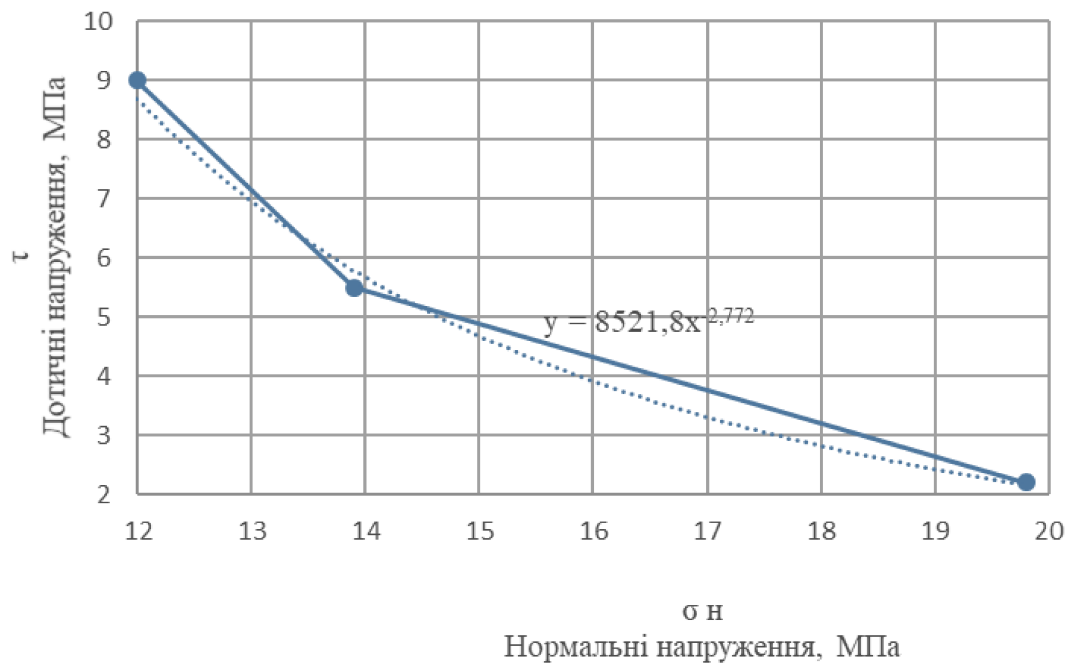


Рис. 2.12 Залежність дотичних від нормальних напружень

Нами в ході експериментальних досліджень було встановлено, що при руйнуванні пісковику на стискання з зсувом, зі збільшенням стискаючих напружень зменшуються дотичні напруження і, навпаки, зі зменшенням стискаючих напружень збільшуються дотичні напруження за залежністю (2.26), при стискаючому напруженні 19,8 МПа дотичне рівне 2,1 МПа, а при стискаючому напруженні 13 МПа дотичне – 7,2 МПа. Визначення параметрів руйнування при спільній дії нормальних і дотичних напружень надало можливість використати дані параметри при визначенні області руйнувань при моделюванні напружено-деформованого стану масиву.

2.2 Методика проведення натурних досліджень

Для об'єктивної оцінки стану і характеру проявів гірського тиску існує декілька відносно ефективних засобів, серед яких фізичне моделювання і проведення шахтного моніторингу (натурні вимірювання), аналітичні дослідження. Перелічені методи мають свої переваги й недоліки, але найбільш об'єктивні результати можна отримати завдяки натурним вимірам. Такі результати найбільш наближені до реальних умов, результати більш точні і дозволяють встановити фактичні значення величин зміщень гірських порід по різним точкам зняття замірів різними способами (прямим, методом встановлення замірних станцій, методом співставлення паспортних і фактичних значень), спостерігаючи за процесом деформування кріплення під дією гірського тиску [65]. Інструментальні спостереження дозволяють отримати найбільш достовірну і повну інформацію про поведінку гірського масиву, що включає виробку, встановити основні закономірності процесу зміщення порід, утворення, формування і просторового розміщення зони порушених порід в залежності від глибини розробки, міцності, кута падіння порід, направлення

проведення виробки, частоти перешарування вміщуючих порід різного літологічного складу, наявності очисних робіт та інші фактори [57].

Важливо мати інформацію про зрушення масиву на конкретній ділянці виробки на момент підходу очисних робіт для завчасного прийняття рішень з подальшої підтримки виробки. Це пов'язано не тільки з оцінкою стійкості виробки і кріплення, а й з нормами та вимогами правил безпеки, що пов'язані з транспортом, пересуванням людей, вентиляцією тощо [66].

Існують різні види методів проведення натурних експериментів. Так, методи візуального спостереження використовують при вивченні ділянок порушень на контурі виробки, що зумовлені напруженнями які діють в масиві. Це може дозволити за даними спостережень у виробках приблизно оцінити величини і напрямки дії головних напружень, а також мінливість поля напружень у межах ділянки, що досліджується. Стан виробки фіксувався за допомогою фотозйомки для подальшого детального аналізу.

Методи маркшейдерських вимірювань закономірностей деформування і руйнування масиву порід, що виникають в результаті проведення гірничих виробок включають вимірювання конвергенції контурів порушення порід. При цьому методі зазвичай використовують тахометр, лазерну рулетку [67, 68].

Нами розроблена методика шахтних інструментальних спостережень за деформацією арочного кріплення і перетином виробки. Вона полягає у наступному (рис. 2.13, а): на контурі арочного кріплення кожної замірної станції фіксують п'ять реперів (фарбою, або крейдою). Дві розташовані на ніжках кріплення з відстанню 1 м від підосви виробки, для виміру ширини виробки. Ще дві розташовані на замках металевого кріплення і остання на вершині арочного кріплення для виміру висоти виробки та встановлення деформації її перетину. Три виміри виконуються від реперу на підосви виробки (це може бути рейковий шлях, або інша позначка). Виміри здійснюються за допомогою лазерного далекоміру з похибкою ± 1 мм (рис. 2.13, б).

Оцінка стану виробки виконується візуально перед тим, як будуть проведені заміри вимірювальними приладами. Обстеження і заміри виконувались однією і тією ж бригадою, фото виконувались з одних ракурсів для спостереження за динамікою процесу. Візуальна оцінка стану виробки, фотофіксація і вимірювання проводились з інтервалом у декілька днів. Вимірювання проводились за допомогою лазерного далекоміру SW-G4S 40M, дані заносились в таблицю спостережень. За цими даними в подальшому побудовані графіки.

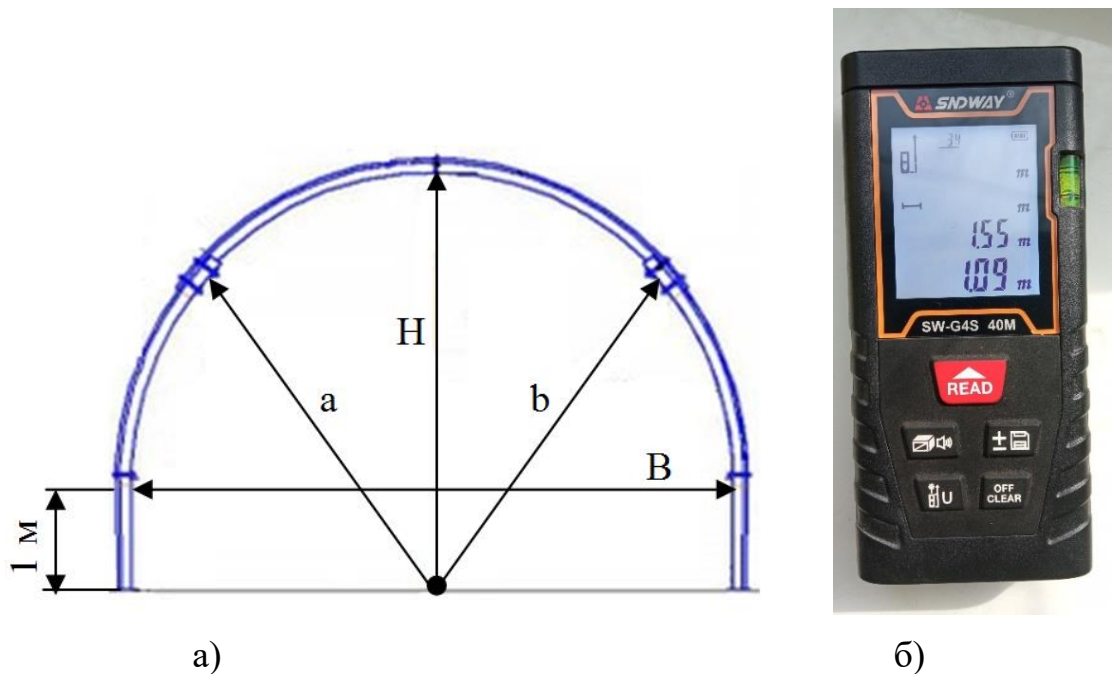


Рис. 2.13 Схема вимірювання реперних параметрів розташованих на арочному кріпленні (а), та зовнішній вигляд лазерного далекоміру SW-G4S 40M (б)

Висновки до розділу 2

1. Проведено обґрунтування щодо фізико-механічних характеристик пісковику, що впливають на стійкість виробок: та розроблена методика щодо визначення можливих ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (втрати стійкості кріплень, що призводить до обвалень і руйнувань) з урахуванням

умов будівництва. Отримані показники що характеризують реологічні властивості порід, які прийняті до методики з визначення ризиків небезпеки, пов'язаних з втратою стійкості.

2. Проведено вдосконалення пристроїв для випробування порід на в'язкість руйнування та для випробування гірських порід на тріщиностійкість. На пристрої одержані патенти: пристрій для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві №148712 та пристрій для випробування гірських порід на тріщиностійкість №148200 відповідно (Додаток Б)[62, 63].

3. Вперше встановлена закономірність залежності межі міцності на стиснення від вологості. Встановлено, при зволоженні зразків до 3% відбувається зменшення межі міцності на стиснення у 2 рази.

4. Вперше отримана залежність модуля пружності від вологості. Встановлено зменшення модуля пружності у 4,2 рази зі зростанням зволоженості зразка до 3%.

5. Вперше встановлена залежність коефіцієнта поперечної деформації від вологості, при цьому спостерігається закономірність збільшення коефіцієнта поперечної деформації у 2,3 рази при вологості 3%.

6. Встановлені залежності змін питомої потенційної енергії зміни об'єму і форми від величини стискаючих сил, при цьому питома потенційна енергія витрачається на зміну об'єму менше ніж на зміну форми охоронних споруд. Визначено, що використання охоронних споруд у вигляді кушів зі стояків малоефективне, на відміну від накатних кострів.

7. Отримані залежності нормальних і дотичних напружень від кута нахилу зразка і залежність дотичних від нормальних напружень, що характеризують тенденцію до зменшення нормальних і зростання дотичних руйнуючих напружень при збільшенням кута нахилу зразка при випробуванні, які були нами прийняті до методики щодо ризиків втрати стійкості.

8. Встановлені закономірності зміни межі міцності, модуля пружності, коефіцієнта поперечної деформації, змін питомої потенційної енергії зміни об'єму і форми від величини стискаючих сил, нормальних напружень і дотичних напружень від кута нахилу зразка, залежність дотичних від нормальних напружень. З урахуванням насиченості вологою пісковика запропоновано застосовувати в подальшому для визначення ризиків втрати стійкості при оцінці безпеки експлуатації підземних споруд при використанні їх для розміщення воєнних об'єктів.

Список використаних джерел у розділі 2

У розділі 2 використані [41...68] джерела. Їх перелік і найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

РОЗДІЛ III

ОЦІНКА РИЗИКУ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК З УРАХУВАННЯМ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Проведення натурних досліджень у підземних виробках.

При оцінці безпеки шахтного простору нами проведені натурні дослідження деформаційних процесів в оточуючому виробку масиві, що спричинені проведенням технологічних робіт. Встановлено, що достовірними будуть параметри спостережень, які отримані в результаті шахтного моніторингу стану виробки, який включає в себе комплексні дослідження: візуальні і інструментальні.

Нами були проведені натурні дослідження в умовах розробки 615 лави шахтного поля шахти «Ювілейна» ВСП «ШУ ПЕРШОТРАВЕНСЬКЕ» ПАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ». За паспортом вугільний пласт С₆ простої та складної будови, його геологічна потужність коливається від 1,25 до 1,46 м. Породний прошарок представлений аргілітом (0,02-0,14 м), верхня вугільна пачка (0,02-0,44 м), нижня вугільна пачка (0,10-0,27 м), міцність $f=2-3$. Структура пласта С₆ показана на рис.3.1.

Вибір виробки 615 лави шахтного поля шахти «Ювілейна» пов'язаний з тим, що вона має характерний породний прошарок для шахт Західного Донбасу.

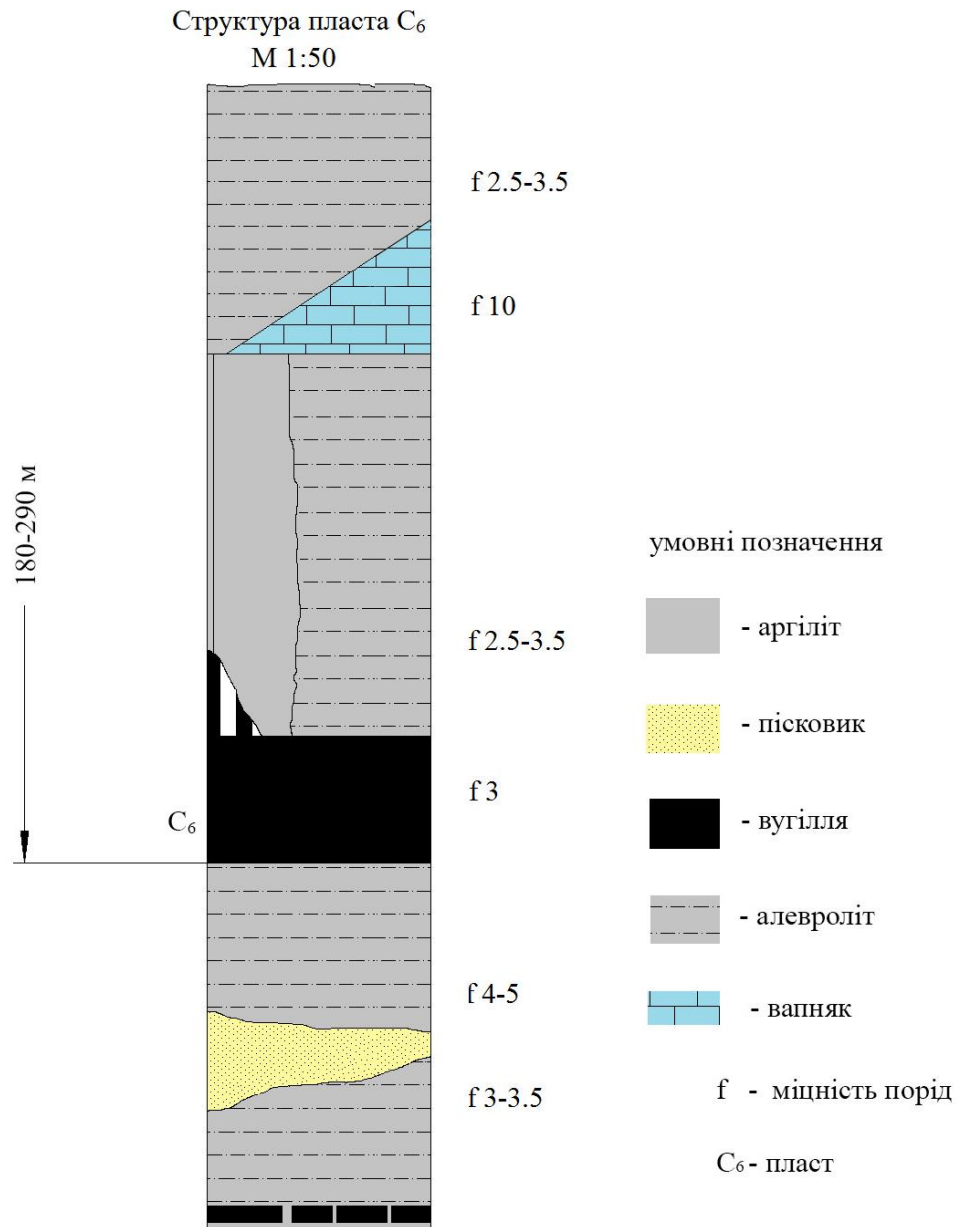


Рис. 3.1 Схема структури пласта С₆

Наряду з проведенням інструментального вимірювального методу досліджень застосований і метод фотофіксації стану виробки на момент проведення замірів. Результати спостережень за деформаційними змінами аркового кріплення представлені на рис. 3.2.



a)



б)



В)



Г)



Д)



е)

Рис.3.2 Фото виробки: а - початковий стан; б-е - деформації аркових кріплень виробки

Загальний початковий стан виробки можна спостерігати на рис.3.2 (а). На рис.3.2 (б-е) видно як відбувається нарощування деформацій кріплення та проявляється дія гірського тиску на зовнішньому вигляді кріплення і перерізі виробки в цілому – втрата стійкості стояками, прогини секцій, вивалення порід, деформації тощо.

Вимірювання проводились за допомогою періодичних замірів переміщень реперів, ці дії проводились у декілька разів для встановлення середнього значення на ділянках гірничої виробки, обраних для спостережень. Виміри проводились по чотирьох напрямках, а саме – висота H , ширина B , а і b відстані від умовного центру до замків аркового кріплення (див.п.2.2, рис.2.13).

Проведення замірів на всіх дослідних пікетах проводилось в один і той же день, в одну і ту ж зміну, на схемі показаний напрям руху забою зворотний) і схематично зображено розміщення дослідних пікетів (рис.3.3). Відстань між пікетами 20 м.

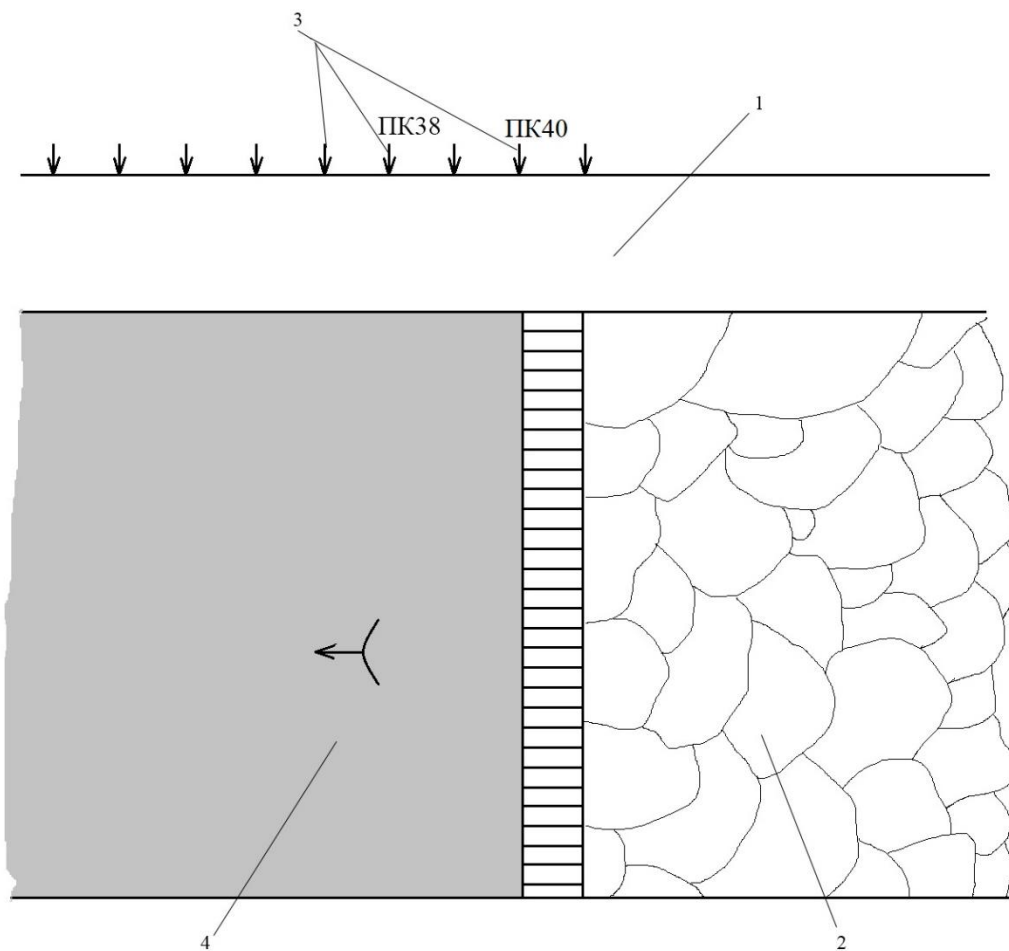


Рис.3.3 Схема натурних досліджень дільниці: 1 – виробка, 2 – відпрацьований простір, 3 – дослідні пікети, 4 – напрям руху забою

Отримані результати вимірів за схемою (рис.2.13) зведені в таблицю даних (табл.3.1). Частота проведення спостережень і замірів на початку не рідше одного разу на три дні, надалі спостереження і виміри коригувались інтенсивністю процесів у виробництві.

Таблиця 3.1

№ пікета (ПК 20м)	Висота Н, м	Ширина В, м	Відстань а, м	Відстань b, м
20	3,75	4,20	3,34	3,52
23	3,69	4,25	3,34	3,46
26	3,78	4,10	3,45	3,53
29	3,66	4,18	3,35	3,48
32	3,63	3,98	3,28	3,50
35	3,80	4,14	3,45	3,63
38	3,51	4,00	3,24	3,29
40	3,16	3,84	2,88	3,01
20	3,73	4,19	3,34	3,52
23	3,69	4,25	3,34	3,46
26	3,77	4,10	3,41	3,53
29	3,66	4,17	3,34	3,48
32	3,62	3,96	3,24	3,48
35	3,80	4,14	3,38	3,51
38	3,25	3,88	2,85	3,17
40	3,06	3,80	2,79	2,90
20	3,73	4,19	3,34	3,52
23	3,69	4,23	3,34	3,46
26	3,77	4,08	3,38	3,53
29	3,66	4,15	3,33	3,47
32	3,53	3,96	3,11	3,47
35	3,59	4,10	3,22	3,45
38	2,90	3,82	2,50	2,90
40	2,99	3,74	2,71	2,89
20	3,73	4,19	3,34	3,52
23	3,59	4,22	3,27	3,46
26	3,58	4,05	3,28	3,42
29	3,55	4,15	3,17	3,42
32	3,47	3,96	3,09	3,46
35	2,94	4,01	2,67	3,07
38	2,75	3,77	2,36	2,77

Продовження табл. 3.1

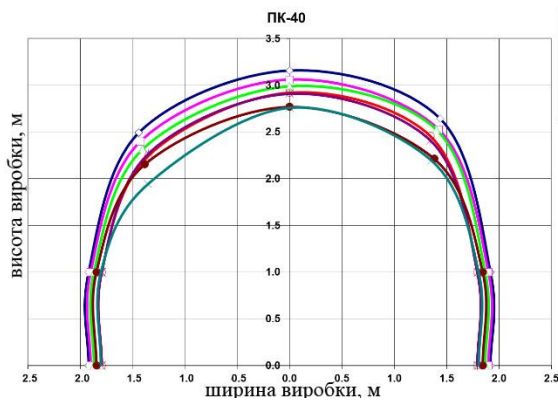
40	2,92	3,59	2,62	2,80
20	3,57	4,19	3,13	3,50
23	3,55	4,17	3,26	3,44
26	3,55	4,04	3,22	3,40
29	3,48	4,13	3,17	3,20
32	3,06	3,59	2,52	3,14
35	2,93	3,96	2,59	2,98
38	2,69	3,70	2,28	2,70
40	2,91	3,59	2,64	2,76
20	3,53	4,10	3,13	3,49
23	3,55	4,12	3,26	3,44
26	3,53	4,03	3,20	3,40
29	3,49	4,21	3,20	3,22
32	2,82	3,45	2,32	3,01
35	2,87	3,89	2,55	2,98
38	2,66	3,68	2,30	2,72
40	2,77	3,69	2,56	2,61
26	3,50	4,03	3,17	3,38
29	2,98	3,78	2,59	2,89
32	2,69	3,38	2,16	2,90
35	2,79	2,87	2,47	2,89
38	2,66	3,68	2,27	2,71
40	2,76	3,61	2,37	2,58

3.2 Результати натурних досліджень деформаційних процесів в підземній виробці

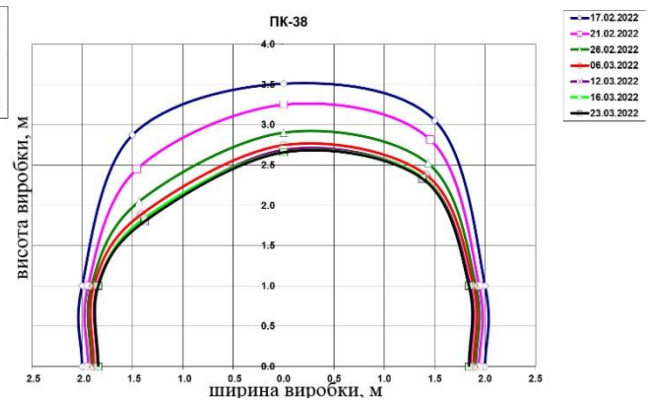
Методом лінійної інтерполяції нами була встановлена геометрія поточного перетину виробки. За отриманими результатами побудовані перерізи для наочного вигляду деформацій кріплення, що опосередковано характеризує зони опорного тиску гірничого масиву. В залежності від співвідношення міцності і напруженості в масиві розрізняють три типи деформацій порід (за

І.П. Черняком): І тип – стійкі, зміщення на контурі не перевищує 50 мм, ІІ тип – середньої стійкості, зміщення на контурі змінюються в діапазоні 50...200 мм, ІІІ тип – нестійкі, напруження на контурі виробки перевищує миттєву міцність породи і руйнування порід починається слідом за проведенням виробки, зміщення контуру зазвичай перевищує 200 мм [69].

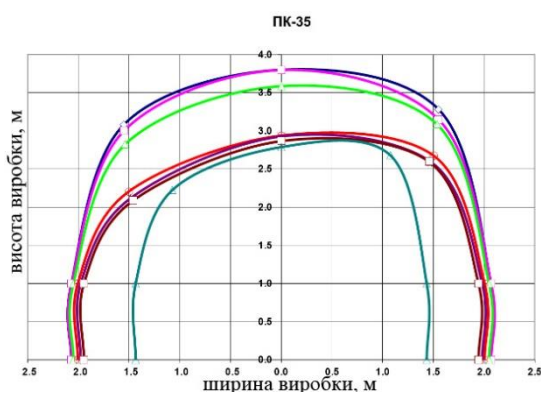
На основі проведених натурних досліджень нами були постросені перерізи виробки та представлені графіки зміни форми та площі перерізу за датою і в залежності від номера пікету (рис.3.4).



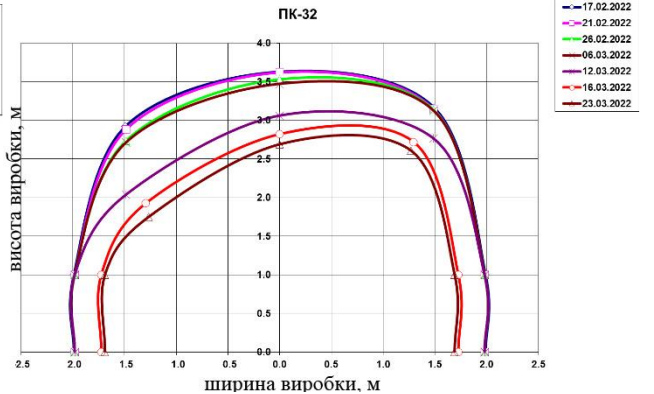
а)



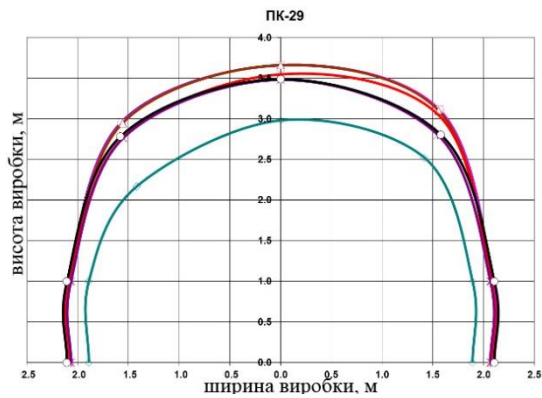
б)



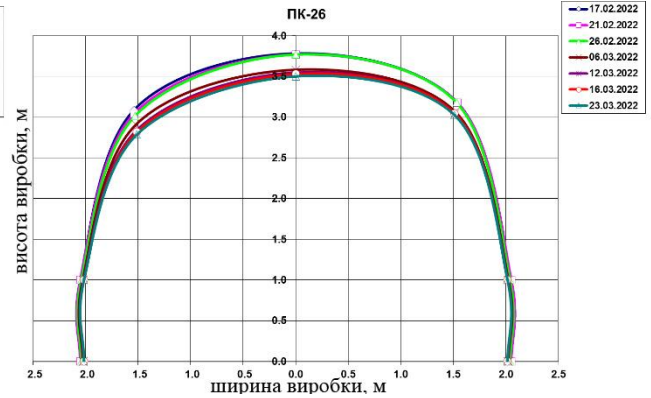
в)



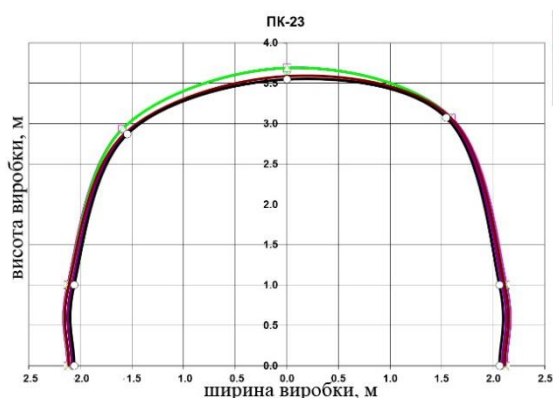
г)



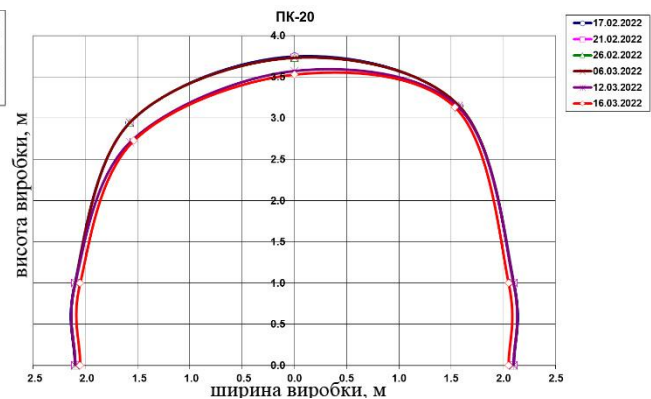
д)



е)



є)

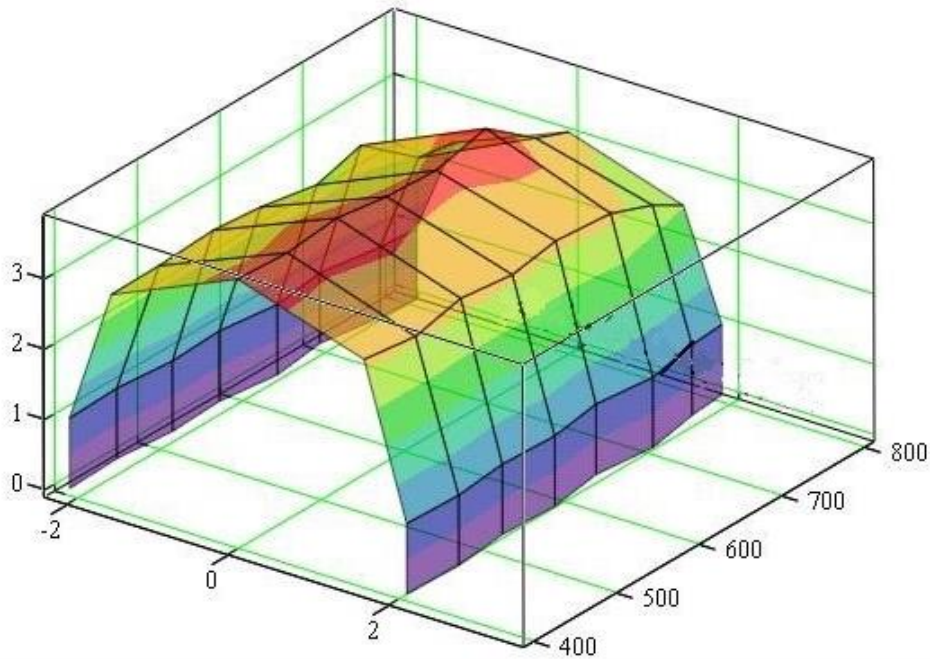


ж)

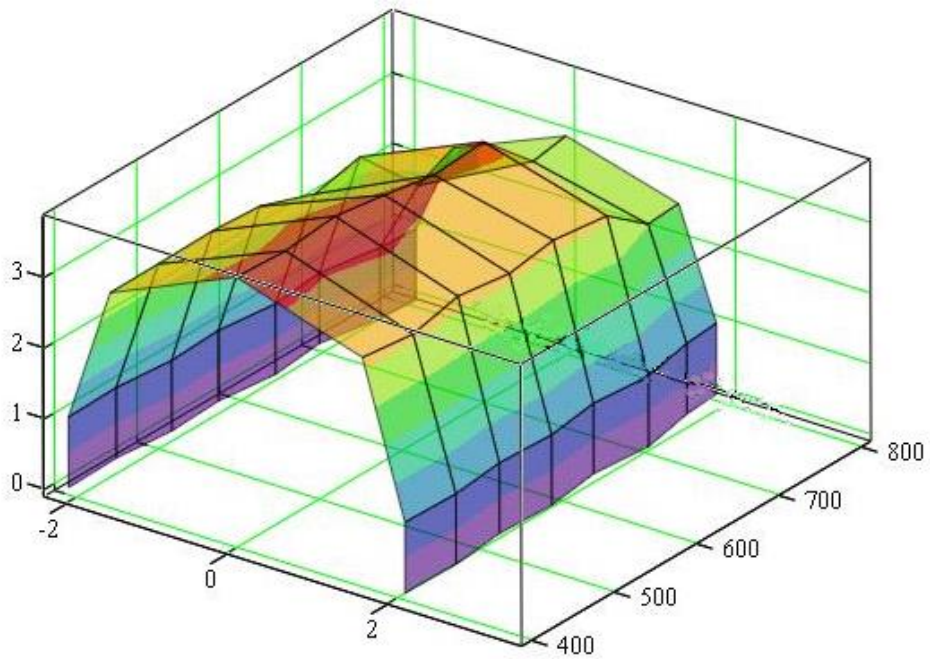
Рис.3.4 Графіки зміни перерізів виробки по пікетах (а-ж - пікети 20-40 відповідно)

Як видно з представлених графіків (рис.3.4) зміна форми, відповідно і площі перерізу виробки, відбувалися на кожному етапі досліджень наряду з виробничими процесами, обумовленими впливом динамічних сил, більш (рис.3.4. б-д) або менш інтенсивніше(рис.3.4. а, е-ж). Ці зміни відбувалися нерівномірно і хвилеподібно. Зміна напружено-деформованого стану масиву обумовлена впливом робіт у вибою лави. Такому стану характерне інтенсивне нарощування зміщень до 0,9...1,01м (наприклад на пікеті ПК35, рис.3.4 в), що складає до 27,3% від початкових значень, зміщення вимірювальних точок мають хвилеподібний характер з різкими піками зміни швидкості зміщень.

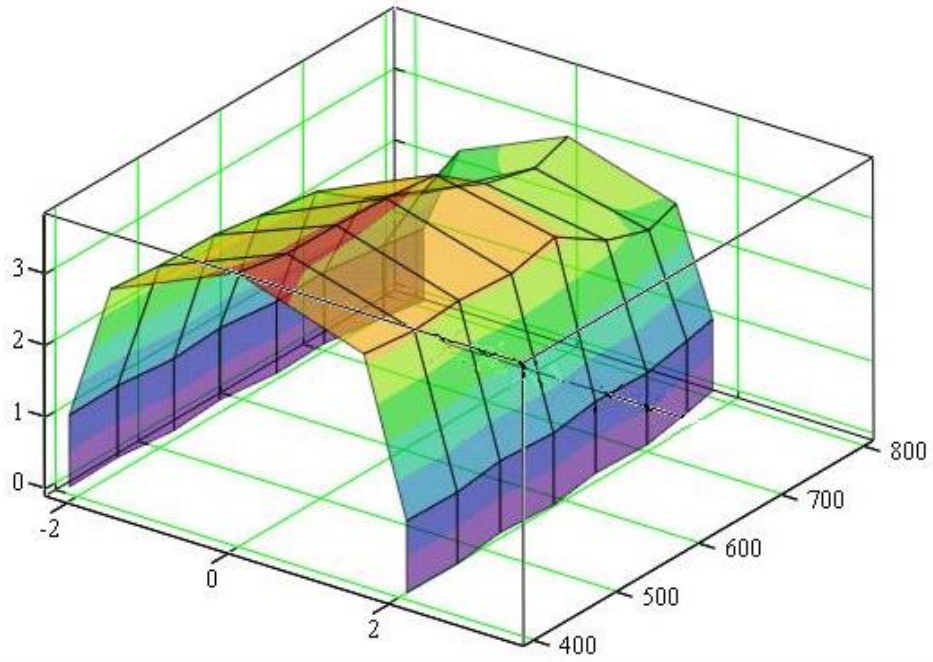
На рис 3.5 представлена покрокова об'ємна модель виробки, за якою можна спостерігати характер і динаміку деформацій об'ємного простору виробки.



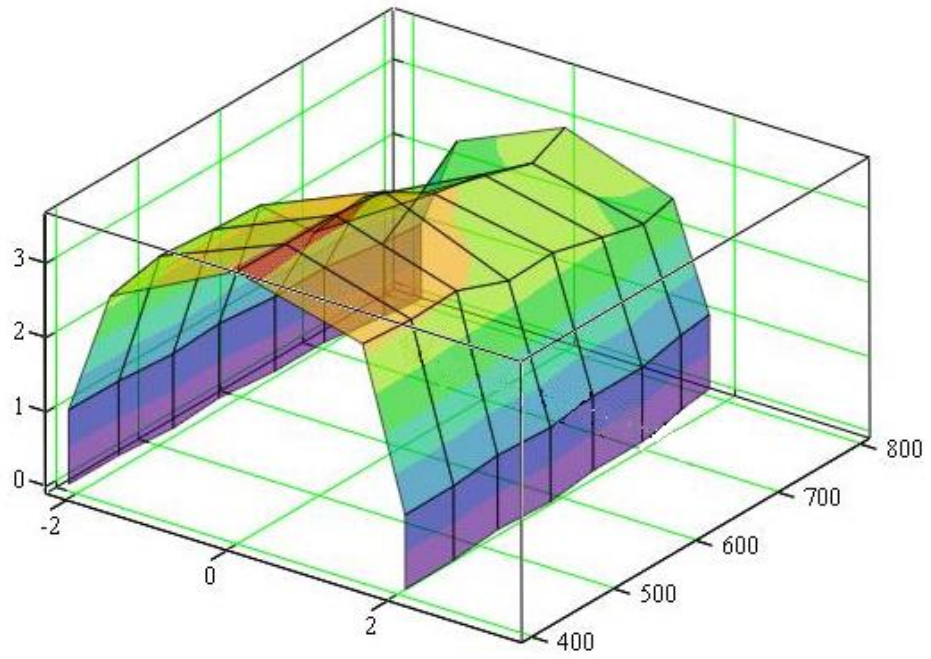
а)



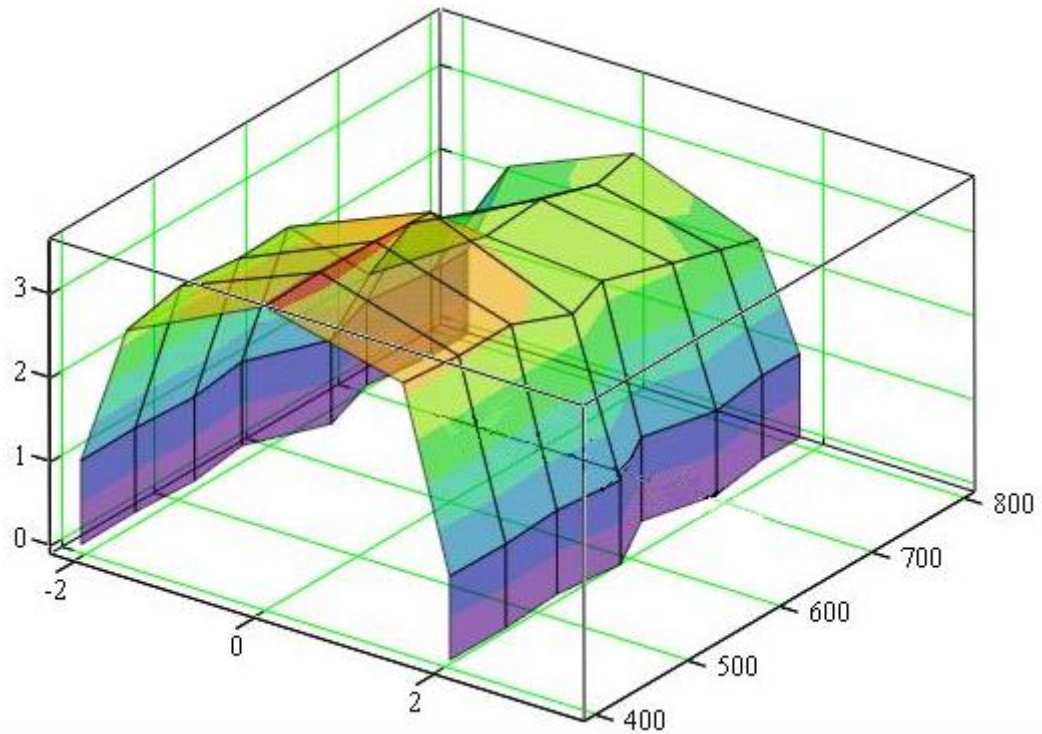
б)



B)



Г)



д)

Рис.3.5 Зображення моделювання деформацій кріплень виробки з часом за натурними даними (а-д)

Графіки наочно показують вплив динамічних сил на об'ємний простір виробки. Зміна параметрів по всім напрямкам (висота і ширина) нерівномірна і нелінійна, це пояснюється опосередкованим впливом породних шарів масиву виробки на формування гірського тиску. Так, при зависанні породного шару, гірський тиск на бічні породи виробки збільшується, при їх обваленні відбувається перерозподіл напруження і тиск на бічні породи виробки зменшується. Це пояснюється тим, що слідом за пружними зміщеннями порід покрівлі та стінок розвиваються непружні деформації і відбуваються локальні руйнування. Цьому сприяє розвинення в масиві зон концентрацій, як стискаючих так і розтягуючих напружень. Відносно нерівномірний зсув породних шарів трапляється з-за нерівномірного розвантаження порід від утворення нерівномірно розподіленої площі оголення поверхні. Пошарове

видавлювання з-під бортів виробки породи призводить до наближення боків виробки (рис.3.5, д). спостерігаються деформації породи у вигляді підняття зруйнованих шарів (рис.3.5, г-д). Порушені породні шари з часом ущільнюються і знову можна спостерігати певний стабільний стан.

На рис.3.6 показаний графіки залежності зміни висоти виробки від довжини виробки.

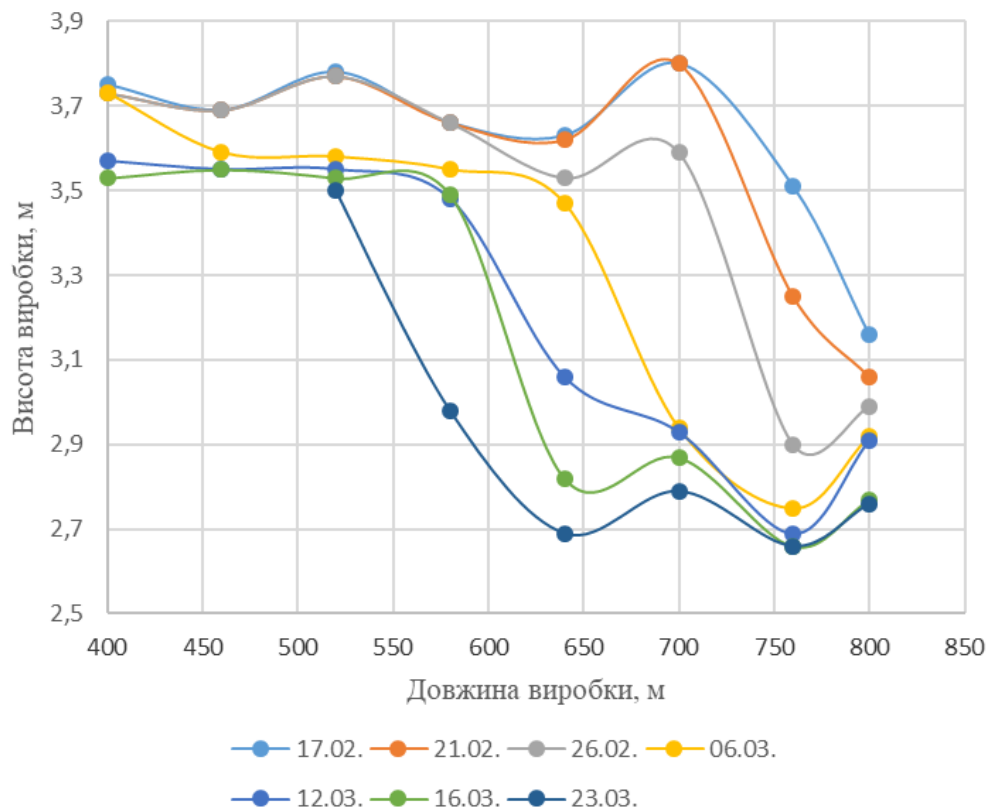


Рис.3.6 Зміна висоти виробки по її довжині, м

На рис.3.7 показаний графіки залежності зміни ширини виробки від її довжини.

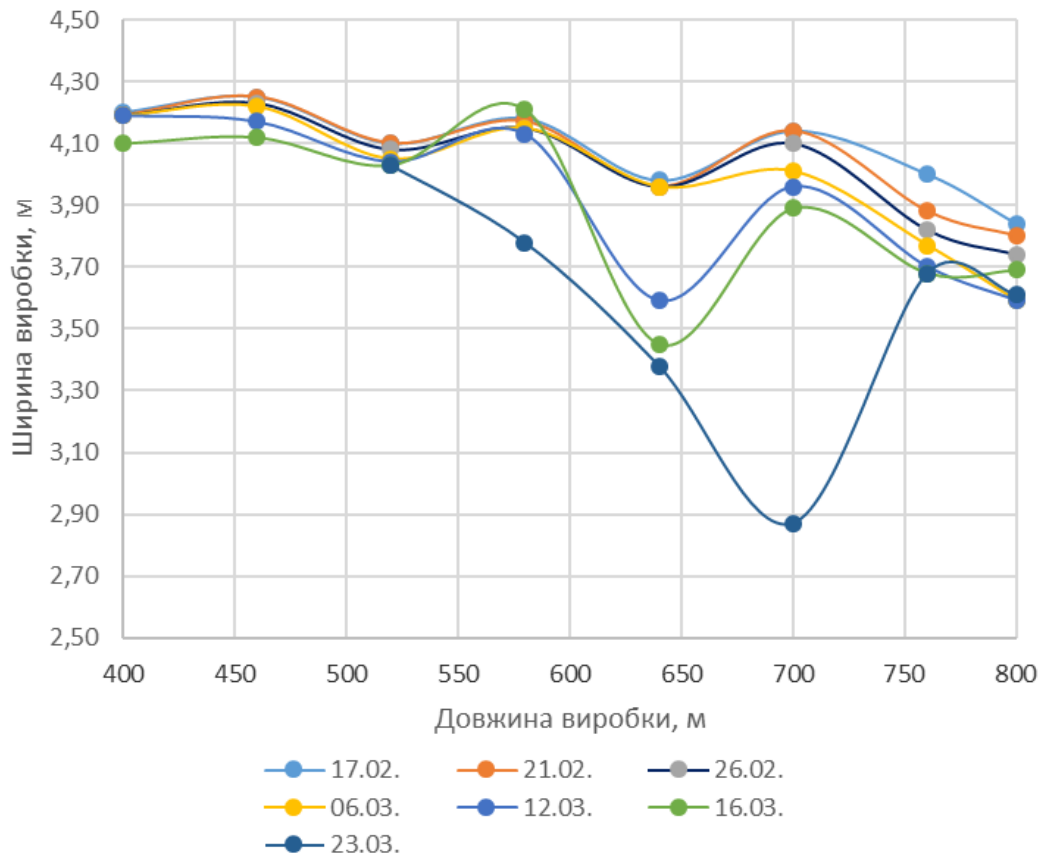


Рис.3.7 Зміна ширини виробки по її довжині, м

Графіки показують (рис.3.6, рис.3.7), що найбільші деформації зазнає кріплення позаду очисного вибою, що пов'язано з активізацією проявів гірського тиску внаслідок негативного впливу сукупної дії гірничо-геологічних, гірничотехнічних і технологічних факторів. Показана швидкість деформування кріплень тягне за собою небезпеку обвалень, обрушень та виникнення інших небезпечних ситуацій і потребує відповідного реагування і дій, що сприятимуть відтворенню безпечного середовища для людей. Добре видно хвилеподібний характер зміни параметрів, найбільші зміни висоти зазначені після 10 дня спостережень, коли втрачається 16...24% її первісних значень. Деформації, що призводять до зміни висоти набувають найбільших значень після 25 доби, деформації спостерігаються в проміжку 14...27,3%.

На рис.3.8 показаний графік зміни параметрів висоти і ширини виробки від довжини виробки.

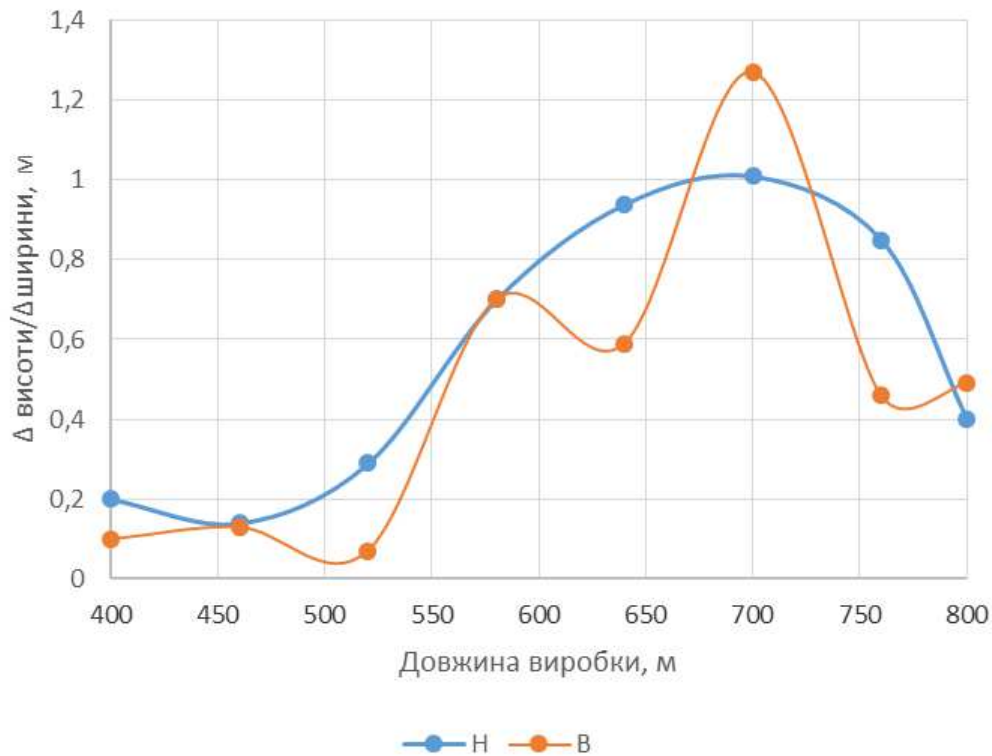


Рис.3.8 Графік залежності зміни параметрів деформування за довжиною виробки

За графіком видно, інтенсивні зміни геометричного параметру висоти виробки за добу відбуваються в моменти на відстані близько 150 м (точки лінії В на відстані 520...570м довжини лави). Далі, в зоні розвантажування, швидкість зменшується за рахунок перерозподілу гірничого тиску і встановлення певної стабільності опорного тиску, деформування плавне (лінія Н), виробка в цей момент знаходиться під впливом очисних робіт. Пластичні деформації тривають доки існує вільний простір для дії, в такому випадку спостерігається задавлювання виробки. Втрати висоти за період проведення досліджень відзначались до 24% від первісних значень, ширини – до 27,3%.

Проведений аналіз одержаних результатів дослідження дозволяє зробити наступні висновки: деформації кріплення відбуваються нерівномірно, як по висоті, так і по ширині виробки, і в повній мірі залежать від довжини виробки.

Зі збільшенням довжини виробки, від місця проведення робіт, деформування по довжині та висоті виробки зростають.

3.3 Ідентифікація ризиків втрати стійкості підземної виробки за результатами натурних спостережень.

Безпека оборонно-промислових комплексів, що можуть бути облаштовані в підземних виробках шахт та інших підземних спорудах, безпосередньо пов'язана з ризиком руйнування засобів кріплення та активізації проявів гірського тиску внаслідок негативного впливу сукупної дії гірничо-геологічних, гірничотехнічних і технологічних факторів. Зокрема, ризики підвищення статичних або динамічних напружень в масиві гірських порід обумовлені реологічними процесами, обводненням гірських порід і ґрунтів, раптовим відшаруванням безпосередньої та осіданням основної покрівлі виробок, вибухів під землею і на її поверхні та ін. Експериментально доволі складно визначити вплив кожного фактору окремо на деформації кріплення виробок. Тому інструментальними вимірюваннями визначались, в основному, величина та інтенсивність домінуючих зміщень, які характеризують сукупний результат силового впливу породного масиву на підземну виробку.

Оскільки природа діючих навантажень і процес формування деформацій кріплення доволі різноманітні, то було досліджено особливості проявів гірничого тиску та виконаний порівняльний аналіз виміряних зсувів поза зоною впливу динамічного опорного тиску та в найважчих умовах в зоні впливу опорного тиску. На рис. 3.9, показані зміщення покрівлі досліджуваних підземних виробок без впливу додаткових сил гірничого тиску і активізації деформацій покрівлі в умовах впливу динамічного опорного тиску. В результаті аналізу встановлено, що розкид зміщень покрівлі простежується на всіх графіках, що ще раз підтверджує необхідність врахування параметрів

розкиду даних, зокрема, стандартних відхилень і коефіцієнтів варіації при визначенні ризиків втрати стійкості підземних споруд.

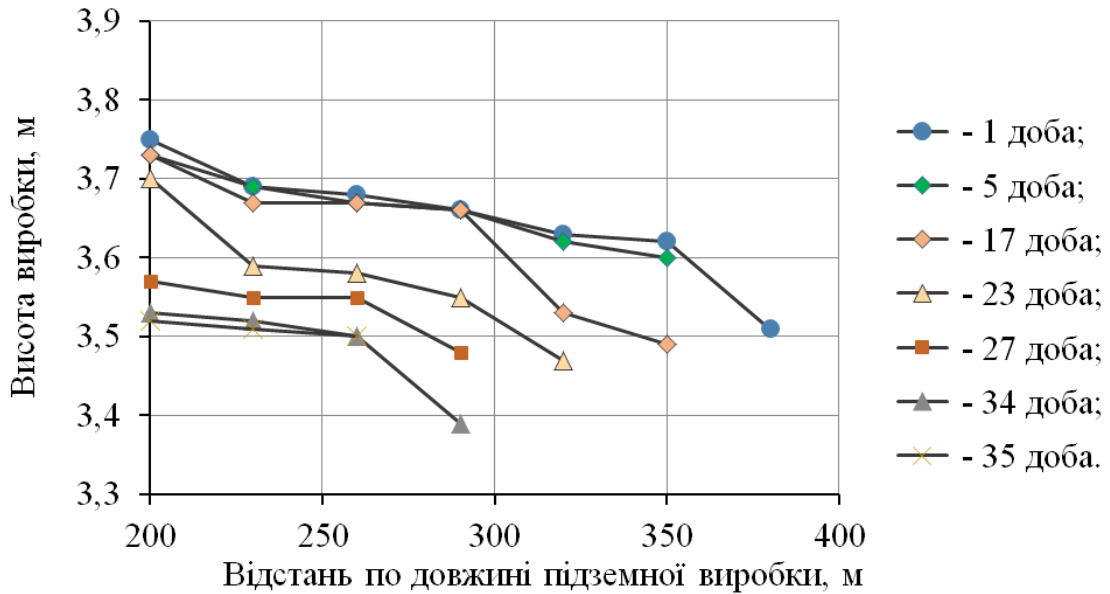


Рис.3.9 Деформації покрівлі підземної виробки поза зоною впливу динамічного опорного тиску

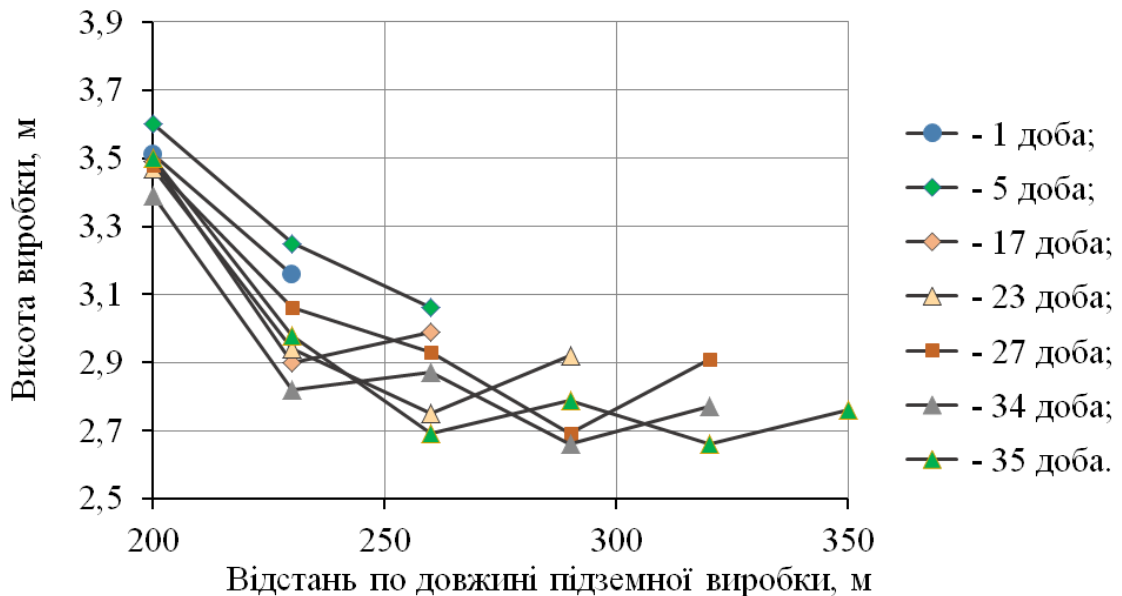


Рис.3.10 Активізація деформацій покрівлі підземної виробки в умовах впливу динамічного опорного тиску

Очевидно, що величина зміщень обумовлена вихідним напруженим станом масиву та складною сукупністю геомеханічних процесів при непружному деформуванні приконтурних порід.

Активність деформацій суттєво зростає в зоні опорного тиску. Втрата стійкості підготовчих виробок відбувається при перевищенні зсувів породного контуру, величина яких безпосередньо залежить від геомеханічного стану породного масиву та інтенсивності процесу зсувів, проектних технологічних зазорів, що визначаються габаритами рухомого складу, безпечним проходом людей та інше. Здебільшого, кріплення мають конструктивну піддатливість 300 мм, а проектний зазор становить 600 мм [70-72], тому зміщення контуру більше 300-600 мм призводять до вигину елементів кріплення та його руйнування, а більше 900 мм – до порушення технологічних зазорів і втраті стійкості виробки. Тому, для оцінки стійкості підземних виробок, значення зміщень диференційовані на три характерні режими, що визначаються значеннями зміщень: 0-300 мм (кріплення працюють в паспортному режимі), 300-600 мм (порушення замкових з'єднань і вигин верхняків), 600-900 мм і понад 900 мм (порушення технологічних зазорів, втрата стійкості виробок).

Для побудови регресійної моделі, максимально наближеної до експериментальних даних, використаний пакет аналізу MSO Excel, що містить 5 апроксимуючих функцій. Для визначення коефіцієнтів функцій застосовано метод найменших квадратів, який дає змогу за заданому типі залежності вибрати її числові параметри так, щоб сума квадратів відхилень експериментальних точок від згладжувальної кривої була мінімальною [73]. Для кожної функції обчислювали середню помилку та критерій значущості (коефіцієнти кореляції).

Аналіз зміщень покрівлі підземної виробки (рис.3.10) показав, що деформації, переважно, формуються під дією стаціонарного гравітаційного вихідного поля напружень і його перерозподілу внаслідок будівництва підземної споруди й подальшого впливу на породний масив статичних та

динамічних навантажень. Тобто, деформації виробки обумовлені нерівномірністю напружень в породному масиві, переважно, у вертикальному напрямку та залежить від міцнісних і деформаційних характеристик тріщинуватих і обводнених порід. Деформації зміщень покрівлі підземної виробки показані на рис.3.11 і рис.3.12.

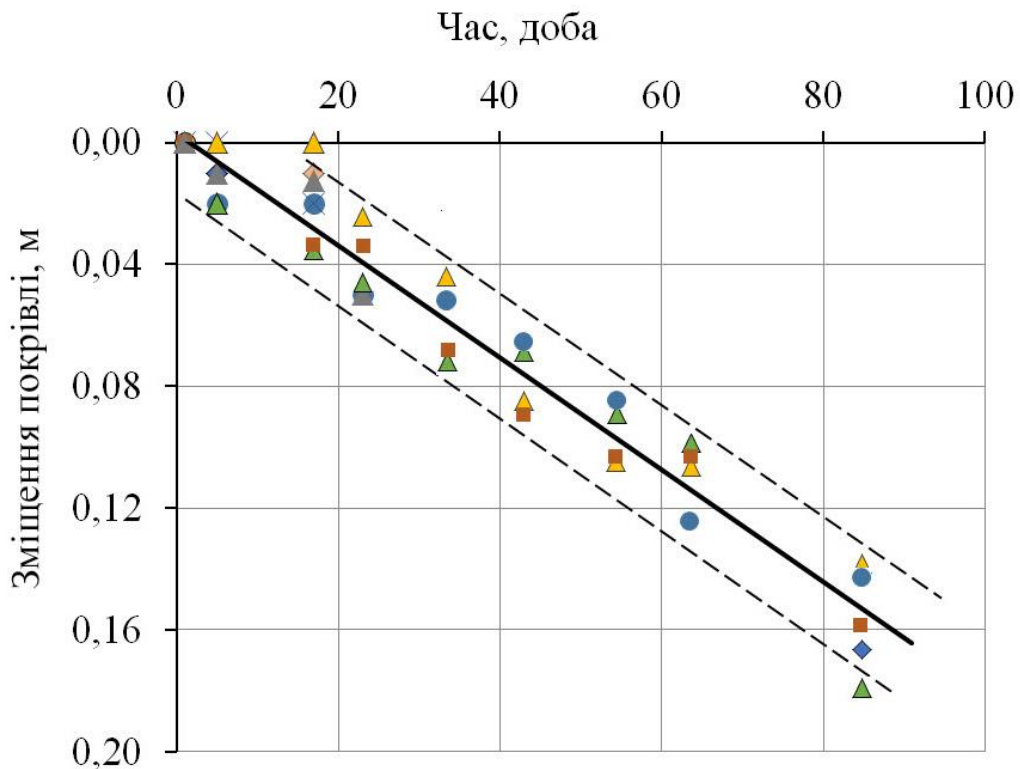


Рис.3.11 Деформування покрівлі підземної виробки за даними натурних досліджень з виділенням розкиду параметрів за їх стандартним відхиленням ($u=0.0019t-0.005$; $R^2=0,76$)

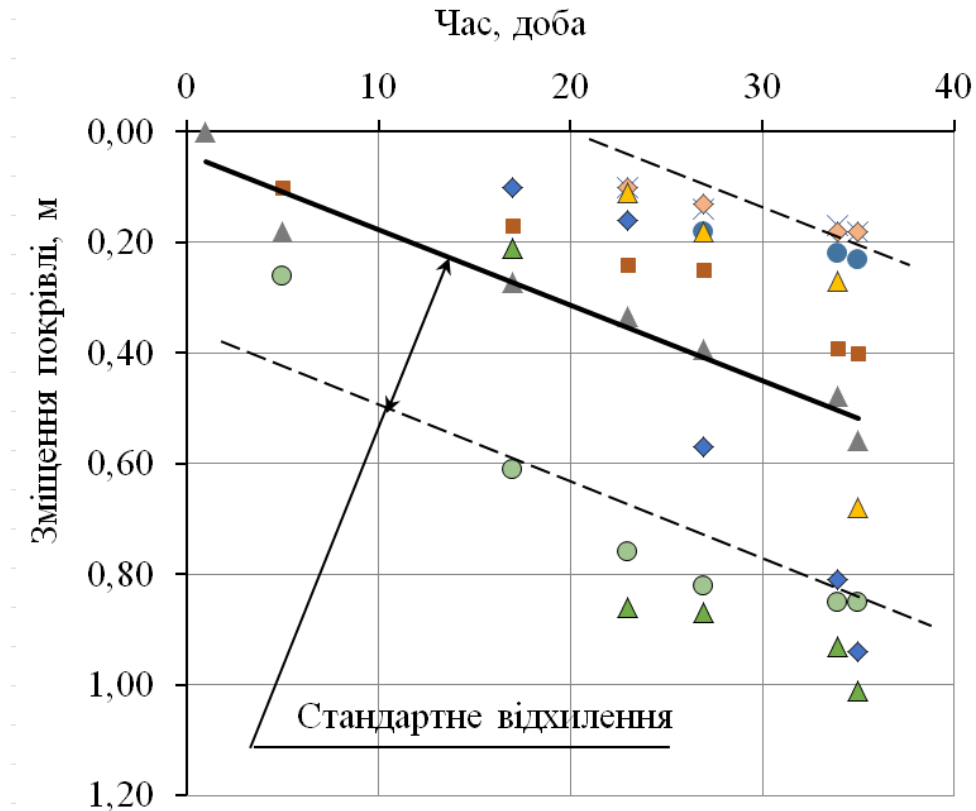


Рис. 3.12 Деформування покрівлі підземної виробки за даними натурних досліджень під впливом сил динамічного опорного тиску ($u=0.0137t+0.039$; $R^2=0.95$ - лінійна модель зміщень покрівлі)

Для сукупності гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов розташування підземної споруди функція зміщень покрівлі породного масиву є достатньою для оцінки його стійкості. Водночас, аналіз активізації динамічних навантажень на кріплення в підземній виробці (рис. 3.10) показав, що значення зміщень покрівлі під дією динамічного опорного тиску більше 600 мм і сягають 1000 мм, що складає 55...68%. Для досліджуваних гірничо-геологічних умов активізація зміщень, вочевидь, пов'язана з дезінтеграцією масиву і перерозподілом концентрацій напружень.

За результатами статистичного аналізу даних вимірювань зміщень покрівлі підземної виробки встановлені регресійні залежності ризиків втрати стійкості $R(u)$ у часі t і перевищення кріпленням паспортної піддатливості (рис.3.13)

$$R(u) = 0.0032t - 0.008; R^2 = 0.76 \quad (3.1)$$

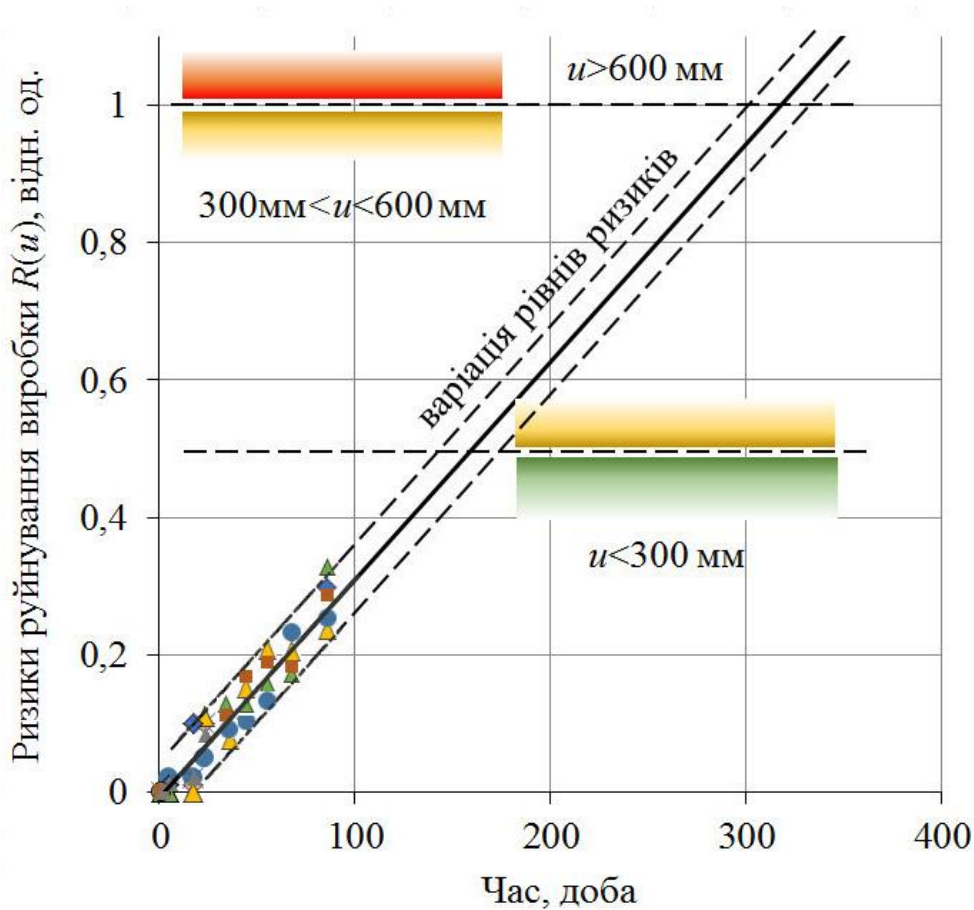


Рис. 3.13 Ідентифікація ризиків руйнування підземної виробки за результатами натурних досліджень

Не дивлячись на вичерпання кріпленнями конструктивної піддатливості, зміщення контуру виробки 300-600 мм ще можуть бути компенсовані збільшенням перерізу підземної виробки або застосуванням додаткового кріплення з більшими витратами, але без втрати її функціональної здібності. У зв'язку з тим, що втрата стійкості підземної виробки зумовлена порушенням технологічних зазорів, що відбувається за зміщення покрівлі більших за

600...900 мм, отримано регресійну модель ризиків втрати стійкості підземної виробки, закріпленої паспортним кріпленням і посиленим кріпленням в зоні дії сил динамічного гірничого тиску (рис.3.14)

$$R(u) = 0.0228t + 0.065; R^2 = 0.95 \quad (3.2)$$

$$R(u) = 0.0114t + 0.033; R^2 = 0.95 \quad (3.3)$$

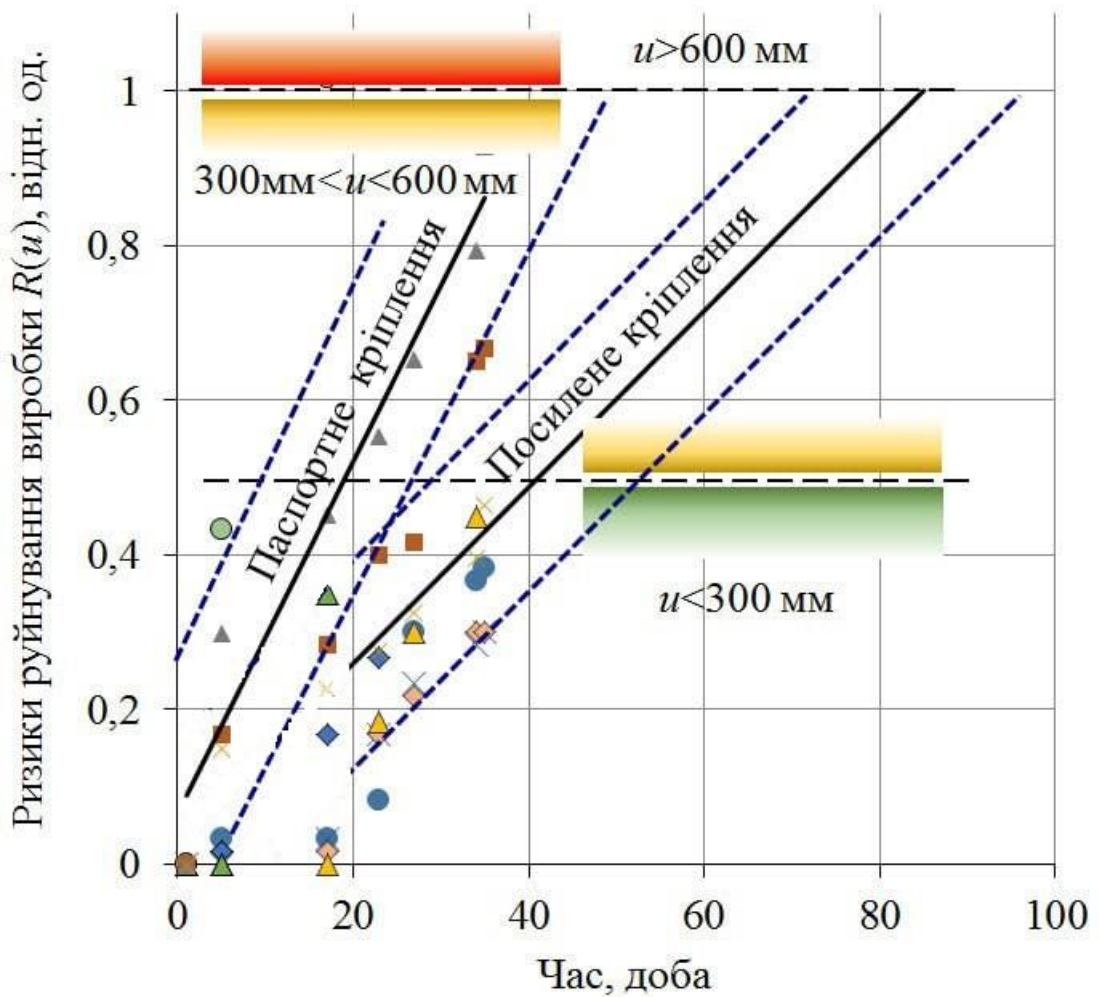
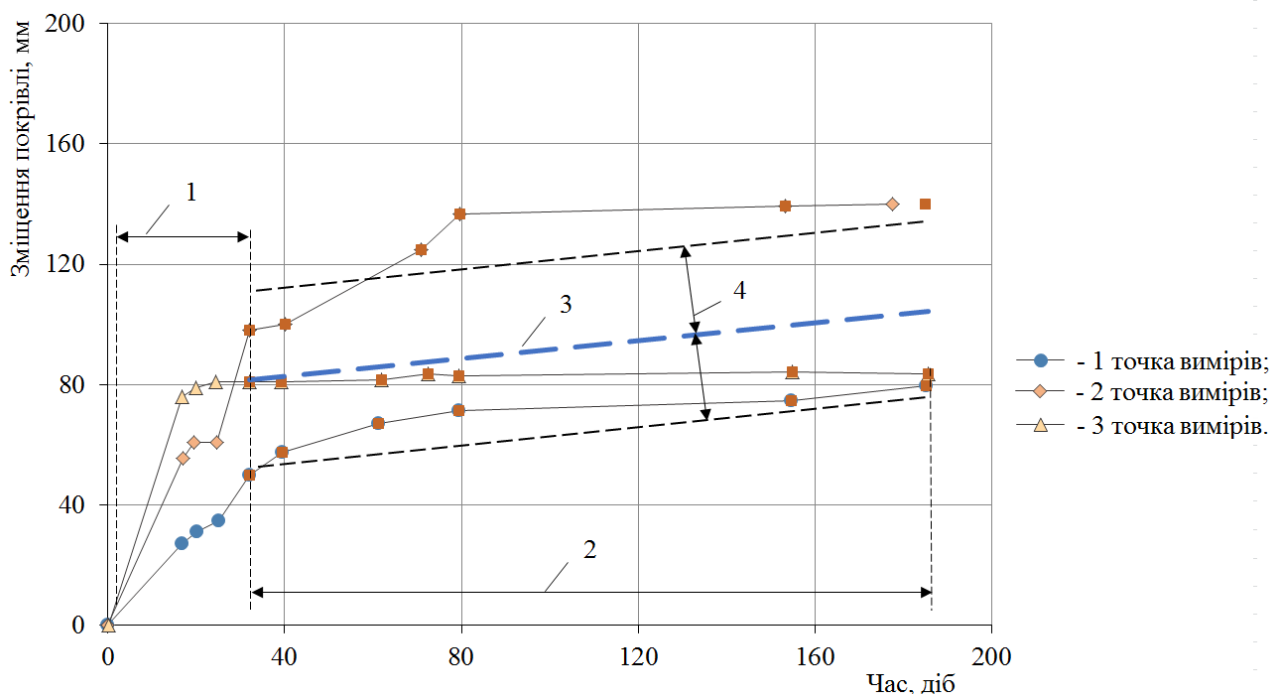


Рис. 3.14 Залежності зміни ризиків руйнування підземної виробки під впливом динамічного гірського тиску при використанні паспортного та посиленого кріплення

Таким чином, на основі візуальних обстежень, інструментальних вимірів і статистичного аналізу даних встановлено, що зміщення покрівлі підготовчих

виробок складають 0...610 мм і зростають під впливом додаткових динамічних навантажень від сил гірського тиску, що зумовлено активізацією руйнувань в породному масиві. Достовірність підтверджується експериментальними даними, використанням для обробки результатів відомих методів математичної статистики, задовільною відносною похибкою. Статистична обробка даних показала, що відносна похибка регресійного аналізу не перевищує 20% за довірчої ймовірності 95%. Коефіцієнти кореляції лінійних залежностей і натурних даних складають 0,76...0,95, що свідчить про тісний зв'язок між параметрами.

Для перевірки запропонованого підходу з визначення ризиків нами було проведено аналіз даних натурних досліджень Стовпника С.М. у східному магістральному відкатному штреку гор. 370 м. шахти ім. Героїв Космосу ДХК «Павлоградвугілля» [74]. На рис. 3.15 представлений графік параметрів та відхилень від параметрів лінійної моделі деформування капітальної виробки.



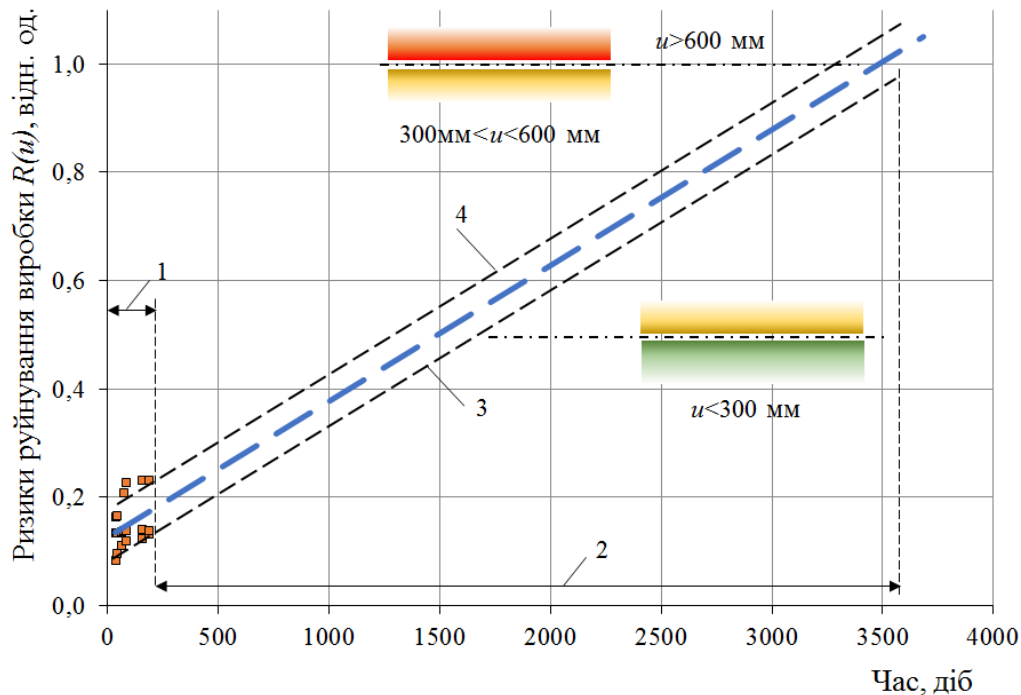
1 — зона активних зрушень; 2 — зона усталених зрушень; 3 — лінійна модель в зоні усталених зрушень; 4 — стандартне відхилення (27мм)

Рис. 3.15 Визначення параметрів та відхилень параметрів лінійної моделі деформування капітальної гірничої виробки (використано дані натурних досліджень Стовпника у східному магістральному відкатному штреку гор. 370 м. шахти ім. Героїв Космосу)

Лінійна модель деформування має вид:

$$u = 0,15t + 76,6 \quad ()$$

На рис. 3.15 позначена лінійна модель в зоні усталених зрушень (поз.3, рис.3.15) із зонами допустимих відхилень в діапазоні часу, коли деформації у виробці перейшли із періоду активних деформацій до усталених. Інтенсивність зрушень з часом має різні значення, це залежить від багатьох гірничо-геологічних факторів, засобів кріплення та інших складових, які в повній мірі врахувати доволі складно, тому для визначення прогнозованих значень ми використали фактичні дані моніторингу за виробкою та варіації параметрів (позиції 4 рис.3.15) для можливості врахування розкиду фізико-механічних властивостей гірських порід по довжині виробки. З огляду на те, що ми розглядаємо виробку як об'єкт тривалого використання (протягом до 10 років), то прийнятним для даної цілі буде саме капітальна виробка з усталеними деформаціями. В залежності від задач і необхідного строку використання підземного простору обирають прийнятну за часом стійкості виробку. Підготовчі виробки пропонуємо використовувати протягом 1...3 року, з моніторингом не пізніше ніж 3 місяці. Але моніторинг обраного об'єкту має бути підкріплений зворотнім аналізом. Це означає, що виробка потребує періодичного моніторингу (раз на півроку при умові довгострокового використання) з подальшим аналізом результатів і переглядом параметрів стійкості та визначення ризиків знову.



1 – період натурних вимірів; 2 – період прогнозу; 3, 4 – зони мінімальних та максимальних ризиків

Рис. 3.16 Оцінка ризиків руйнування капітальної підземної виробки, що може бути використана для довгострокового використання в якості воєнно-промислового об'єкту

Лінійна модель ризиків має вид:

$$u = 0,0003t + 0,128 \quad ()$$

З рис. 3.16 видно, що при використанні капітальних виробок в якості об'єктів воєнно-промислового комплексу прогнозований строк експлуатації може бути близько 10 років. Враховуючи розкид параметрів ризику не перевищують 0,25 за перші два роки експлуатації, що є прийнятним для мінливих гірничо-геологічних умов, тому виробка може бути використана в воєнно-промислових цілях у воєнний час або в особливі часи.

Забезпечення безпеки підземних споруд, призначених для середньострокового та довгострокового розміщення оборонно-промислових комплексів вимагає оцінки ризиків обвалення гірських порід і втрати стійкості підземних виробок. Для забезпечення стійкості споруд необхідно застосовувати

додаткові засоби кріплення. Як показали проведені дослідження, цього недостатньо, оскільки всі кріплення по-різному взаємодіють з гірничими породами навколо виробок, а технологія їх підтримання в кожному конкретному випадку потребує оцінки ризиків та виникнення концентрації внутрішніх напружень. З урахуванням вищезазначеного, виробка потребує періодичного моніторингу з подальшим аналізом результатів і переглядом параметрів стійкості та визначення ризиків виникнення деформацій та подальшого застосування необхідних засобів безпеки.

Висновки за розділом 3.

1. На основі проведених досліджень за деформацією арочного кріплення з урахуванням літологічного складу шахтного поля, де розташована виробка, встановлені закономірності деформацій по висоті та ширині виробки, що дозволяє прогнозувати ризики втрати стійкості кріплень.

2. Визначено, що значення зміщень при дії динамічного тиску складають 600...1010 мм, що перевищує граничні показники на 55...68%.

3. Визначено, що зона максимального опорного тиску утворюється на контурі виробки, під дією впливу очисних робіт, зміна форми виробки відбувається за рахунок дії пластичних деформацій і сягають значень до 27,3%, разом з тим змінюється коефіцієнт концентрації напруження.

4. Досліджено особливості проявів гірничого тиску та виконаний порівняльний аналіз вимірних зсувів поза зоною впливу динамічного опорного тиску та в найважчих умовах в зоні впливу опорного тиску.

5. В результаті статистичної обробки отриманих даних встановлені залежності деформацій арочного кріплення по довжині і висоті виробки та часу експлуатації, які дозволяють прогнозувати ризик виникнення деформацій, похибка не перевищує 20 %.

6. На основі проведених досліджень встановлено, що інтенсивність деформацій збільшується в часі, зміщення знаходяться в діапазоні 300...600 мм.

Після 3 місяців експлуатації виробки, згідно моніторингу визначено, що після додаткового кріплення відбувається зменшення інтенсивності деформацій. Що співпадає з результатами спостережень Стовпника С.М.

7. Проведені дослідження дозволили встановити закономірність інтенсивності деформування капітальної виробки і виробки в період усталених зрушень, що дозволяє з врахуванням розкиду параметрів, забезпечити безпечний строк експлуатації виробки до 10 років за умови періодичного моніторингу, раз на пів року, при цьому ризик втрати стійкості за перші 2 роки не перевищує 0,25. При використанні капітальних виробок в період 3,5...4,5 роки ризики руйнування мінімальні, зміщення не перевищують 300 мм, ризик втрати стійкості виробки не перевищує 0,5, що є достатнім для забезпечення безпечної експлуатації виробки.

8. На основі проведених досліджень проведено обґрунтування та розробка методики визначення можливих ризиків втрати стійкості підземних виробок, що дозволяють запропонувати профілактичні заходи по забезпеченню безпечного подальшого використання виробок в часі.

Список використаних джерел у розділі 3

У розділі 3 використані [69...74] джерела. Їх перелік і найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

РОЗДІЛ IV

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БІЧНИХ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК

4.1. Особливості оцінки геомеханічного стану гірських порід і стійкості підземних оборонно-промислових об'єктів при визначенні безпечної їх експлуатації в виробках.

Вивчення та аналіз будь-якого явища в природі, незалежно від його складності і багатофакторності, можуть бути положені в основу моделювання цього явища, одержані моделі можуть бути уточнені та вдосконалені, залишаючись, однак, лише моделлю, в тій чи іншій мірі адекватно розглянутого явища. Удосконалення моделей зовсім не обов'язково означає їх ускладнення, навпаки, для вивчення впливу тих чи інших факторів часто виявляється доцільним їх спрощення, наприклад, розчленування складної моделі на ряд більш простих спеціалізованих моделей. Побудова таких спеціалізованих моделей складного природного явища дає можливість провести всебічний аналіз при визначенні безпеки експлуатації виробок.

Як показує досвід, при вирішенні конкретних питань геомеханіки недостатньо мати розроблену класифікацію масивів і порід, результати дослідження властивостей і стану порід згідно паспортів, також недостатньо знати закономірності розподілу напружень в елементах системи розробки. Крім того, необхідно ще мати чіткі уявлення про взаємне просторове розташування тих чи інших різновидів порід з відповідними деформаційно-міцнісними характеристиками для розглянутої конкретної ситуації, а також дані про структурні характеристики масивів порід і, зокрема, про тих, які в даному конкретному випадку чинять головний вплив. Крім того, необхідно мати просторову картину розташування виробок в конкретній області, також з виділенням основних виробок, які повинні бути неодмінно розглянуті, і

другорядних, якими можна знехтувати і не враховувати в розрахунках. Таким чином, для вирішення питань безпеки з урахуванням геомеханіки необхідно розглядати різні модельні ситуації. Такий методологічний підхід дозволяє визначити стан виробок в часі їх експлуатації.

Ступінь відповідності моделей, що розроблюються, реальному явищу повинна відповідати як рівню розвитку методів та засобів вирішення поставлених задач, так і вимогам надійності і точності результатів, що видаються. Щодо геомеханіки, на першому етапі нами враховувалась інженерно-геологічна модель масиву гірських порід, в якому знаходяться виробки. Для побудування інженерно-геологічної моделі необхідна певна геологічна документація, а саме – геологічні плани і розрізи, які теж є спеціалізованими моделями реального гірського масиву. Відмінність між цими інформаційними джерелами полягає в комплексному одночасному аналізі фізико-механічних властивостей, геологічних умов і початкового напруженого стану масиву. На основі даних проводилось районування масиву.

При проведенні моделювання напружено-деформованого стану бічних порід навколо виробки нами було запропоновано при побудові моделей розглядати процеси у три етапи. На першому етапі нами складна будова масиву була спрощена за рахунок об'єднання кількох шарів порід з близькими показниками фізико-механічних властивостей і однаковими особливостями поведінки порід при різних впливах на них у комплекси. Для цього, нами було проаналізовано літологічну будову, структурні особливості, початковий напружений стан, екзогенну зміну порід та інші показники масиву, який досліджується. На основі проведеного аналізу нами були виділені окремі блоки масиву, в межах яких, напружений стан і властивості порід можна прийняти за умовно однорідні.

На другому етапі нами розглянуто, на базі інженерно-геологічної моделі, конкретну гірничо-технологічну ситуацію, підземну виробку, для якої було складено оцінку стійкості порід у відшаруваннях та визначені параметри

стійких елементів масиву, раціональний порядок розробки, вид кріплення та інші геомеханічні задачі, при цьому, перш за все, необхідно було виділити ті типи і види структурних неоднорідностей, які будуть вирішальними і найбільш впливовими щодо стану споруд і виробки, яка розраховується. Геомеханічна модель є гранично конкретною з комплексом вихідних даних про напружений стан, структурні особливості масиву, властивості порід, параметри гірничої виробки та інших елементів системи, які необхідні для вирішення поставлених завдань із забезпечення безпечної експлуатації даного об'єкту.

Зміст і вид геомеханічної моделі був обумовлений нами вихідними даними, які покладені в її основу, при цьому нами при фізичному моделюванні були враховані фізичні передумови, для математичної моделі - математичні схеми та інші математичні характеристики.

На третьому етапі при вирішенні геомеханічних задач нами було створено геомеханічну розрахункову схему (рис. 4.2). Для вирішення геомеханічних задач і побудування моделей нами була прийнята інформація, отримана за допомогою експериментальних і теоретичних методів. Умовно всі методи, що застосовують в геомеханіці поділяють на групи: натурних спостережень і вимірювань, моделювання, аналітичні. Група натурних спостережень і вимірювань є основною, оскільки лише вони здатні надати реальну інформацію, тому що існує безліч впливаючих факторів при веденні конкретних гірничих робіт. Ці методи трудомісткі, дорогі і складні, але є визначальними для чинників процесів, що досліджуються і необхідні для правильної постановки задачі досліджень і подальшого моделювання. До натурних методів відносяться експериментальні методи, такі як дослідження зразків гірських порід (див. п. 2.1).

Для вирішення задач геомеханіки нами використовувались різні методи натурних вимірів і досліджень. Натурні вимірювання зводяться до визначення щільності або питомої ваги, деформацій і переміщень, з подальшим

обчисленням напружень. Нами були застосовані деякі методи вимірювання, основні класи яких наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Класи методів вимірювання

клас	Параметри, що визначаються
I. Визначення фізичних властивостей і структурних характеристик масиву гірських порід	Визначення густинних властивостей порід. Визначення механічних властивостей порід. Визначення геометричних параметрів структурних неоднорідностей породного масиву
II. Дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід і його змін у часі	Визначення абсолютних і відносних напружень і деформацій. Спостереження за змінами деформацій і напружень. Визначення зміщень і напружень при динамічних впливах. Визначення параметрів зон порушених порід навколо виробок.
III. Вивчення взаємодії порід з кріпленням і тиску завалених порід	Вимірювання тиску порід на кріплення, днища блоків, закладку та ін. Дослідження кріплень і механізованих комплексів.
IV. Визначення макродеформацій і переміщень, зсувів гірських порід.	Вимірювання осідань гірських порід і земної поверхні. Вимірювання горизонтальних зсувів гірських порід і земної поверхні. Вимірювання деформацій у товщі порід, оточуючих виробку. Вимірювання відносних зміщень і макродеформацій порід у виробках.

Продовження табл. 4.1

V. Моніторинг стану масиву за допомогою спеціальних систем.	Контроль змін деформацій і напружень. Контроль змін осідань гірських порід і земної поверхні. Контроль змін горизонтальних зсувів гірських порід і земної поверхні. Контроль змін зближень порід у виробках. Контроль зміни тиску порід на кріплення. Контроль параметрів зони порушених порід навколо виробок.
---	--

Згідно наданої таблиці нами були проведені візуальні спостереження, які завжди передують постановці і виконанню експериментальних робіт в реальних умовах масивів гірських порід при вирішенні задач геомеханіки. При візуальних спостереженнях нами проведена фіксація (запис, фото) видимих проявів гірського тиску, деформування та зсувів і зміщень гірських порід. Візуальні спостереження надали змогу отримати необхідні вихідні дані, які не можуть надати інструментальні методи вимірювання (встановити форму проявів досліджуваних процесів, сформувані уявлення про механізм процесів в масиві порід). Наочне вивчення процесу дозволило в порівняно невеликий проміжок часу простежити процеси проявів геомеханіки на великих площах шахтних полів, на відміну від інструментальних, через їх трудомісткість і обмеженість використання. Як показали проведені нами дослідження, візуальні спостереження ефективні при наданні прогнозу стану виробок, що експлуатуються, вони надають термінову реальну інформацію.

Регламентованих методичних розробок щодо проведення візуальних спостережень практично немає, але деякі методичні прийоми існують. Для забезпечення безпеки при проведенні візуальних спостережень всі гірничі виробки, в яких не ведуться роботи (закінчені або припинені) мають бути

погашені (закладені породою або штучно обрушені) або закриті перемичками, решітками, що дало змогу безпечного доступу до них працівників.

При візуальному обстеженні було визначено, що основною особливістю процесу втрати стійкості гірничими виробками є домінуюча роль руйнувань порід над зоною деформувань. Ця зона утворює навколо виробок ослаблені ділянки, з границь яких можливі вивалоутворення. Тому, головним завданням візуальних спостережень і обстежень виробок було виявлення і документування тих ділянок виробок, в яких виявлені руйнування (рис. 4.1 і див. рис. 3.2).



Рис.4.1 Фото руйнувань виробки за візуальними спостереженнями

Збільшення числа вивалів з одночасним зменшенням лінійних розмірів виробок свідчить про підвищення значень діючих напружень в масиві. Про високі напруження в масиві говорить і інтенсивність прояву гірського тиску: рясні вивали, раптові обвалення. Про високий ступінь напруженості масиву гірських порід можуть свідчать незвичні, специфічні форми поперечного перерізу, які набувають виробки під впливом статичних напружень (див.п. 3.2). Таким чином, візуальні спостереження на всій досліджуваній площі дають

цінну інформацію про характер поля напружень в масиві, ступінь його однорідності, горизонтальний чи вертикальний характер напрямку напружень та інші дані, які використані нами для створення найбільш повної картини геомеханічних процесів, втрати стійкості виробок за допомогою моделювання [75, 76, 77].

На основі проведеного аналізу методологічних підходів, нами, з урахуванням особливостей оцінки геомеханічного стану гірських порід і стійкості підземних оборонно-промислових об'єктів при визначенні безпечної їх експлуатації прийнято застосувати моделювання напружено-деформованого стану гірського масиву, що вміщує виробку, методом кінцевих елементів.

4.2 Обґрунтування використання стандартних відхилень і коефіцієнтів варіації фізико-механічних властивостей порід для визначення ризиків втрати стійкості підземних об'єктів

При визначенні нами втрати стійкості підземних об'єктів при проведенні моделювання напружено-деформованого стану навколо підземних виробок необхідно враховувати відхилення і коефіцієнти варіації фізико-механічних властивостей порід.

Несуча здатність породного масиву та стійкість підземних виробок, де планується розташування об'єктів оборонно-промислового комплексу, істотно залежать від фізико-механічних властивостей гірських порід та здатності кріплення протистояти силам гірничого тиску. Для оцінки умов, в яких розташовуються підземні споруди, наприклад виробки, проведений аналіз фізико-механічних властивостей порід у геологічному розрізі та встановлено особливості їх змін.

Було розглянуто вихідну інформацію про склад порід [56, 78-84], зведену нами у табл. 4.2. У процесі розгляду гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільних пластів з'ясовано, що нестійку та вельми нестійку покрівлю має понад 40% підземних виробок, при цьому осадові породи в межах основної

покрівлі та основної підосви складаються на 10% - з пісковиків, на 40% - з піщаних сланців та алевролітів, на 47% - з глинистих сланців та аргілітів, на 3...4% - з вапняків.

Таблиця 4.2

Аналіз фізико-механічних властивостей гірських порід навколо підземних виробок

Найменування	Параметр	Міцність на стиснення, МПа	Міцність на розтягнення, МПа	Модуль пружності, $E \times 10^{-4}$ МПа	Коефіцієнт Пуассона	Об'ємна вага, т/м ³	Зчеплення, МПа	Кут внутрішнього тертя, град.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пісковики (Баклашов І.В. [79])	Мінімальні	72,0	10,0	2,0	0,10	1,90	-	-
	Максимальні	100,0	40,0	4,0	0,30	2,10	-	-
	Середні	86,0	25,0	3,0	0,20	2,00	15,0	38,0
	Ст. відхилення	14,0	15,0	1,0	0,10	0,10	-	-
Пісковики (Турчанінов І.О. [78])	Мінімальні	80,0	10,0	3,0	0,13	2,53	-	-
	Максимальні	210,0	40,0	8,0	0,50	2,80	-	-
	Середні	145,0	25,0	5,5	0,32	2,67	-	22,0
	Ст. відхилення	65,0	15,0	2,5	0,19	0,14	-	-
Пісковики міцні тріщинуваті (Кірнічанський Г.Т. [81])	Мінімальні	-	-	1,8	0,24	2,53	-	30,0
	Максимальні	-	-	2,2	0,25	2,80	-	32,0
	Середні	-	-	2,0	0,25	2,67	20,0	31,0
	Ст. відхилення	-	-	0,2	0,01	0,14	-	1,0
Алевроліти (Турчанінов І.О. [78])	Мінімальні	25,0	5,0	1,5	0,16	2,58	18,7	25,0
	Максимальні	43,0	18,0	8,2	0,34	2,89	20,0	30,0
	Середні	34,0	11,5	4,85	0,25	2,74	19,35	27,5
	Ст. відхилення	9,0	6,5	3,35	0,09	0,16	0,65	2,5
Алевроліти (Баклашов І.В. [79])	Мінімальні	40,0	-	1,0	0,20	-	-	-
	Максимальні	100,0	-	3,0	0,30	-	-	-
	Середні	70,0	-	2,0	0,25	-	-	-
	Ст. відхилення	30,0	-	1,0	0,05	-	-	-

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Піщані сланці (Уса- ченко Б.М. [56])	Мінімальні	-	-	-	-	-	-	-
	Максимальні	-	-	-	-	-	-	-
	Середні	80,0	2,1	2,61	-	-	-	-
	Ст. відхилення	-	-	-	-	-	-	-
Піщані сланці (Бак- лашов І.В. [79])	Мінімальні	35,0	-	1,0	0,15	-	-	-
	Максимальні	83,0	-	3,0	0,40	-	-	-
	Середні	59,0	-	2,0	0,28	-	-	-
	Ст. відхилення	24,0	-	1,0	0,13	-	-	-
Аргіліти (Турчані- нов І.О. [78])	Мінімальні	7,0	1,0	0,6	0,20	2,45	-	-
	Максимальні	70,0	7,0	1,40	0,25	2,83	-	-
	Середні	38,5	4,0	1,00	0,23	2,64	13,6	30,0
	Ст. відхилення	31,5	3,0	0,4	0,03	0,19	-	-
Аргіліти (Бак- лашов І.В. [79])	Мінімальні	38,0	-	1,0	0,17	-	-	-
	Максимальні	110,0	-	4,5	0,25	-	-	-
	Середні	74,0	-	2,75	0,21	-	-	-
	Ст. відхилення	36,0	-	1,75	0,04	-	-	-
Аргіліти (Турчані- нов І.О. [78])	Мінімальні	56,0	1,0	1,6	0,15	2,58	-	-
	Максимальні	150,0	17,0	4,5	0,27	2,82	-	-
	Середні	103,0	9,0	3,05	0,21	2,70	-	-
	Ст. відхилення	47,0	8,0	1,45	0,06	0,12	-	-
Глинисті сланці (Бак- лашов І.В. [79])	Мінімальні	14,0	-	1,0	-	-	-	-
	Максимальні	58,0	-	4,0	-	-	-	-
	Середні	36,0	-	2,5	0,22	-	-	-
	Ст. відхилення	22,0	-	1,5	-	-	-	-
Вапняки (Бак- лашов І.В. [79])	Мінімальні	12,0	-	4,0	-	-	-	-
	Максимальні	25,0	-	8,0	-	-	-	-
	Середні	18,5	-	6,0	0,27	-	-	27,0
	Ст. відхилення	6,5	-	2,0	-	-	-	-

Проведення випробувань зразків на міцнісні параметри дало змогу встановити, що розкиди показників навіть за однією виробкою сягають 30% і більше. Вплив природньої тріщинуватості на міцність в проведених нами експериментах (розділ 2) було складно враховувати, тому що зразки

розколювались за великими тріщинами під час відбору зразків. Дослідження фізико-механічних властивостей порід [56] показали, що міцність пісковиків коливається в діапазоні від 18 до 212 МПа, піщаних сланців – від 15 до 182 МПа, а глинистих сланців – від 8 до 98 МПа. Зчеплення для порід Західного Донбасу змінюється від 4 до 10 МПа, середнє значення кута внутрішнього тертя φ – від 27 до 40°. В загальному випадку кут внутрішнього тертя пісковиків дещо більший ніж алевролітів та аргілітів [81]. Інші роботи вказують на ще більш широкий діапазон змін властивостей порід, як наведено в таблиці 4.2. Порівнюючи пісковики і глинисті породи, можна відзначити більше зміцнення пісковиків із збільшенням глибини [78]. Коливання параметрів міцності суттєво впливають на зміну стійкості порід під час їх водонасичення.

Динамічні та статистичні модулі пружності гірських порід мають ще більший розкид значень. Проте величини коефіцієнтів варіації для модулів Юнга, визначених динамічним і статистичним методами (для E_d – 62% та $E_{ст}$ – 63%), майже рівні [81]. Можна зробити висновок, що для порід Західного Донбасу значний розкид даних є наслідком їхньої великої неоднорідності, і в меншому ступені – похибками різних методів та апаратури досліджень. Розкид параметрів пояснюється тим, що серед слабких пісковиків, аргілітів та алевролітів зазвичай присутні шари міцних порід тих же літологічних різниць. Наведені результати однозначно показують, що для визначення стійкості підземних споруд, а саме виробок, та оцінки ризиків їхнього руйнування, необхідно використовувати стандартні відхилення та коефіцієнти варіації параметрів фізико-механічних властивостей порід.

За коефіцієнтами варіації, що характеризують усереднений розкид міцнісних властивостей, можна судити про однорідність сукупності та типовості середнього значення. Коефіцієнти варіації, наприклад міцності, визначались за співвідношенням [85]:

$$V = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma_{сжi} - \overline{\sigma_{сжi}})^2}}{\sigma_{сжi}} \quad (4.1)$$

За даними ІГТМ НАНУ [86, 87] було визначено, що коефіцієнти варіації міцності дренованих порід складають для аргілітів та алевролітів 27...29%, для вапняків і пісковиків 18...20%. Встановлено, що при водонасиченні породи мають більший розкид середніх значень коефіцієнтів варіації, ніж у сухому стані. При водонасиченні пісковиків і вапняків значення коефіцієнтів варіації зростають в абсолютних значеннях на $\approx 13...16\%$, а для глинистих аргілітів і алевролітів цей показник більший на $\approx 26...27\%$ і сумарно сягають 40...60%.

Облік стандартних відхилень і коефіцієнтів варіації дозволяє виконувати розрахунки із заздалегідь гіршими умовами за мінімальним або максимальним значенням параметрів, що є вельми важливим для складних гірничо-геологічних умов. В даному випадку діапазон випадкового розкиду даних ще більше ширший і отримання адекватних розрахунків неможливе без обов'язкового обліку цих розкидів. Крім того, методика оцінки безпеки підземних об'єктів повинна передбачати розрахунок навантаження математичної моделі за критичних умов, особливо у воєнні часи або при особливому стані з врахуванням можливості таких сильних динамічних впливів як вибухи. Оцінка безпеки об'єкта повинна включати найгірший (при динамічному впливі) і найбільш вірогідний сценарій розвитку деформації кріплення виробки.

На основі проведеного аналізу та визначення коефіцієнтів варіації нами було визначено, що проведення розрахунків ризиків на основі усереднених даних із врахуванням коефіцієнтів варіації дозволяють прогнозувати втрату стійкості підземних виробок. По-перше, це дозволяє врахувати розкид даних, що отримані при проведенні експериментальних випробувань, а також можливий вплив тріщинуватості та водонасичення порід. По-друге, такий

розрахунок дозволяє враховувати заздалегідь гірші умови, що підвищує безпеку при проектуванні та експлуатаванні підземних об'єктів воєнно-промислового комплексу. Тому для розрахунків стійкості гірничих виробок і ризиків їх руйнування нами запропоновано використання визначених відхилень і коефіцієнтів варіації, які описують величину розкиду властивостей порід за конкретних умов.

4.3. Моделювання напружено-деформованого стану породного масиву методом кінцевих елементів

При будівництві підземного об'єкта, а саме виробки, відбувається перерозподіл напружень в породному масиві, утворюються ділянки з підвищеними концентраціями напружень і тріщинуватістю. Тому метою чисельних досліджень, насамперед, є розрахунки напружено-деформованого стану породного масиву, який ослаблений гірничою виробкою. Дана задача вирішувалась нами в умовах плоскої деформації.

Для чисельного аналізу напружено-деформованого стану важливість представляє пружно-пластична модель середовища з урахуванням знеміцнення середовища за межею міцності, яка дозволяє отримати достовірні рішення. На основі проведених досліджень, похибка кінцевих рішень знаходиться в межах від 6 до 25%, при цьому похибка математичного апарату для вирішення системи рівнянь не перевищує 5%, що знаходить підтвердження в роботах [88, 89].

В якості базового розрахункового методу прийнятий метод кінцевих елементів (МКЕ), як найбільш перевірений для розрахунків складних завдань будівельної і гірничої механіки. МКЕ описує область з використанням пружних і деформаційних характеристик реального масиву гірських порід. Знемічені породи моделюються коригуванням деформаційних характеристик на стадії нелінійного деформування.

До межі міцності зв'язок напружень і деформацій прийнята лінійною. Граничні напруження в області стиснення обмежені критерієм Кулона [90, 91]:

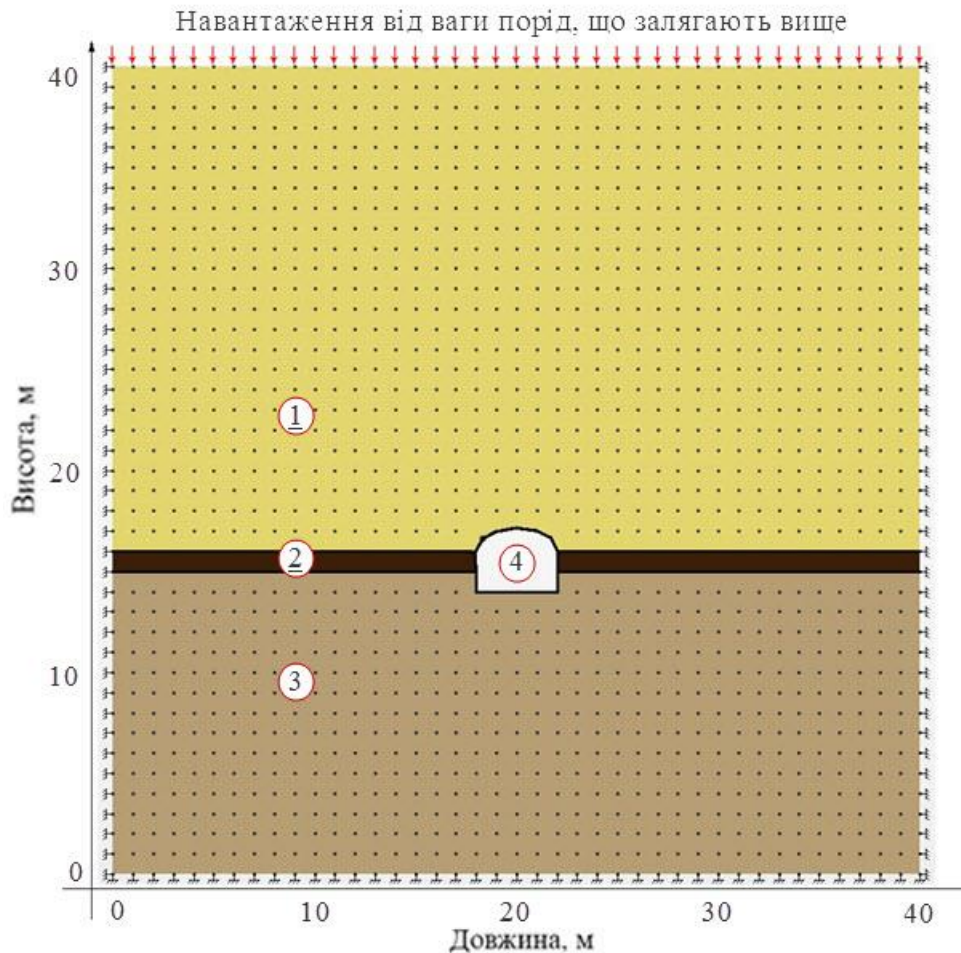
$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C \quad (4.2)$$

де σ_n – напруження, нормальне до площини зсуву, Па; φ – кут внутрішнього тертя, град; C – межа міцності на зсув (зчеплення), Па. Міцність на розтягнення прийнято рівною $C/5$ [90]. Якщо одну з граничних умов виконано, то оцінка напружено-деформованого стану масиву порід і зон непружних деформацій визначається шляхом поєднання МКЕ з процедурою методу початкових напружень (виконується серія обчислень з незмінною матрицею жорсткості системи [92, 93]).

Глибина розташування підземної споруди та фізико-механічні властивості гірських порід прийняті для конкретних умов Західного Донбасу (див. розділ 3). Визначені пружні і міцнісні властивості порід: E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона; γ – об'ємна вага; C – зчеплення; φ – кут внутрішнього тертя; $\sigma_{\text{ст}}$, $\sigma_{\text{р}}$ – міцність на одновісне стиснення і розтягання.

В розрахунковій схемі надаються всі основні фактори, що впливають, і граничні умови. В процесі створення розрахункової схеми: встановлюється область впливу виробки, яка досліджується (для розрахунку в масиві, що досліджується, виділено зону 40x40 м навколо підземної виробки); виділяється структура породного масиву у відповідності до стратиграфічної колонки (див. рис.3.1); виконується розбиття області сіткою трикутних кінцевих елементів; встановлюються жорсткі зв'язки та граничні умови; встановлюються сили від ваги порід, що залягають вище; виділяється проекція підземної виробки в масштабі геометричної подібності; для кожного елемента розрахункової схеми задають фізико-механічні властивості порід (до розрахункової схеми введені деформаційні характеристики породи – зчеплення та кут внутрішнього тертя)

(Додаток В). На рис.4.2 показана розроблена розрахункова схема, яка відображає вихідний стан породного масиву, що вміщує підземну виробку.



1, 2, 3 – типи порід, аргіліт, вугілля та алевроліт, відповідно (за структурою, рис.3.1); 4 – підземна виробка

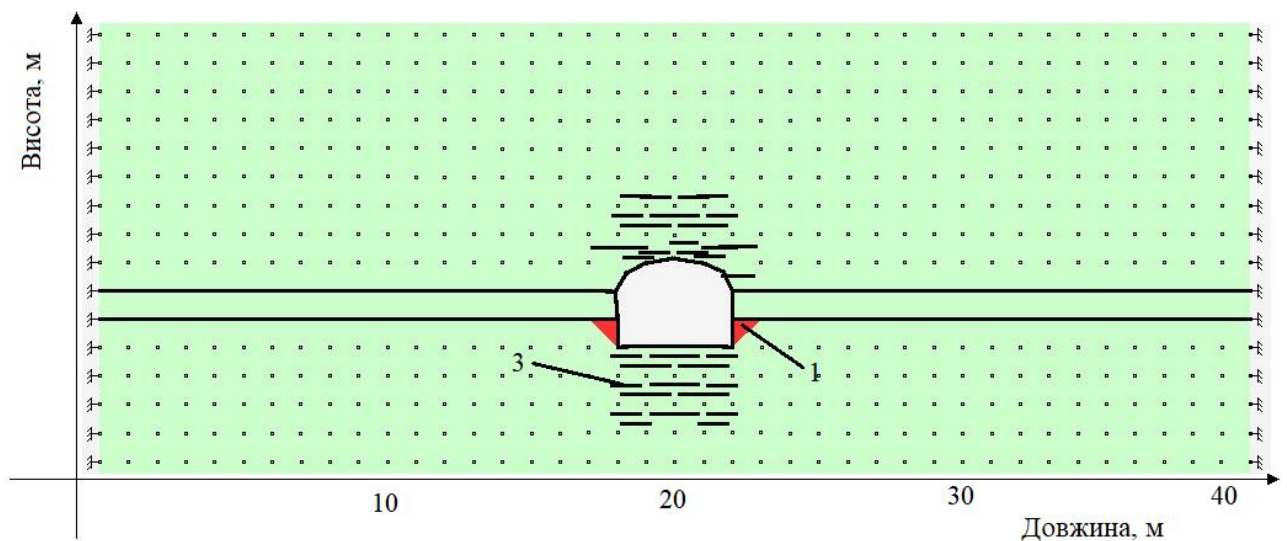
Рис.4.2 Розрахункова схема методу кінцевих елементів для визначення стійкості порід і підземної виробки

Процедуру імітаційного алгоритму реалізовано в обчислювальному комплексі «GEO-RS» [94, 95]. Програма забезпечує інструменти для введення вихідної інформації, розрахунків напружено-деформованого стану, аналізу отриманих результатів для різних геомеханічних ситуацій.

В результаті розрахунків, на друк видаються значення і напрямки напружень, деформацій, зміщень і сил для кожного елемента і вузла розрахункової схеми.

4.4 Оцінка стійкості підземних виробок для розміщення оборонно-промислових об'єктів

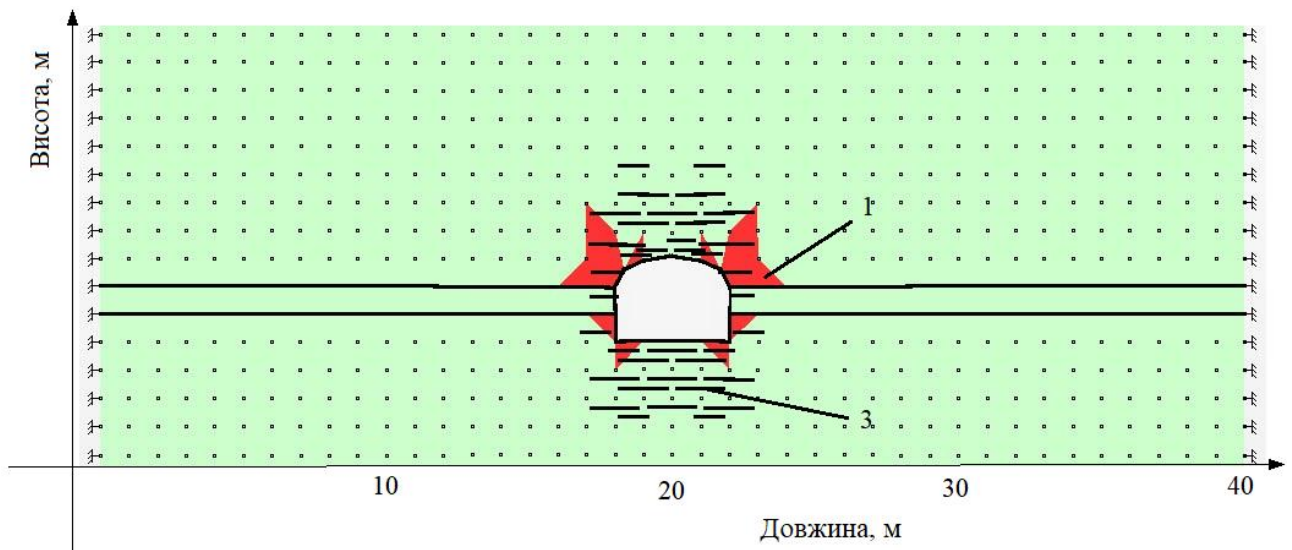
В результаті проведених досліджень і моделювання підземного об'єкту, на прикладі виробки, обрано декілька станів виробки і запропоновано такий розвиток подій: найбільш вірогідний стан підземної споруди (рис.4.3), коли виробка не піддається дії зовнішніх впливів окрім гірничого тиску масиву.



1 – зони непружних деформацій (руйнування порід в умовах нерівнокомпонентного стиснення); 3 – тріщини в покрівлі та підшві виробки

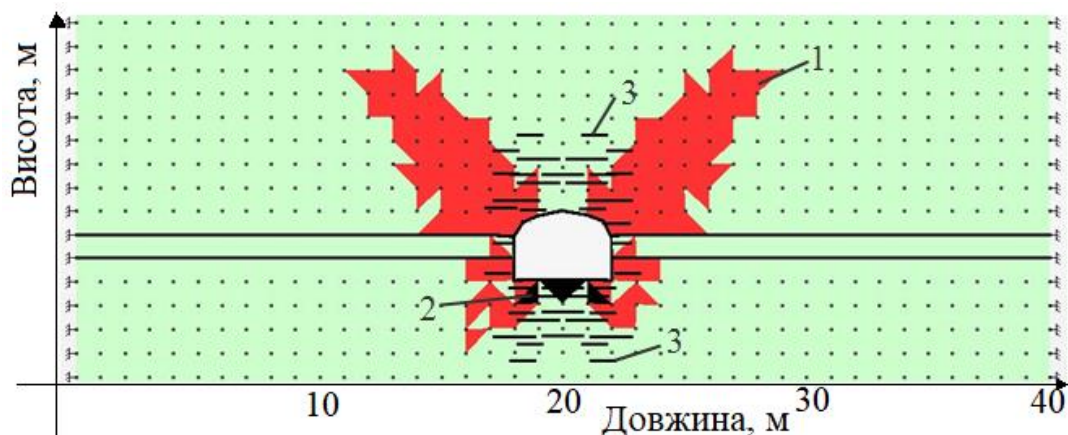
Рис. 4.3 Результат розрахунку зон непружних деформацій і магістральних тріщин навколо підземної виробки для розміщення оборонно-промислових об'єктів – найбільш вірогідний сценарій

Стани підземної споруди, коли навантаження на виробку збільшено в два, три рази, за рахунок дії додаткових динамічних впливів (вибухи, вібрації, тощо) показані на рис. 4.4 та рис. 4.5 відповідно.



1 – зони непружних деформацій (руйнування порід в умовах нерівнокомпонентного стиснення); 3 – тріщини в покрівлі та підшві виробки

Рис. 4. 4 Результат розрахунку зон непружних деформацій і магістральних тріщин навколо підземної виробки для розміщення оборонно-промислових об'єктів – за критичними умовами (інтенсивність навантажень збільшена у два рази)



1 – зони непружних деформацій (руйнування порід в умовах нерівнокомпонентного стиснення); 2 – зони розриву суцільності (руйнування в умовах розтягнення); 3 – тріщини в покрівлі та підшві виробки

Рис. 4. 5 Результати розрахунку зон непружних деформацій і магістральних тріщин навколо підземної виробки для розміщення оборонно-

промислових об'єктів – за критичними умовами (інтенсивність навантажень збільшена у три рази)

Як видно з моделювання (рис. 4. 4, рис.4. 5) підземна споруда, на основі виробки, під впливом додаткової дії динамічних навантажень ззовні, набуває зон непружних деформацій (червоні зони), поява яких сприяє більшій схильності до втрати стійкості і, як наслідок, руйнування. Чорним відмічені зони розриву суцільності, в яких спостерігається розпушування підосви. Такий стан свідчить про необхідність впровадження відповідних дій для забезпечення безпеки праці робітників і збереження задовільного стану об'єкта.

За результатами проведених досліджень і розрахунків побудовано епюру розподілу головних максимальних напружень (рис. 4. 6) навколо підземної виробки, яка планується бути використаною в якості воєнно-промислового об'єкта (складське приміщення для зберігання, приміщення промислового значення, сховище, тощо).

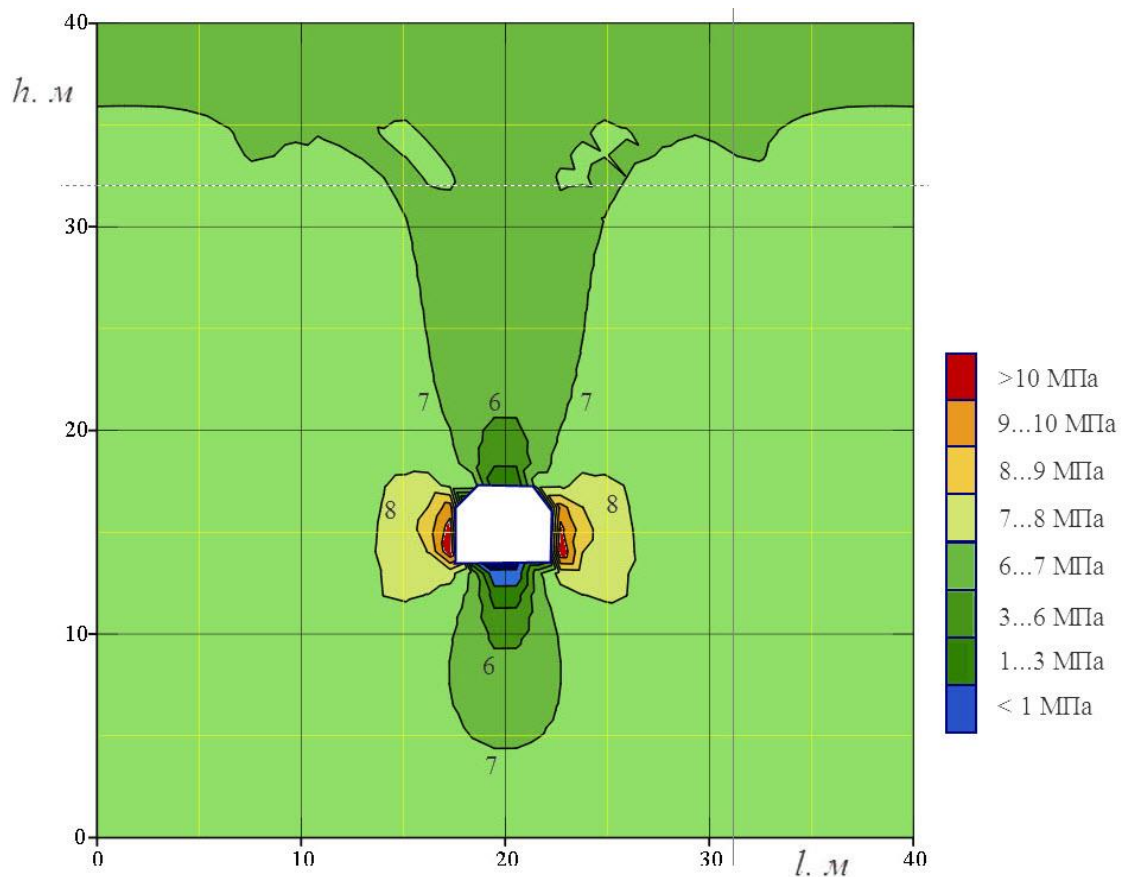


Рис.4.6 Розподіл максимальних головних напружень навколо підземної виробки – найбільш вірогідний сценарій

На рис.4.6 позначені розміри зон непружних деформацій в стані при найбільш вірогідному сценарії подій і при стані, коли на виробку діють динамічні сили (рис.4.7), в разі настання нестандартної ситуації (наслідки вибухів, воєнні дії, ситуації особливого часу).

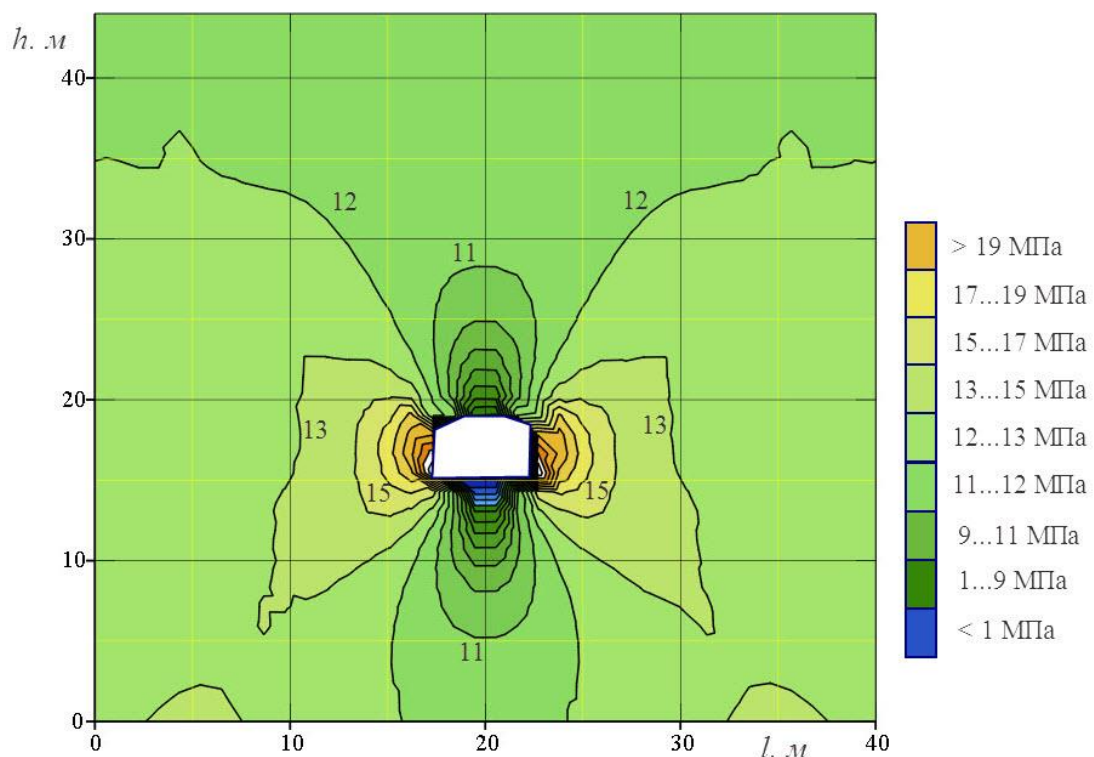


Рис.4.7 Розподіл максимальних головних напружень навколо підземної виробки – в умовах впливу динамічних опорних тисків (при подвійному рості інтенсивності зовнішнього навантаження)

Максимальні головні напруження збільшуються, зони розвантаження знаходяться в покрівлі і підшві, перерозподіл і розташування їх відносно виробки обумовлює наступні прояви дії динамічних сил: незначне зменшення величини вертикальних зміщень покрівлі, зменшення розшарування порід (за рахунок збільшення остаточної міцності в умовах об'ємного стиснення),

збільшення пучення, вигин верхняків рамних кріплень. Як видно з рисунків, в зоні впливу додаткового навантаження зростають напруження, розповсюдження зони впливу навколо виробки збільшується більше ніж у 2 рази, порівняно з зонами при найбільш вірогідному сценарії подій, напруження зростають до більш ніж 15 МПа. Значними зонами знеміцнення порід навколо виробки являються також зони бічних порід, що пов'язано з розповсюдженням тріщин вглиб масиву при дії динамічних опорних тисків, міцна порода швидко переходить в слабку розшарувату породу. Візуально це спостерігається у вигляді деформацій боків виробки, вигину кріплення. За рахунок збільшення гірського тиску суттєво зростають витрати на підтримання, відбувається крихке руйнування міцних порід. Що в подальшому створює небезпечову ситуацію для подальшого використання і для робітників, а також вимагає впровадження додаткових заходів, тому оцінка ризиків втрати стійкості надає можливість своєчасно попередити або вдатися до відповідних необхідних мір безпеки.

Підземна споруда на прикладі виробки являє собою навантажену динамічну систему, що постійно змінюється за рахунок технологічних процесів, експлуатації і динамічних впливів зовні, тісно пов'язаних між собою. Система кріплення-масив піддається статичним навантаженням від гірського тиску, а також динамічним впливам. Взаємовпливова деформація передбачає сумісну роботу кріплення і масиву, за якої навантаження на кріплення визначається її деформацією в процесі взаємодії з масивом, а геомеханічними характеристиками кріплення є несуча здатність і піддатливість. На рисунку 4.8 показано схему розташування контрольних перерізів в покрівлі, підшві та боках підземної виробки.

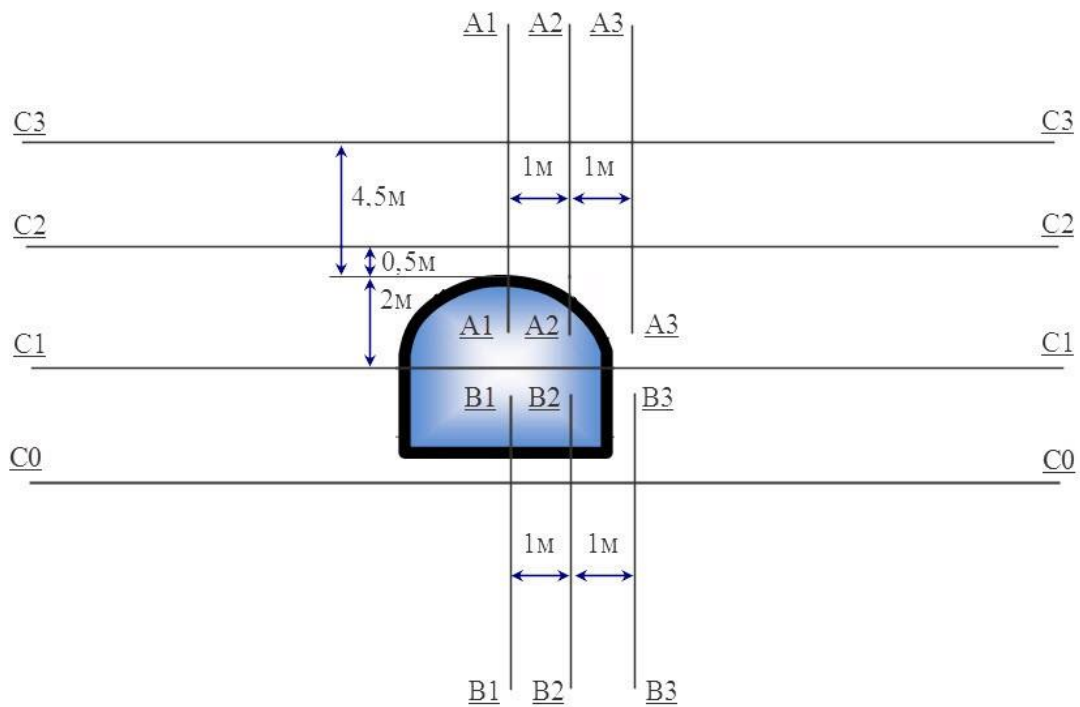
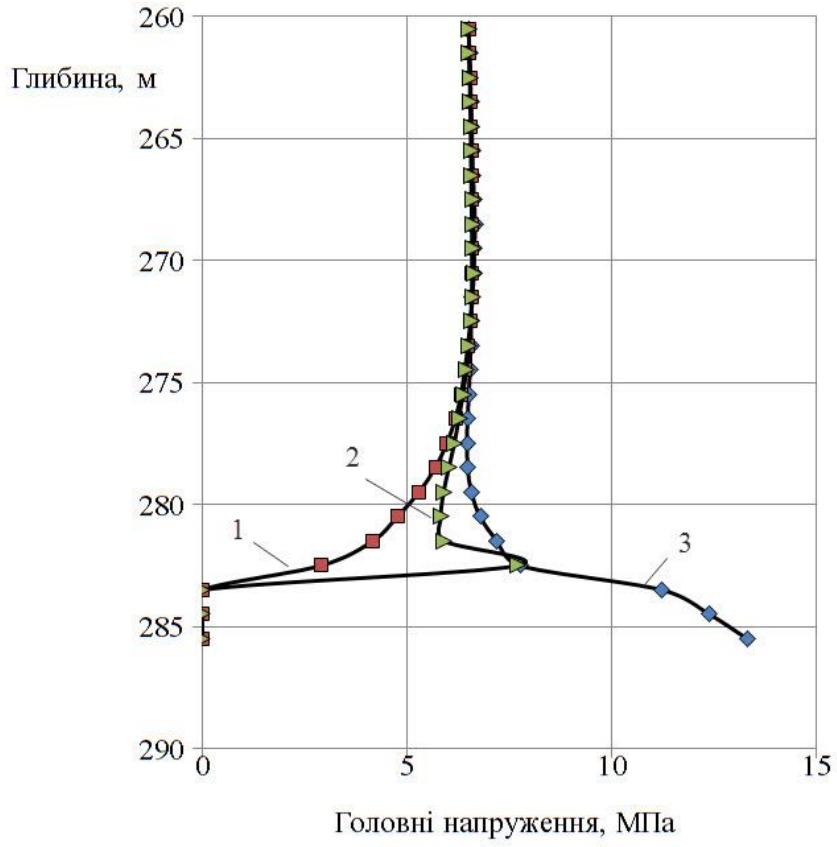
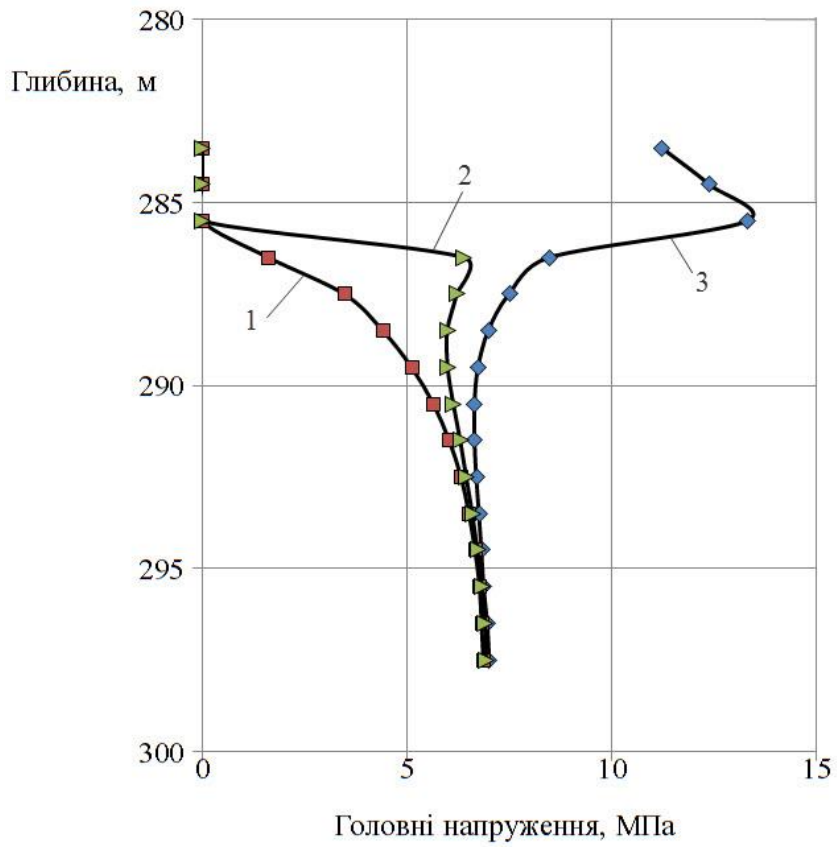


Рис.4.8 Досліджувані перерізи в покрівлі, підшві та боках підземної виробки для оцінки її стійкості та напружено-деформованого стану порід

На рис.4.9 показаний розподіл максимальних головних напружень навколо виробки при найбільш вірогідному сценарію деформування. Як видно із графіків, найбільші напруження 7...13,5 МПа виникають в бічній зоні простору масиву навколо виробки (крива 3 графіків рис.4.9 а, б).



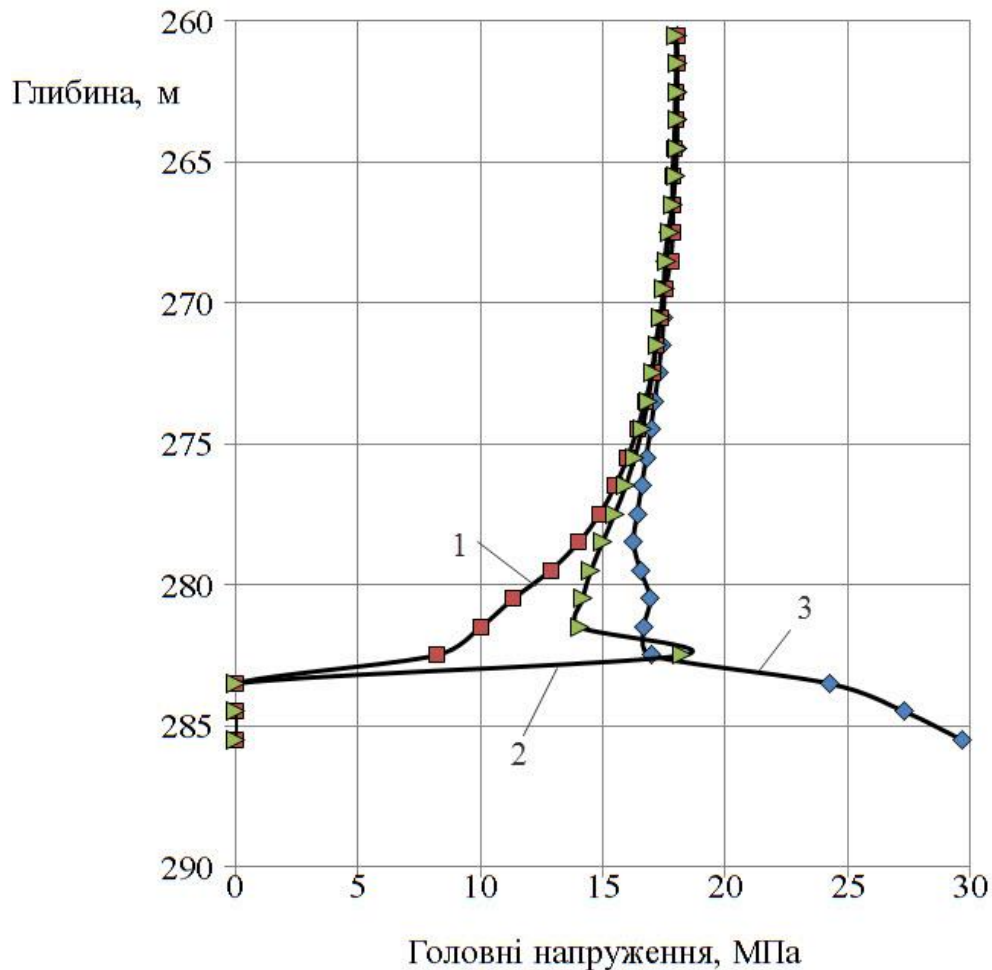
а)



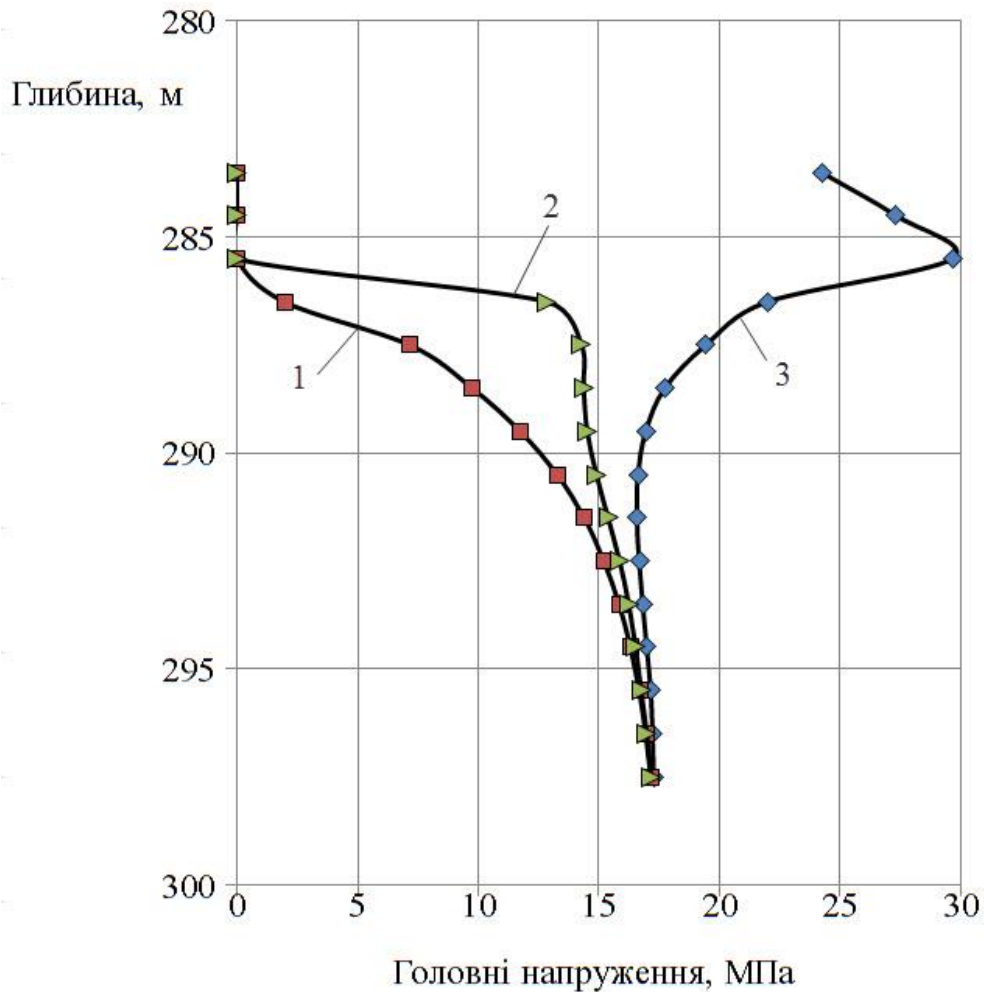
б)

Рис.4.9 Розподіл максимальних головних напружень навколо підземної виробки при найбільш вірогідному сценарії її деформування: а- в покрівлі виробки за перетинами A1-A1, A2-A2, A3-A3 (див. рис.4.8, графіки 1, 2 і 3 відповідно); б – в підшві виробки за перетинами B1-B1, B2-B2, B3-B3 (див. рис.4.8, графіки 1, 2 і 3 відповідно).

На рис. 4.10 представлені графіки розподілу максимальних головних напружень навколо виробки при умові дії динамічних опорних тисків – сценарій додаткового зовнішнього потрійного навантаження.



а)



б)

Рис. 4.10 розподіл максимальних головних напружень навколо підземної виробки в умовах впливу динамічних опорних тисків (при потрійному зростанні інтенсивності зовнішнього навантаження): а – в покрівлі виробки за перетинами A1-A1, A2-A2, A3-A3 (див. рис.4.8, графіки 1, 2 і 3 відповідно); б – в підшві виробки за перетинами B1-B1, B2-B2, B3-B3 (див. рис.4.8, графіки 1, 2 і 3 відповідно).

Як видно із графіків, в бічній зоні простору масиву навколо виробки головні напруження при потрійному зростанні інтенсивності зовнішнього впливу збільшуються більше ніж вдвічі, а саме 16...30 МПа (крива 3 графіків рис.4.10 а, б).

Напружений стан при найбільш вірогідному сценарії деформування характеризується головними напруженнями в діапазоні 2,8...8,3 МПа в зоні безпосередньої покрівлі і 5,7...7,2 МПа в зоні основної покрівлі (рис. 4.11)

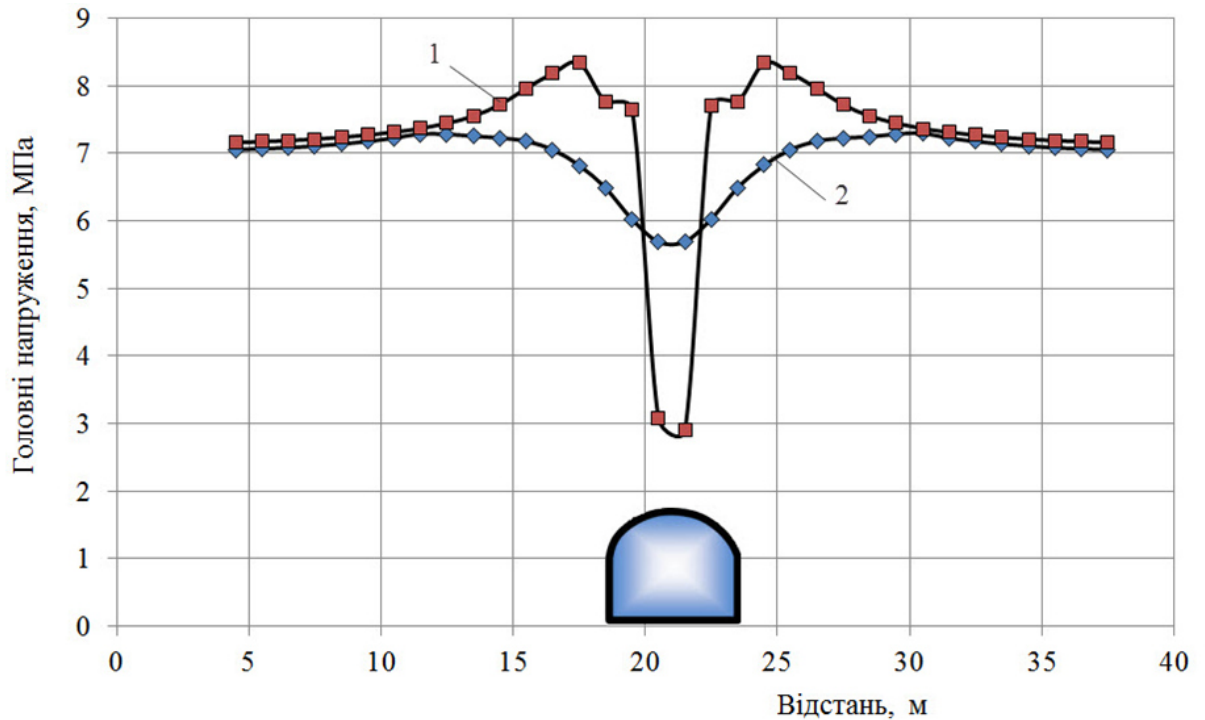


Рис. 4.11 Напружений стан безпосередньої і основної покрівлі підземної виробки при найбільш вірогідному сценарії її деформування: 1 – безпосередня покрівля (переріз C2-C2, див. рис.4.8); 2 – основна покрівля (переріз C3-C3, див. рис.4.8)

На графіку рис.4.12 показаний характер змін головних напружень бічних порід при вірогідному сценарії деформування (1) і в умовах впливу динамічних опорних тисків (2). Напружений стан при найбільш вірогідному сценарії деформування характеризується головними напруженнями в діапазоні 7...13 МПа, а при зовнішньому впливі подвійного навантаження до 12...21 МПа.

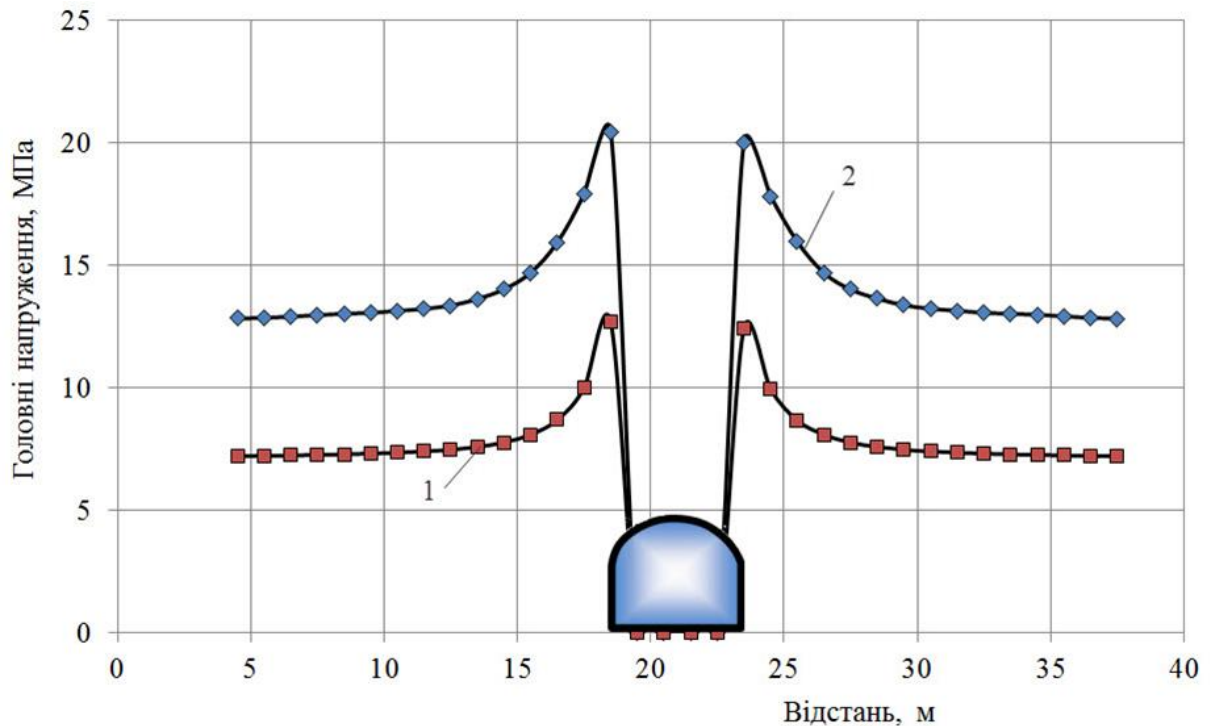


Рис. 4.12 Напружений стан бічних порід підземної виробки (переріз С1-С1, див. рис.4.8): 1 – при найбільш вірогідному сценарії деформування виробки; 2 – в умовах впливу динамічних опорних тисків (при подвійному зростанні інтенсивності зовнішнього навантаження)

На рис. 4.13-4.15 наведені графіки зміщень покрівлі підземної споруди на прикладі виробки за умов вірогідного її деформування (рис.4.13) і під дією зовнішніх додаткових навантажень подвоєного (рис.4.14) і потроєного (рис.4.15) значень. Встановлені залежності для кожного з сценаріїв, що розглядаються ($R=0,98\dots 0,99$), отримані залежності:

$$y = -0,00007 \cdot x^6 + 0,000005 \cdot x^5 - 0,0026 \cdot x^4 + 0,0712 \cdot x^3 - 1,0851 \cdot x^2 + 8,7234 \cdot x - 28,889 \quad (4.3)$$

$$y = -0,0006 \cdot x^6 + 0,0004 \cdot x^5 - 0,0203 \cdot x^4 + 0,5573 \cdot x^3 - 8,4911 \cdot x^2 + 68,22 \cdot x - 225,78 \quad (4.4)$$

$$y = -0,05 \cdot x^6 + 0,0014 \cdot x^5 - 0,072 \cdot x^4 + 1,9705 \cdot x^3 - 30,001 \cdot x^2 + 240,86 \cdot x - 796,44 \quad (4.5)$$

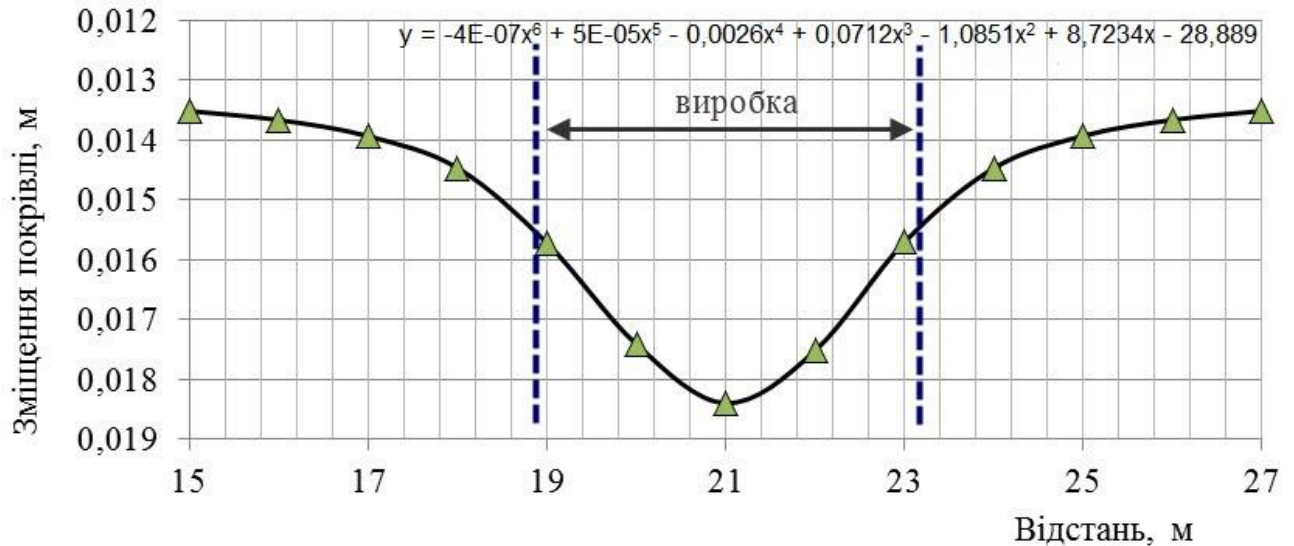


Рис. 4.13 Зміщення покрівлі підземної виробки при найбільш вірогідному сценарії її деформування

Як було сказано раніше, максимальна концентрація головних стискаючих напружень спостерігається в покрівлі (див. рис. 4.6, рис. 4.7) і з боків виробки. Таким чином, навколо виробки складається складна геомеханічна ситуація (розповсюдження зон розвантаження в покрівлі і підшві, концентрація напружень в районі кріплень), яка призводить до деформацій кріплень і, як наслідок, зміщення покрівлі. Зміщення покрівлі з часом при найбільш вірогідному варіанті подій (рис. 4.13) набувають значень при моделюванні процесу, що корелюються з отриманими натурними даними (див. рис. 3. 11) при відхиленні 27% від середнього, що є допустимим [69, 80, 81, 85].

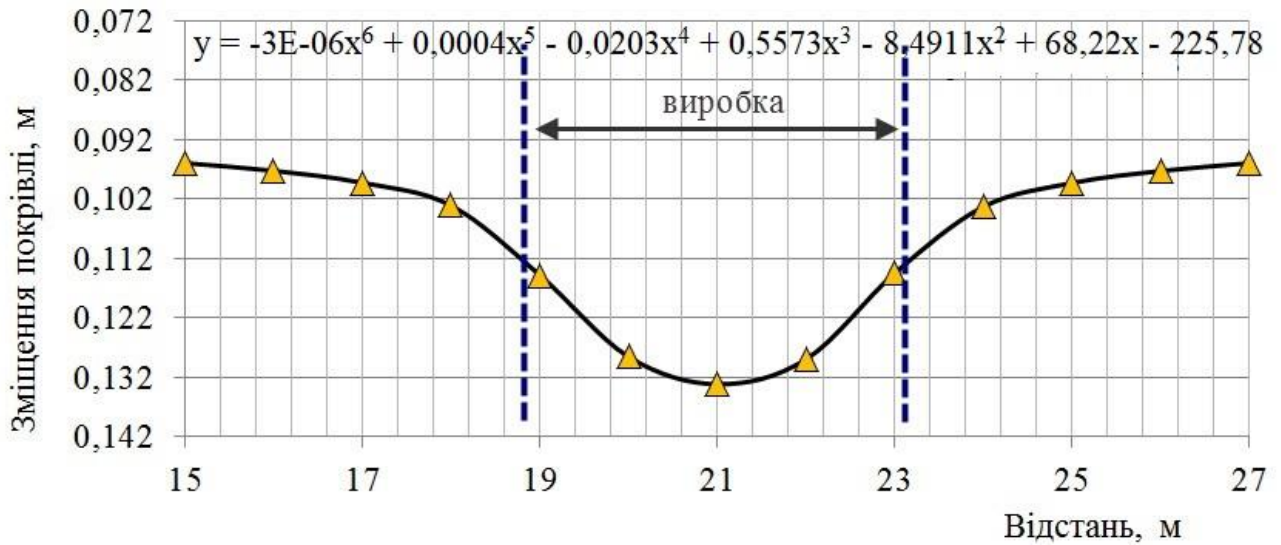


Рис. 4.14 Зміщення покрівлі підземної виробки при сценарії її деформування за умов впливу динамічних опорних тисків, що перевищують геостатичні напруження в два рази

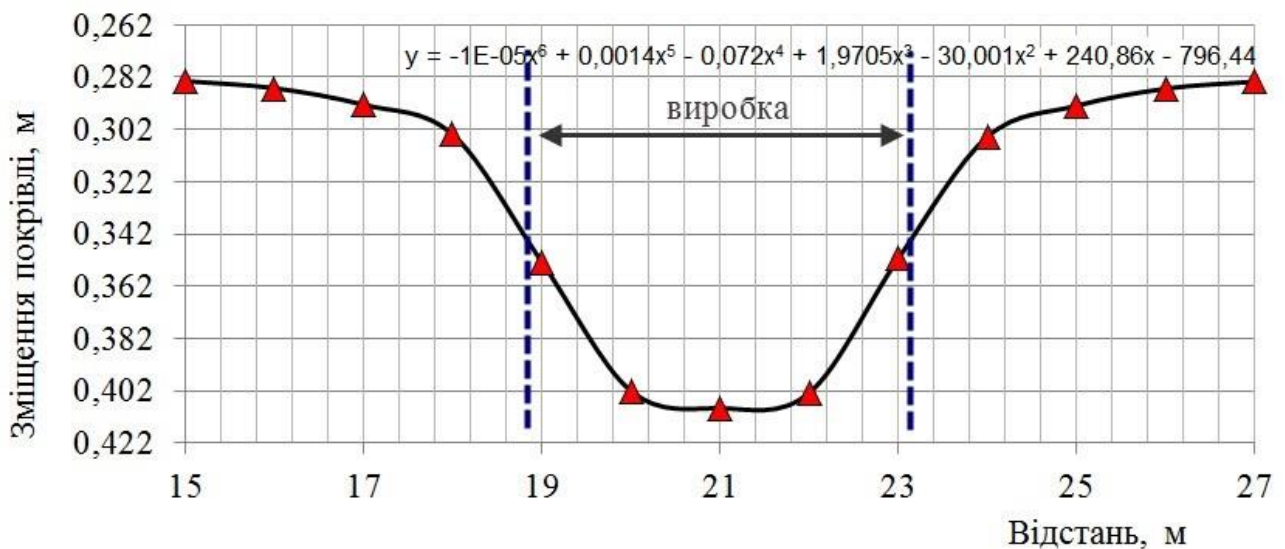
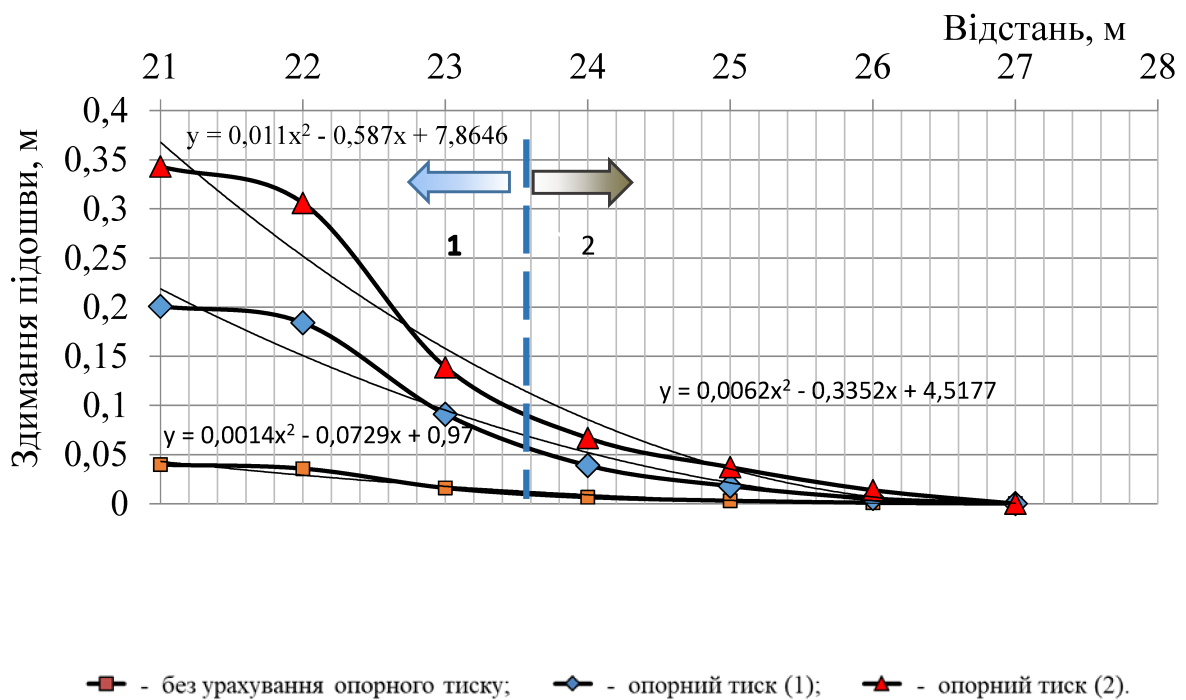


Рис. 4.15 Зміщення покрівлі підземної виробки при сценарії її деформування за умов впливу динамічних опорних тисків, що перевищують геостатичні напруження в три рази

При розвитку подій за умов додаткового впливу ззовні динамічних опорних тисків (рис. 4.14 - 4.15) при моделюванні спостерігається збільшення

зони розвантаження (див. рис. 4. 7), яке сприяє збільшенню зміщень покрівлі, що корелюється із даними, отриманими в ході натурних досліджень, при цьому відхилення складає 20,9%.

На рис. 4.16 показана схема здимання підосви підземної виробки за різних умов: без урахування опорного тиску, тобто в той час, коли не ведуться роботи, та за умови впливу опорного тиску, при якому геостатичні напруження збільшені в два (1) і три (2) рази.



1 – підземна виробка; 2 – породний масив

Рис. 4.16 Здимання підосви підземної виробки

Отримані залежності:

$$y = 0,011x^2 - 0,587x + 7,8646 \quad (4.6)$$

$$y = 0,0062x^2 - 0,3352x + 4,5177 \quad (4.7)$$

$$y = 0,0014x^2 - 0,0729x + 0,97 \quad (4.8)$$

Як видно з рис. 4.16 в підземній виробці значення здимання підосви збільшується при збільшенні навантаження, максимальні значення здимання, при збільшеному в три рази напруженні, складають 0,34 м, при сценарії, коли опорний тиск не діє (не враховується) здимання складають до 0,05 м.

4.5 Використання результатів моделювання для визначення ризиків втрати стійкості підземних промислових об'єктів

Небезпечний стан об'єкту визначається за певними критеріями. Зазначені критерії оцінки небезпечності ситуації за геомеханічним фактором (наприклад ведення гірничих робіт) спираються як на виконані нами інформативні параметри контролю стану гірських порід та виробок (шахтні заміри зміщень і деформацій виробок, візуальна оцінка тріщиностійкості, визначення заколів і руйнувань шахтними геофізичними методами та ін.), так і на прогнозовані інформативні параметри, які були визначені нами методом математичного моделювання.

Одним з основних критеріїв при оцінці відповідності способів підтримання виробок для забезпечення безпеки використання виробок в якості промислових або оборонних об'єктів є співвідношення розрахункових параметрів зміщень контуру виробки та ваги зрушених порід покрівлі з піддатливістю та несучою здатністю засобів кріплення. Очевидним є те, що кріплення за конструктивними параметрами має компенсувати зміщення контура виробки та вагу зрушених порід інакше кріплення приходить у неробочий стан. Наприклад, якщо прогнозовані зміщення перевищують 500 мм, то кріплення МПК-А3 застосовувати небезпечно, тому що його піддатливість 300 мм, а це значення менше за нижнє значення границі зміщення.

Стійкість породного масиву визначається відношенням діючих напружень до міцності масиву, що представляється безрозмірним параметром $\gamma H / \sigma_{сж}$. Характеристикою проявів сил гірського тиску в виробці

вважають зміщення її контура, величина яких визначає категорію стійкості порід (згідно СНіП II-94-80, табл.3.5) і є одним з основних критеріїв стійкості оголення [96, 97, 98, 99]. Основним фактором, що визначає величину зміщень у виробці, при цьому буде ступінь руйнування масиву (зона непружних деформацій).

Таблиця 4.3

Діапазони інформаційних параметрів, які характеризують категорії стійкості породного оголення

Параметри	Категорії			
	1	2	3	4
параметр $\gamma H/\sigma_{сж}$	0-0,25	0,25-0,35	0,35-0,50	>0,50
Зміщення, мм	До 50	50-200	200-500	>500

Навантаження на кріплення від ваги зрушених порід запропоновано визначати розрахунком ваги зруйнованих елементів у створі покрівлі виробки безпосередньо поблизу оголення в зоні її впливу. Розподілене вертикальне навантаження на 1 м довжини виробки від ваги усіх породних шарів, що, за умови відсутності засобів підтримки, обвалюються у виробку, складається із навантаження від ваги зруйнованих елементів в кожному шарі покрівлі [100-102]:

$$Q = \frac{1}{Bl_m} \sum_1^n q_s, \text{ т/м}^2, \quad (4.9)$$

де Q – навантаження від ваги всіх зруйнованих елементів моделі в створі покрівлі виробки, т/м^2 ;

B – ширина виробки, м;

l_m – одинична довжина виробки, м;

n - число шарів порід в покрівлі, що мають хоча б один зруйнований елемент;

q_s – навантаження від ваги зруйнованих елементів n -го шару, т;

$$q_s = \gamma_s \sum_1^{ns} V_e = \gamma_s \sum_1^{ns} L_e S_e, \text{ т}, \quad (4.10)$$

де γ_s – об’ємна вага n -го породного шару, т/м³;

ns – кількість порушених елементів в одному породному шарі;

V_e, S_e – об’єм і площа одиничного кінцевого елемента зони порушених порід, м³ та м² відповідно.

Зруйновані зони складаються з елементів, у яких зруйнований один або більше зв’язків. Об’єм ділянок порушеного масиву гірських порід характеризується в геомеханіці лінійними розмірами трикутних призм, залучених безпосередньо в деформаційному процесі, рис. 4.17.

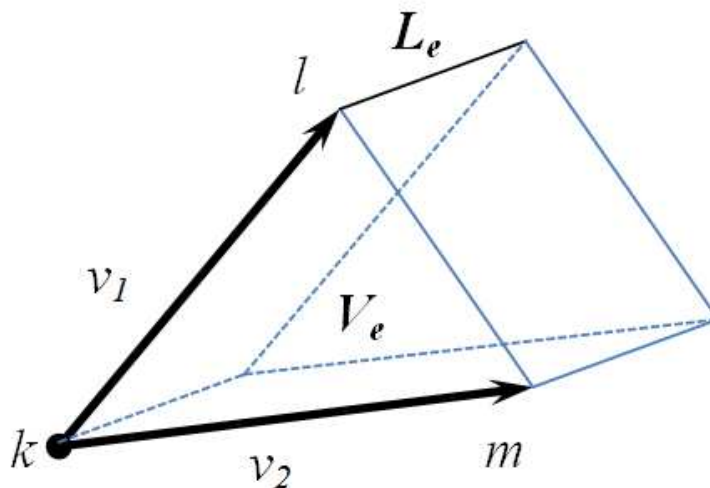


Рис. 4.17 Схема об’ємного порушеного елемента моделі

Площа кінцевого елемента, трикутної призми, визначається через модуль векторного добутку векторів $\vec{v}_1(x_l - x_k; y_l - y_k)$ та $\vec{v}_2(x_m - x_k; y_m - y_k)$:

$$S_e = 0,5 \left| \begin{vmatrix} x_l - x_k & y_l - y_k \\ x_m - x_k & y_m - y_k \end{vmatrix} \right| = 0,5 |(x_l - x_k)(y_m - y_k) - (x_m - x_k)(y_l - y_k)|, \text{ м}^2 \quad (4.11)$$

Як результат, розподілене вертикальне навантаження від ваги порушених порід покрівлі виробки, приведене до одиниці товщини розрахункової схеми, складає:

$$Q = \frac{1}{2Bl_m} \sum_1^n (\gamma_s \sum_1^{ns} L_e |(x_l - x_k)(y_m - y_k) - (x_m - x_k)(y_l - y_k)|), \text{ т/м}^2 \quad (4.12)$$

Навантаження, приведене до величини розповсюдження зони порушення по довжині виробки L (при цьому для пласкої геомеханічної моделі $L_e=1$):

$$Q = \frac{1}{2BL} \sum_1^n (\gamma_s \sum_1^{ns} |(x_l - x_k)(y_m - y_k) - (x_m - x_k)(y_l - y_k)|), \text{ т/м}^2 \quad (4.13)$$

З урахуванням поправок на зміну площин елементів середовища в результаті деформування геомеханічної моделі:

$$Q = \frac{1}{2Bl_m} \sum_1^n (\gamma_s \sum_1^{ns} L_e S_e^{def}), \text{ т/м}^2 \quad (4.14)$$

де S_e^{def} – площі елементів моделі, отримані нами в результаті розрахунку:

$$S_e^{def} = |((x_l + u_l^x) - (x_k + u_k^x))((y_m + u_m^y) - (y_k + u_k^y)) - ((x_m + u_m^x) - (x_k + u_k^x))((y_l + u_l^y) - (y_k + u_k^y))|, \text{ м}^2 \quad (4.15)$$

де - $u_l^x, u_k^x, u_m^y, u_k^y, u_m^x, u_k^x, u_l^y, u_k^y$ – переміщення вузлів елемента за координатними вісями.

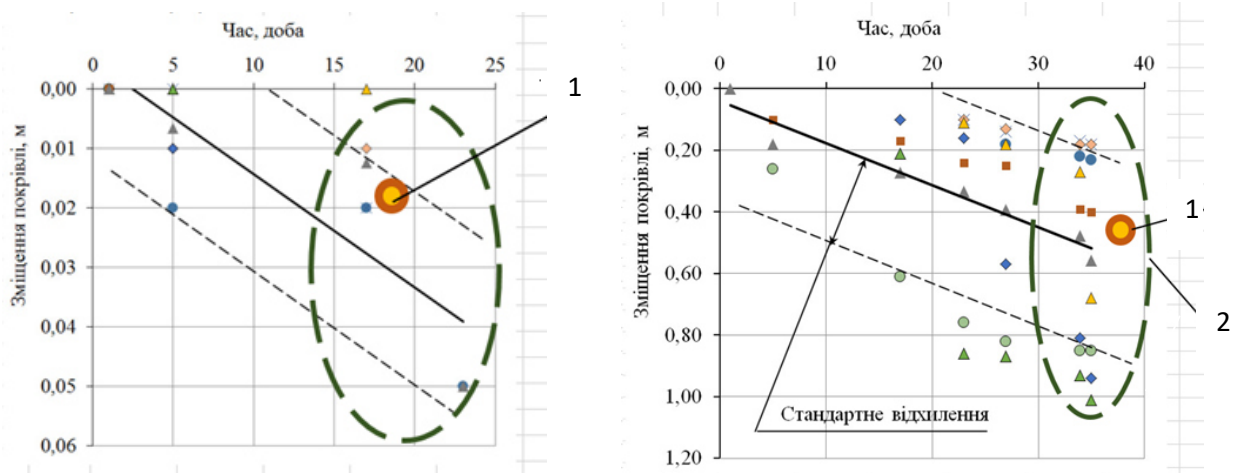
Навантаження від ваги порід на кріплення визначали з урахуванням кроку його встановлення:

$$q_k = Qn_k, \text{ т/м}^2 \quad (4.16)$$

де n_k – крок встановлення кріплення по довжині виробки, м [103-107].

Важливим є те, що зниження негативних проявів гірського тиску і забезпечення безпеки при використанні гірничих виробок безпосередньо пов'язане із зниженням напружень і деформацій в породному масиві навколо виробки. Тому, оцінка та прогноз можливих негативних сценаріїв розвитку геомеханічних подій, повинна розглядатись разом із параметрами способів і технологій кріплення, що застосовуються або можливі до застосування.

Використаний методу кінцевих елементів дозволило підтвердити моделювання складних геомеханічних процесів і явищ математичної моделі та експериментальних досліджень (рис. 4.18) та їх верифікацію.



1 – точка відповідає розрахунковому значенню математичної моделі; 2 – зона отриманих експериментальних даних для розрахунків

Рис. 4.18 Схематичне зображення верифікації результатів розрахунків

На рис. 4.18 відмічена точка теоретично визначених нами зміщень (1), яка увійшла в зону стандартних відхилень експериментально отриманих даних для даних умов. З огляду на розкид фізико-механічних властивостей порід по довжині виробки, та зміну властивостей під впливом вологи, коли несуча здатність і стійкість гірських порід значно змінюється, нами було

запропоновано введення і врахування коефіцієнта варіації для визначення ризиків втрати стійкості виробок. Статистична обробка даних показала, що відносна похибка регресійного аналізу не перевищує 20% за довірчої ймовірності 95%. Коефіцієнти кореляції лінійних залежностей і натурних даних складають 0,76...0,95, що свідчить про тісний зв'язок між параметрами (див. п. 3.3).

4.6 Розробка методики оцінки ризиків втрати стійкості

Метою розробки методики оцінки ризиків втрати стійкості кріплення підземної споруди на прикладі виробки є забезпечення безпечної роботи і безпечного використання підземного простору в якості оборонно-промислового об'єкта (Додаток Г). Поставлена задача вирішується визначенням ризиків втрати стійкості гірських порід, яке проводять за значеннями зміщень покрівлі, що отримують за період проведення шахтного моніторингу. План реагування на тригерні події переходу стану контрольованого об'єкта (система «кріплення – масив») із «зеленої зони» до «жовтої зони» і «червоної зони» визначаються згідно розрахункових даних граничних значень деформацій кріплення. Огляд оцінки ризику спрямований на виявлення будь-яких недоліків в процесі, допомогти відповідальним за оцінку в усуненні недоліків і покращити роботу, стан виробки.

Поточний контроль за станом гірничих виробок здійснюється інструментальними і геофізичними методами (шахтними вимірами зміщень і деформацій, параметрів тріщин, заколів і об'ємів руйнувань та ін.), а також фіксацією параметрів автоматизованими системами. Моніторинг є невід'ємною частиною ефективного виконання функцій управління «плануй-роби-перевірй-дій» [108, 109]. Прогнозування ризиків втрати стійкості виконують методами математичного моделювання на основі даних, отриманих після візуальних спостережень і інструментальних вимірів. Контроль проводиться при

проведенні виробок і всього подальшого терміну їх експлуатації, в якості воєнно-промислового об'єкта.

Для ідентифікації ризиків та контролювання стану породного масиву, що вміщує виробку, застосовують програмне забезпечення. Параметри для програми визначають з результатів вимірів, виконаних інструментальними методами або отримані методом апроксимації натурних експериментів.

Методом моделювання отримують як поточні, так і прогнозовані дані, особливо в тих випадках, коли натурними експериментами отримати неможливо або представляє значні складнощі. Моделюванням визначають потенційно небезпечні зони породного масиву, що вміщує виробку, для подальшого контролю і визначенню ризиків. Визначають наступні параметри: напруження в породному масиві, зміщення, форми деформацій контуру гірничих виробок, зони непружних деформацій, тріщинуватість тощо.

Для ідентифікації ризиків та контролювання стану породного масиву, що вміщує виробку, застосовували програмне забезпечення. Параметри для програми визначені з результатів вимірів, виконаних інструментальними методами або отримані методом апроксимації натурних експериментів.

Для геотехнічної системи, потенційний ризик $R(E_t)$ при якому виникає небезпечна ситуація від впливу фактору E_t в момент часу t (вірогідність настання несприятливого розвитку подій) необхідно визначати для кожного елемента даної системи, де повний ризик є сума індивідуальних ризиків окремих значень домінуючих інформативних параметрів. Потенційний ризик виникнення аварійної ситуації встановлюють для кожного з елементів геотехнічної системи [110-114]:

- за значеннями інформативних параметрів в момент часу t

$$R(E^t) = k_1^t R(E_1^t) + k_2^t R(E_2^t) + \dots + k_m^t R(E_m^t); \quad (4.17)$$

- за відхиленнями параметрів від точки рівноваги за проміжок часу Δt

$$R(E^{\Delta t}) = k_1^{\Delta t} R(E_1^{\Delta t}) + k_2^{\Delta t} R(E_2^{\Delta t}) + \dots + k_n^{\Delta t} R(E_n^{\Delta t}); \quad (4.18)$$

- за швидкістю відхилення параметрів за проміжок часу Δt

$$R(E^{v(\Delta t)}) = k_1^{v(\Delta t)} R(E_1^{v(\Delta t)}) + \dots + k_k^{v(\Delta t)} R(E_k^{v(\Delta t)}), \quad (4.19)$$

де $R(E^t)$, $R(E^{\Delta t})$, $R(E^{v(\Delta t)})$ – ризики виникнення аварійної ситуації в одному з елементів геотехнічної системи, в.о.;

$R(E_m^t)$, $R(E_n^{\Delta t})$, $R(E_k^{v(\Delta t)})$ – ризики, визначені за значенням інформативних параметрів в момент часу t ; відхилень і швидкостям відхилень параметрів геотехнічної системи від точки рівноваги для груп з m , n і k факторів, що впливають, відповідно, відн. од.;

$k_1^t, k_2^t, \dots, k_m^t; k_1^{\Delta t}, k_2^{\Delta t}, \dots, k_n^{\Delta t}; k_1^{v(\Delta t)}, k_2^{v(\Delta t)}, \dots, k_k^{v(\Delta t)}$ – нормалізовані коефіцієнти впливу на потенційний ризик окремих факторів [112, 113, 115-117].

На графіках (рис. 3.11, рис. 3.12) показано стандартні відхилення, що обмежують зону розкиду параметрів, це пов'язано із зміною фізико-механічних властивостей порід як по довжині виробки, так і з урахуванням обводненості порід, що призводить до коливань параметрів. Тому, необхідно враховувати ці особливості, тоді значення ризику буде відповідати діапазону значень з урахуванням коефіцієнта варіації для відповідних умов.

Як видно з графіків, ризики втрати стійкості системи «кріплення-масив» для кріплення, що застосовується для даних умов, досягають небезпечних рівнів в період після 320 діб, за результатами досліджень, що потребує превентивних мір з посилення кріплення (рис. 3. 14). За умови сценарію подій, коли виробка схильна до дії ззовні динамічних тисків, зона небезпеки настає на 40 добу при кріпленні за паспортом, і на 85 добу за умови посиленого кріплення.

Зміни міцності гірських порід суттєво впливають на стійкість гірничих виробок, а значить і безпеку використання підземної споруди, та відбуваються під впливом різних факторів (проведення гірничих робіт, наявність слабких порід, обводненість виробок, вплив технологій зміцнення і розвантаження приконтурної зони та інших).

Ризик-орієнтований моніторинг за геомеханічним станом породного масиву, що вміщує виробку, здійснюють за допомогою використання комплексу методів оцінки ризиків, пов'язаних між собою. Ризики можуть виникати при різних варіантах гірничих технологій або інших зовнішніх впливах.

Визначення параметрів вхідних даних проводять з дослідження середовища, в якому функціонує підземна споруда на прикладі виробки. Для аналізу середовища визначають: параметри геології, гідрогеології; домінуючі фактори, що впливають на руйнування породного масиву. Слідуючий етап - контроль підземного середовища і процесів візуальними, інструментальними та геофізичними методами. Визначають інформативні геомеханічні, гідрогеологічні, газодинамічні та інші параметри стану геотехнічної системи.

Прогноз основних геомеханічних параметрів виконують розрахунком напружено-деформованого стану породного масиву та можливих варіантів розвитку його деформування аналітичними методами.

На відміну від процесу керування, ризик-орієнтований підхід керування обов'язково включає послідовне виконання відповідних етапів – ідентифікації, аналізу, оцінювання та обробки ризиків.

Ідентифікація ризиків передбачає оцінку загроз, що відбулися та прогноз потенційно можливих загроз в майбутньому. Для цього користуються розробленими методами ідентифікації та прогнозу параметрів потенційно небезпечних станів геотехнічної системи. Наступний крок – аналізування ризиків з встановленням вірогідності негативних варіантів подій і прогнозуванням ймовірних небезпечних наслідків події. При порівнянні результатів геомеханічних процесів і критеріїв надійності та стійкості елементів системи виконується оцінка можливих ризиків. При цьому використовують отримані методами шахтного моніторингу значення відповідних параметрів, амплітуду відхилень параметрів та швидкість відхилень параметрів (див. формули 4.17-4.19).

Заключним етапом виконують обробку даних та приймають рішення щодо зниження ризиків. Плани реагування на причини ризиків залежать від належного і ефективного моніторингу, також періодичний контроль стану виробки необхідний для коригування прогнозу.

Висновки за розділом 4.

1. На основі проведеного аналізу методологічних підходів з урахуванням особливостей оцінки геомеханічного стану гірських порід і стійкості підземних оборонно-промислових об'єктів при визначенні безпечної їх експлуатації проведено моделювання напружено-деформованого стану гірського масиву, що вміщує виробку, методом кінцевих елементів.

2. При визначенні ризиків втрати стійкості підземних споруд на основі оцінки стану гірських порід і стійкості виробок проведено обґрунтування використання відхилень і коефіцієнтів варіації для проведення моделювання напружено-деформованого стану гірських порід на основі методу кінцевих елементів.

3. Вперше нами з урахуванням напружено-деформованого стану породного масиву в процесі експлуатації розроблена розрахункова схема методу кінцевих елементів для визначення стійкості порід і підземної виробки.

4. Вперше запропоновано процедура імітаційного алгоритму, який враховує дію критичних динамічних навантажень, що вдвічі та втричі перевищують стан динамічного гірського тиску, що дозволяє змодельовані ситуації найбільш вірогідного сценарію подій і критичного використовувати для визначення зон ризиків втрати стійкості і можливості їх усунення при оцінці безпеки використання виробок для підземних оборонно-промислових об'єктів.

5. Вперше, на основі проведених досліджень і моделювання підземного об'єкту визначені закономірності найбільш вірогідного стану підземних виробок з урахуванням зовнішнього впливу окрім гірничого тиску

масиву, безпечний стан та можливість подальшої експлуатації виробки в якості воєнно-промислового об'єкта.

6. Встановлені закономірності зміщення покрівлі та здимання підосви підземної виробки в умовах впливу динамічних опорних тисків при найбільш вірогідному сценарії її деформування і за умов впливу динамічних опорних тисків, що перевищують геостатичні напруження в два і три рази, що дозволяє оцінити стан безпечної експлуатації виробки та запропонувати необхідні засоби і заходи з її підвищення.

7. На основі проведених досліджень встановлено, що отримані значення моделювання корелюються з отриманими натурними даними. При моделюванні подій критичного стану кореляція з натурними даними дала похибку у 20,9%.

8. В співпраці з дослідниками ІГТМ НАН України, розроблені методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд, які дозволяють визначити ризики і оцінити небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд.

9. Методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд впроваджені в головному управлінні ДСНС та в навчальному процесі кафедри безпеки життєдіяльності Придніпровської державної академії будівництва та архітектури та на кафедрі біотехнології та безпеки життєдіяльності Українського державного хіміко-технологічного університету при викладанні дисципліни «Основи теорії надійності та техногенний ризик» (Додаток Г).

Список використаних джерел у розділі 4

У розділі 4 використані [75...117] джерела. Їх перелік і найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз світового досвіду використання підземного простору і перспективи використання шахтних виробок для розміщення оборонно-промислових комплексів в Україні для забезпечення національної безпеки країни.

2. Проведено обґрунтування щодо фізико-механічних характеристик пісковика, що впливають на стійкість виробок: та розроблена методика щодо визначення можливих ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (втрати стійкості кріплень, що призводить до обвалень і руйнувань) з урахуванням умов будівництва. Отримані показники що характеризують реологічні властивості порід, які прийняті до методики з визначення ризиків, пов'язаних з втратою стійкості.

3. На основі проведеного аналізу принципів підземного будівництва та класифікації підземних споруд за призначенням для оцінки заходів безпеки підземних споруд розроблена методика щодо визначення можливих ризиків виникнення надзвичайних ситуацій з урахуванням умов будівництва.

4. Проведено вдосконалення пристроїв для випробування порід на в'язкість руйнування та для випробування гірських порід на тріщиностійкість. На пристрої одержані патенти: пристрій для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві №148712 [62] та пристрій для випробування гірських порід на тріщиностійкість №148200 [63] відповідно.

5. Встановлені закономірності зміни межі міцності, модуля пружності, коефіцієнта поперечної деформації, змін питомої потенційної енергії зміни об'єму і форми від величини стискаючих сил, нормальних напружень і дотичних напружень від кута нахилу зразка, залежність дотичних від нормальних напружень, що дозволяє встановити залежності деформацій аروحного кріплення по довжині і висоті виробки та часу експлуатації та прогнозувати ризик виникнення деформацій, похибка не перевищує 20 %.

6. При визначенні ризиків втрати стійкості підземних споруд на основі оцінки стану гірських порід і стійкості виробок проведено обґрунтування використання відхилень і коефіцієнтів варіації для проведення моделювання напружено-деформованого стану гірських порід на основі методу кінцевих елементів, які використовуються для забезпечення безпеки в особливі часи або у воєнні часи.

7. Встановлені закономірності інтенсивності деформування капітальної виробки і виробки в період усталених зрушень, що дозволяє з врахуванням розкиду параметрів, забезпечити безпечний строк експлуатації виробки до 10 років за умови періодичного моніторингу, раз на пів року, при цьому ризик втрати стійкості за перші 2 роки не перевищує 0,25. При використанні капітальних виробок в період 3,5...4,5 роки ризики руйнування мінімальні, зміщення не перевищують 300 мм, ризик втрати стійкості виробки не перевищує 0,5, що є достатнім для забезпечення безпечної експлуатації виробки.

8. На основі проведених досліджень і моделювання підземного об'єкту визначені закономірності найбільш вірогідного стану підземних виробок з урахуванням зовнішнього впливу окрім гірничого тиску масиву, безпечний стан та можливість подальшої експлуатації виробки в якості воєнно-промислового об'єкта. Теоретичні дослідження корелюються з отриманими натурними даними похибка не перевищує 20,9%.

9. Результати дисертаційної роботи «Методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд» впроваджені в головному управлінні ДСНС України у Дніпропетровській області, що дозволило вдосконалити структури ризик-орієнтованого управління та одержати соціальний ефект (Додаток Г).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Occupational safety and health in the mining industry in Ukraine / International Labour Organization, ILO DWT and Country Office for Central and Eastern Europe. – Kyiv: ILO, 2018.
2. Вагонова О.Г. Економічні аспекти управління охороною праці на вугледобувних підприємствах : монографія / О.Г. Вагонова, Л.В. Касьяненко; Нац. гірн.ун-т. Д.: НГУ, 2013. 187 с.
3. https://www.sop.com.ua/files/2021/04-2021/dod_3_2020-po-haluziah.pdf
4. <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/>
5. <https://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2023/05/3054.pdf>
6. Анализ и прогнозирование производственного травматизма в комплексно-механизированных очистных забоях / И.В. Антипов, И.В. Жуковцов, Р.Н. Баюн, В.М. Куцерубов // Проблеми гірничої технології: матеріали регіональної науково-практичної конференції, Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 30 листопада 2012 р. Донецьк: Цифрова типографія, 2012. С. 295 - 301.
7. Голінько В.І. Основи гірничорятувальної справи: навч. посіб. / В.І. Голінько, С.М. Смоланов, Б.А. Грядущий; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. Д.: НГУ, 2014. 271 с.
8. НПАОП 0.00-5.33-80. Інструкція з безпечного ведення гірничих робіт на рудних і нерудних родовищах, схильних до гірничих ударів.
9. Park, S., & Park, Y. -. (2020). Effect of underground-type ammunition magazine construction in respect of civil and military coexistence. Sustainability (Switzerland), 12(21), 1-21. doi:10.3390/su12219285.
10. Eastler, T. E. (n.d.). Military Use of Underground Terrain. Studies in Military Geography and Geology, 21–37. doi:10.1007/978-1-4020-3105-2_3.
11. Us national committee on tunnel, & Us national committee for rock. (1988). Advance sinechnology for the construction of deep-underground facilities. Tunnel

- ling and Underground Space Technology, 3(1), 25–44.
[https://doi.org/10.1016/0886-7798\(88\)90031-4](https://doi.org/10.1016/0886-7798(88)90031-4).
12. G.A. Kiersch, Engineering Geology 49 (1998), 176
 13. <https://www.roscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
 14. інтернет ресурс <https://sofrep.com/news/deep-underground-and-secret-us-military-bases/>
 15. Braudel F. History of Civilization. – N.Y., 1994..
 16. Alkaff S.A., Sim S.C., Efzan M.N.E., Renew and Sustain. Energ. Review 60, 2016, pp.692–713.
 17. інтернет ресурс <https://theoutlook.com.ua/article/6866/kanadski-xmarochosine-tilki-vgoru-ale-i-vniz.html>.
 18. інтернет ресурс <http://turnavigator.com.ua/%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B5-%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE-%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D1%8F/>.
 19. інтернет ресурс <https://antonivtours.com/2017/11/pidzemne-misto-v-avstrali%D1%97-de-zhive-2-000-lyudej/>.
 20. Kim, Y., Teo, T. Y., & Ng, M. (2013). Construction of tunnel sand caverns for phase 1 jurong rock caverns. Paper presented at the Proceeding of the 13th World Conference of ACUUS: Advances in Underground Space Development, ACUUS 2012, 982-990. doi:10.3850/978-981-07-3757-3RP-164-P306 Retrieved from www.scopus.com.
 21. Zhou, Yingxin & Zhao, Jian. (2015). Assessment and planning of underground space use in Singapore. Tunnelling and Underground Space Technology. 55. 10.1016/j.tust.2015.12.018.
 22. Karnkowski, P. H., & Czapowski, G. (2007). Underground hydrocarbons storages in Poland: Actual investment sand prospects. Przegląd Geologiczny, 55(12 I), 1068-1074. Retrieved from www.scopus.com

23. Tarkowski, R., & Czapowski, G. (2018). Salt domes in Poland – potential sites for hydrogen storage in caverns. *International Journal of Hydrogen Energy*, , 21414-21427. doi:10.1016/j.ijhydene.2018.09.212\$
24. Uliasz-Misiak, B., & Przybycin, A. (2016). Present and future status of the underground space use in Poland. *Environmental Earth Sciences*, 75(22) doi:10.1007/s12665-016-6227-8.
25. Evans D, Stephenson M, Shaw R (2009) The present and future use of ‘land’ below ground. *Land Use Policy* 26:S302–S316.
26. Erdemir, D., & Dincer, I. (2022). PHOTONIC REACTORS FOR HYDROGEN PRODUCTION AND WASTEWATER TREATMENT IN UNDERGROUND AND UNDERWATER APPLICATIONS. Paper presented at the Proceedings of WHEC 2022 - 23rd World Hydrogen Energy Conference: Bridging Continents by H₂, 102-103. Retrieved from www.scopus.com.
27. Labs K., *Underground Space* 1, 1976, 1 pp.35–156.
28. Altan H., Hajibandeh M., Anissa K., Aoul T., Deep A., *Passive Design, ZEMCH: Toward the Delivery of Zero Energy Mass Custom Homes*, 2016, pp.209–236.
29. De Munari A., Capão D.P.S., Richards S.S, Schäfer A.I., *Desalination* 248, 2009, 72–82.
30. Kaliampakos D., *Proced. Engineer.* 165, 2016, pp.205–213.
31. Kaliampakos D., Benardos A., *WIT Transactions on the Built Environment* 102, 2017, pp.1743–3509.
32. інтернет-ресурс <https://dailyinfographic.com/the-deepest-underground-structures-on-earth#:~:text=The%20two%20leading%20contenders%20that,which%20is%202%2C400%20meters%20underground.>
33. інтернет-ресурс [https://fakty.com.ua/ru/ukraine/polituka/20220708-reznikov-proponuye-perenosyty-oboronni-vyrobnyctva-pid-zemlyu/.](https://fakty.com.ua/ru/ukraine/polituka/20220708-reznikov-proponuye-perenosyty-oboronni-vyrobnyctva-pid-zemlyu/)

34. інтернет-ресурс https://newinform.com/23527042-ministr_oboroni_ukraini_predlozhit_razmestit_predpriyatiya_opk_v_shahtah.
35. інтернет-ресурс <https://www.britannica.com/technology/tunnel/Future-trends-in-underground-construction>.
36. Tender, M. L., Couto, J. P., & Bragança, L.. (2017). The role of underground construction for the mobility, quality of life and economic and social sustainability of urban regions. *REM - International Engineering Journal*, 70(3), 265–271. <https://doi.org/10.1590/0370-44672016700151>.
37. Liao R. Overview of Anti-Seismic Researches of Underground Structures // E3S Web of Conferences 38. 2018. 03038.
38. Череватський Д.Ю. Вугільні гетерархії: теорія і практика трансформації галузі: монографія; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ. 2020. 288с.
39. Ranjbar N., Mehrali M., Maheri M.R., Mehrali M. Hotpressed geopolymer // Cement and Concrete Research. 2017. No. 100. Pp. 14—22.
40. Драчук Ю.З. Актуальные вопросы современной стратегии инновационного развития угольного производства / Ю.З. Драчук, О.М. Еременко, В.В. Косарев // Прометей: регіон. зб. наук. пр. Донецьк : ДЕГІ, ІЕПД НАН України, 2007. Вип. 3(24). С. 50–54.
41. Li C.C. (2017) Principles of rockbolting design, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Vol. 9, Issue 3, Pages 396-414.
42. Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
43. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.
44. Власов С.Ф., Тимченко С.Є., Молдаванов Є.В. (2021). АНАЛІЗ ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ПІСКОВИКІВ, ЯКІ ЗАЛЯГАЮТЬ У ПОКРІВЛІ РОЗРОБЛЮВАНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ В

- УМОВАХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ. Collection of Research Papers of the National Mining University. 65, 7-15. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.007>
45. Бондаренко В.І., Бузило В.І., Табаченко М.М., Медяник В.Ю. Геомеханічні основи підвищення стійкості підготовчих виробок: Навчальний посібник. Д.: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2010. 408 с..
46. Безродна І.М., Гожик А.П. Петрофізика. К.:ВПЦ «Київський університет». 2018. 256с.
47. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижикова Е.А. Геомеханика. Киев, Новий друк, 2016. – 528 с. - ISBN 978-617-635-088-0.
48. Liashok, Y. O., Serhienko, O. I., Kutserubov, V. M., Kohtieva, O. P., & Serhienko, L. V. (2020). Their fluence of the moisture on the physical and mechanical properties of the sandstone (separate unit "kapitalna" coal mine", donbas). *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2020(2), 11-16. doi:10.33271/nvngu/2020-2/011.
49. Сергієнко О.І., Когтєва О.П., Уваров М.О. Чисельне моделювання в'язко-пружних деформацій однорідного масиву навколо одиночної виробки. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І.Вернадського.Серія: Технічні науки»*. Том 31 (70) № 3, 2020.
50. Hashiba, K., Fukui, K., & Kataoka, M. (2019). Effects of water saturation on the strength and loading-rate dependence of andesite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 117, 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.03.023>.
51. ДСТУ ISO 14688-1:2021. Геотехнічні дослідження та випробування. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ҐРУНТІВ. Частина 1. Ідентифікація та опис (ISO 14688-1:2017, IDT).
52. Врублевский В.И. Сопротивление горных пород разрушению. - Киев: «Техніка», 1964. - 222 с.

53. Barton, N. (1976, September). The shear strength of rock and rock joints. In *International Journal of rock mechanics and mining sciences & Geomechanics abstracts* (Vol. 13, No. 9, pp. 255-279). Pergamon.
54. Зуєвська Н. В., Ванчак М. І., Туровський М. В. Оцінка деформацій підземної конструкції під впливом вибухового навантаження. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. № 27. С. 30-36.
55. Barton, N. (1973). Review of a new shear-strength criterion for rock joints. *Engineering geology*, 7(4), 287-332.
56. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. Киев: Наук.думка. 1979.136 с.
57. Усаченко Б.М., Чередниченко В.П., Головчанский И.Е. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизированных породах. Киев: Наук.думка. 1990.144 с.
58. Chen, W., Konietzky, H., Tan, X., & Frühwirth, T. (2016). Pre-failure damage analysis for brittle rocks under triaxial compression. *Computers and Geotechnics*, 74, 45-55.
59. Fülöp, T., & Szücs, M.. (2022). Analytical solutions for rheological processes around bores and tunnels. *Journal of Engineering Mathematics*, 136(1). <https://doi.org/10.1007/s10665-022-10235-6>.
60. Jun Peng, Louis Ngai Yuen Wong, Guang Liu, Cee Ing Teh. Influence of initial micro-crack damage on strength and micro-cracking behavior of an intrusive crystalline rock/*Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1317-3>.
61. Balázs Vásárhelyi, Morteza Davarpanah. Influence of Water Content on the Mechanical Parameters of the Intact Rock and Rock Mass/*Periodica Polytechnica Civil Engineering*, p.1-6. <https://doi.org/10.3311/PPci.12173>.
62. Пристрій для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві: пат. 148712 Україна: G01N 3/24. № у 2021 01887; заявл. 09.04.2021; опубл. 08.09.2021, Бюл.№36. 5с.

63. Пристрій для випробування гірських порід на тріщиностійкість: пат. 148200 Україна: G01N 3/00. № у 2021 01681; заявл. 01.03.2021; опубл. 14.07.2021, Бюл.№28. 5с.
64. Бачурін Л.Л., Іорданов І.В., Когтева О.П., Подкопаєв Є.С., Єфремов О.І., Король А.В., Григорєць М.О. Експериментальні дослідження деформаційних характеристик охоронних споруд гірничих виробок. Вісті донецького гірничого інституту. №2 (47), 2020, с.7-22 <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-7-22>.
65. Солодянкін О.В., Дудка І.В., Григор'єв О.Є., Солодянкіна О.А. Вдосконалена методика проведення інструментальних вимірювань у виробках з металевим арочним кріпленням. Вісник Криворізького національного університету. №47.2018. с.14-20.
66. Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., Симанович Г.А., Мартовицький А.В., Копилов О.П. Методи розрахунку переміщень і зміцнень приконтурних порід гірничих виробок шахт Західного Донбасу. Монографія. Дніпропетровськ: ТОВ «Лізунов Прес». 2010. 330 с.
67. Khomenko, Oleh&Kononenko, Maksym&Netcha, M. (2016). Industrial research in to massif zonal fragmentation around mine workings. Mining of Mineral Deposits. 10. 50-56. 10.15407/mining10.01.050.
68. Бондаренко В.І., Почепов В.М., Фомичова Л.Я., Фомичов В.В. Особливості впливу умов контакту елементів геомеханічної моделі «шаруватий масив – кріплення виробки» на результати обчислювального експерименту. Наук-технічний збірник «Надбання наукових шкіл». Дніпропетровськ. 2009. 307с.
69. Охорона підготовчих виробок, що використовують повторно, в умовах антрацитових шахт: монографія / О.В. Солодянкін, І.В. Дудка, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Дніпро: НГУ, 2017. 161 с.

70. Розташування, охорона і підтримання гірничих виробок при відпрацюванні вугільних пластів на шахтах України. Методичні вказівки : КД 12.01.01.201-98. К. : УкрНІМИ, 1998. – 149 с. – (керівний документ Мінвуглепрому України).
71. Інструкція з забезпечення стійкості дільничних виробок для повторного використання на вугільних шахтах. Офіційний вісник України від 10.01.2023, 2023 р., № 2, стор. 364, стаття 177, код акта 115665/2022 (Міненерго; Наказ № 378 від 10.11.2022 р.).
72. Халимендииков Е.Н., Янжула А.С., Демченко А.И, Яйцов А.А., Головин М.В. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОХРАНЫ И ПОДДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОЙ ШАХТЫ. ПРОБЛЕМИ ГІРСЬКОГО ТИСКУ, №16, 2008
73. СОУ 10.1-00185790-002-2005. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. Мінвуглепром України. Київ, 2006. 450 с.
74. Стовпник С. М. Розвиток основ руйнівного деформування приконтурних порід слабометаморфізованого масиву дією геотехнічних збурень: дис. ...д-ра наук : 05.15.09/ Київ.політехн-й інст. ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2021.323 с.
75. Моделирование геомеханических процессов в массиве горных пород. Под общей ред. Ю.А. Петренко. Донецк: НОУЛИДЖ, 2009. 161 с.
76. Основы моделирования геомеханических процессов. Под общей ред. И.А. Ефремова, Н.В. Малеева. Донецк: НОУЛИДЖ, 2012. 262 с
77. Feng Huang, Xiaoxiong Shi et al. Stability analysis of tunnel under coal seam goaf: Numerical and physical modeling. Underground Space, 11, 8 2023. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2022.12.006>
78. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках шахт Донецкого бассейна. Харьков: Недра, 1966. 180 с.

79. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. Совершенствование критерия для устойчивости пород почвы выработки. Проблемы гірського тиску. 2014. № 1-2. С. 77-95.
80. Керування ризиками в гірничодобувній діяльності : монографія / Г.Г. Півняк, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 288 с.
81. Кирничанский Г. Т. Исследование и разработка методов определения свойств горных пород и математического моделирования как основа прогнозирования устойчивости выработок : дис... канд. техн. наук : 01.02.07 / Кирничанский Георгий Тимофеевич. Днепропетровск, 1979. 204 с.
82. 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.
83. Slashchova O. (2019), Water effect on the rocks and mine roadways stability, Proc. of the International Conference "Essays of Mining Science and Practice", IGTM NASU, June 25-27, Dnipro, Ukraine, E3S Web of Conferences, Vol. 109.
84. Slashchova O., Slashchov I. and Sapunova I. (2019), Specific solution of problem of water filtering in the rocks by the finite element method, Proc. of the International Conference "Essays of Mining Science and Practice", IGTM NASU, June 25-27, Dnipro, Ukraine, E3S Web of Conferences, Vol. 109.
85. Руководство по геофизической диагностике состояния системы "крепь - породный массив" вертикальных стволов: Дополнение к «Пособию по восстановлению крепи и армировки вертикальных стволов. РД 12.18.073-88» / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, А.А. Яланский и др.: Донецк: ООО "Лебедь", 1999. - 42 с.
86. Моделювання та контроль динамічних процесів в задачах оцінки стану геотехнічних систем: монографія / Іконнікова Н.А., Корсун В.І., Слащов А.І. та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. горн. ун-т. Дніпропетровськ: НГУ, 2015. 279 с.

87. Обґрунтування вихідних параметрів для моделювання геомеханічних процесів в задачах оцінки безпеки підтримання гірничих виробок / А.О. Яланський, І.О. Сапунова, А.І. Слащов, Л.А. Новіков, // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 119. – С. 282-295.
88. I. Slashchov, A. Slashchov, I. Siromaschenko, V. Kurinnyi and M. Ikonnikov. Development of digital technologies for the systems of remote mining safety monitoring. E3S Web of Conferences, 168, 00065 (2020).
89. Булат А.Ф., Слащова О.А., Слащов І.М., Стаднійчук М.М. Обґрунтування методів контролю геомеханічної безпеки на гірничих підприємствах. Геотехнічна механіка. Дніпро: ІГТМ НАНУ, 2020. № 150. С. 176-187.
90. Lee E.H. Elasto-Plastic Deformation at Finite Strains. – Trans ASME. J.Appl. Mech., 1969. Vol. 36. v1. – pp. 1–6.
91. Matiasson Kjell et al. On Accuracy and Efficiency of Numeral Algorithms for Geometrically Nonlinear Structural Analysis. Geteborg. – 1985.
92. Zienkiewicz, O.C. (1971) The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill, New York.
93. O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor, J. Z. Zhu : The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals, Butterworth-Heinemann, (2005).
94. Bulat, A.F., Slashchov, I.M. (2012). Development of computer systems mathematical modeling geomechanical processes, Geotekhnicheskaya Mekhanika, 99, 16-27.
95. Slashchov, I.M. (2012). The development of mathematical model and technology of computer analysis of tectonically disturbed structurally-heterogeneous rock massif, Geo-Technical Mechanics, no. 104, 94-109.
96. СНиП II-94-80 Норми проектування. Підземні гірничі виробки [Чинний від 1982-01-01].

97. Hudson J. A., Cornet F. H., Christiansson R., Sjoberg J., and Haimson B. C. ISRM suggested methods for rock stress estimation, *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.*, 2003, Vol. 40, No. 7, 8. — P. 991–1025.
98. Шашенко, А.Н. Масштабный эффект в горных породах / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.В. Кужель. Д.: АРТ-Пресс, 2004. 132 с.
99. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В. В. Виноградов. Д.: «Вільпо». 2002. 371 с.
100. Шевченко В.Г., Слащов А.І. Інформаційні системи безпеки і продуктивності підземних гірничих робіт. Київ: Наукова думка, 2018. 285 с.
101. Обґрунтування методів і алгоритмів оцінки геомеханічної безпеки ведення гірничих робіт / Булат А.Ф., Слащов І.М., Яланський О.А., Слащов А.І. Геотехнічна механіка. Дніпро: ІГТМ НАНУ, 2017. № 135. С. 3-17.
102. Слащев, А.И. Информационные технологии в системах обеспечения безопасности ведения горных работ / А.И. Слащев // Технополис. 2017. № 2 (242). С. 30.
103. A. Slashchov, O. Yalanskyi, I. Slashchov and I. Siromaschenko. Development of methods and software algorithms for state forecast of the ultimate stressed rock massif. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 970 (2022) 012010.
104. Slashchov I., Bielikov A., Kulbach A. and Slashchova O. Forecasting the risks of the mine roadway destruction by the radiometric control method. *Proceedings V International Conference "Essays of mining science and practice"*, November 9-11, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022.
105. Ідентифікація факторів ризиків втрати стійкості гірничих виробок / Слащов І.М., Слащова О.А., Осінній В.Я., Сапунова І.О., Константинова І.Б. Геотехнічна механіка. Дніпро : ІГТМ НАНУ, 2019. № 149. С. 209-222.
106. Булат А.Ф., Слащова О.А., Слащов І.М., Стаднійчук М.М. Обґрунтування методів контролю геомеханічної безпеки на гірничих підприємствах. Геотехнічна механіка. Дніпро: ІГТМ НАНУ, 2020. № 150. С. 176-187.

107. Ідентифікація ризиків втрати стійкості геотехнічної системи за геомеханічними та гідрогеологічними чинниками / Слащов І., Беліков А., Слащова О., Кульбач А. Український журнал будівництва та архітектури, № 5 (011), 2022. С. 90-99.
108. J.M. Galvin (2016). Ground Engineering - Principles and Practices for Underground Coal Mining. Manly, NSW, Australia.
109. International Standards Office (2018) ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines, provides principles: Electronic documents, ISO, Geneva, Switzerland.
110. Ієрархічна модель формалізації нечіткого логічного виводу для цифрових систем оцінки стійкості гірничих виробок / Слащов А.І. [та ін.] // Геотехнічна механіка. Дніпро: ІГТМ НАНУ, 2019. № 149. С. 122-131.
111. Слащова О.А., Яланський О.А., Слащов А.І. Контроль геомеханічних процесів з використанням інтелектуаль-них алгоритмів на основі методів нечіткої логіки / 3 nd International Sci. and Tech. Conf. “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural ources”, Petroșani, Румунія, 2020. UNIVERSITAS Publishing, 2020. С. 126-127. (на англ.)
112. Slashchova O., Yalanskyu O., Slashchov I., Kurinnyi V. and Kulbach A. Fuzzy logic methods for risk management at mining enterprises. Proceedings V International Conference "Essays of mining science and practice", November 9-11, 2022, IGTM NASU, Dnipro, Ukraine. <https://www.rmget.com/index.php/previous-conferences/conf2022.html>.
113. Slashchova O.A., Kulbach A.A. and Yalanskyi O.A. Eliminating parameter uncertainty by fuzzy logic methods for risk management in a mining system. V-nd International Sci. and Tech. Conf. “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural ources”, November 11, 2022, Petroșani (România). Book of Abstracts. Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2022. Pp. 113-115.

114. Slashchov A. and Yalanskyi O. Substantiation of fuzzy logic algorithms for control problems of a geotechnical systems. *E3S Web of Conferences*. Vol. 109. Pp. 00091 (2019).
115. Novak V., Perfilyeva I. and Mochkrozh I. *Mathematical Principles of Fuzzy Logic*. P. 352 (Fizmatlit, 2006).
116. Sandler U. and Tsitolovsky L. *Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic*. P. 478 (Springer, 2008).
117. Слащов А.І. Розробка фази-контролера для аналізу даних моніторингу стану гірських порід і виробок / Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ, 2015. № 122. С. 264-278.

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА**Наукові праці, які відображають основні результати дисертації**

1. Ляшок Я.О., Сергієнко О.І., Куцерубов В.М., Когтева О.П., Сергієнко Л.В. Вплив вологи на фізико-механічні властивості пісковика (ВП «Шахта «Капітальна»», Донбас). Науковий вісник Національного гірничого університету, 2020, №2, с.11-17. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).
2. Сергієнко О.І., Когтева О.П., Уваров М.О. Чисельне моделювання в'язко-пружних деформацій однорідного масиву навколо одиночної виробки. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 31 (70) № 3, 2020. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).
3. Бачурін Л.Л., Іорданов І.В., Когтева О.П., Подкопаєв Є.С., Єфремов О.І., Король А.В., Григорєць М.О. Експериментальні дослідження деформаційних характеристик охоронних споруд гірничих виробок. Вісті донецького гірничого інституту. №2 (47), 2020, с.7-22. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).
4. Когтева О.П., Уваров М.О. Дослідження процесу тріщиноутворення зразків пісковика при трьох точковому вигині в лабораторних умовах. Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 28 квітня 2021 року. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. 216 с. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).
5. Сергієнко О.І., Когтева О.П., Куцерубов В.М. Лабораторні дослідження руйнуючих напружень при зсуві з стисненням. Науковий вісник ДонНТУ. №1(6)-2(7), 2021. с.123-130. (Особистий внесок – проведено лабораторні дослідження; обробка отриманих даних).

6. Когтева О.П., Сергієнко О.І., Мітіна Н.Б. Методика спостережень при веденні робіт в умовах деформації арочного кріплення для удосконалення безпеки працівників. Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. (Технічні науки). Вип.45. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2022. 120–125с. (Особистий внесок – проведено дослідження; обробка отриманих даних).

7. Пат.№ 148712 Україна, МПК G01N 3/24. Пристрій для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві / Заявл. 09.04.2021; опубл. 08.09.2021, Бюл.№36 -5с.

8. Пат.№ 148200 Україна, МПК G01N 3/00. Пристрій для випробування гірських порід на тріщиностійкість / Заявл. 31.03.2021; опубл. 14.07.2021, Бюл.№28 -5с.





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **148200** (13) **U**
 (51) МПК (2021.01)
G01N 3/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2021 01681</p> <p>(22) Дата подання заявки: 31.03.2021</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 15.07.2021</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 14.07.2021, Бюл.№ 28</p>	<p>(72) Винахідник(и): Сергієнко Олександр Іванович (UA), Сергієнко Ліана Валеріївна (UA), Подкопаєв Сергій Вікторович (UA), Ляшок Ярослав Олександрович (UA), Когтева Ольга Павлівна (UA), Сергієнко Людмила Григорівна (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", пл. Шибанкова, буд. 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85300 (UA)</p>
---	--

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ**(57) Реферат:**

Пристрій для випробування гірських порід на тріщиностійкість, який містить стрижні та кріплення зразка, згідно з корисною моделлю пристрій містить верхню та нижню опорні плити у формі дисків, верхню та нижню проміжні плити одного діаметра з верхньою та нижньою опорними плитами, утримувач зразка, при цьому зразок має прямокутну форму з боковими надрізами, чотири опорних стрижні циліндричної форми, які з'єднують попарно між собою опорні та проміжні плити, і розміщені на однаковій відстані один від одного по діаметру плит, у проміжних плитах виконані отвори, через які проходять опорні стрижні, на верхній і нижній проміжних плитах закріплено болтами утримувач зразка, під кріпильними болтами встановлено металеві прокладки.

UA 148200 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **148712** (13) **U**
 (51) МПК
G01N 3/24 (2006.01)

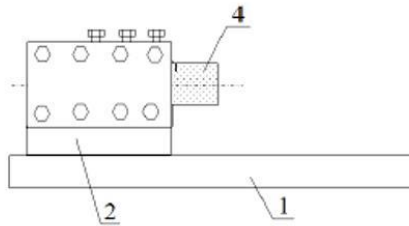
НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2021 01887</p> <p>(22) Дата подання заявки: 09.04.2021</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 09.09.2021</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 08.09.2021, Бюл.№ 36</p>	<p>(72) Винахідник(и): Сергієнко Олександр Іванович (UA), Сергієнко Ліана Валеріївна (UA), Подкопаєв Сергій Вікторович (UA), Ляшок Ярослав Олександрович (UA), Когтева Ольга Павлівна (UA), Сергієнко Людмила Григорівна (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85300 (UA)</p>
---	--

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА В'ЯЗКІСТЬ РУЙНУВАННЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗСУВІ**(57) Реферат:**

Пристрій для випробування гірських порід на в'язкість руйнування при поперечному зсуві містить основу та кріплення зразка. Основа має форму плити, на якій розміщена опорна станина з П-подібним тримачем, де встановлюють зразок з ініційованою крайовою тріщиною, при цьому кріплення зразка містить болти, металеві прокладки та планку.



Фіг. 1

UA 148712 U

ДОДАТОК В

Результати розрахунків напружено-деформованого стану гірських порід навколо підземної виробки при найбільш вірогідному сценарії її деформування

№	St	Напруження в елементах моделі					Деформації елементів	
		σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа	σ_4 , МПа	τ_{xy} , МПа	ϵ_x	ϵ_y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	6.51125	1.87746	1.87747	6.51124	-0.00324474	-3.36836e-005	0.00111549
2	0	6.51512	1.93144	1.93144	6.51512	3.59661e-006	-2.37411e-005	0.00111301
3	0	6.50921	1.88363	1.88363	6.50921	-0.00300395	-3.24011e-005	0.00111474
4	0	6.51665	1.93621	1.93621	6.51664	-0.00617019	-2.29279e-005	0.00111301
5	0	6.51314	1.89595	1.89597	6.51312	-0.00933694	-3.03047e-005	0.00111474
6	0	6.51364	1.94384	1.94385	6.51363	-0.00718986	-2.13134e-005	0.00111199
7	0	6.50698	1.91413	1.91415	6.50696	-0.0090782	-2.65143e-005	0.0011125
8	0	6.51814	1.95786	1.95789	6.51811	-0.0109893	-1.8925e-005	0.00111199
9	0	6.51448	1.93766	1.9377	6.51443	-0.0144727	-2.25134e-005	0.0011125
10	0	6.51222	1.97205	1.97209	6.51217	-0.0144861	-1.59032e-005	0.00111003
11	0	6.50465	1.96537	1.96541	6.50461	-0.0136717	-1.67108e-005	0.001109
12	0	6.51906	1.99353	1.99356	6.51903	-0.0132229	-1.22507e-005	0.00111003
13	0	6.51424	1.99548	1.99554	6.51418	-0.0164573	-1.15919e-005	0.001109
14	0	6.51116	2.01124	2.01132	6.51108	-0.0187713	-8.43975e-006	0.00110749
15	0	6.50335	2.02494	2.02498	6.50331	-0.0140564	-5.4025e-006	0.00110521
16	0	6.51854	2.03461	2.03464	6.51851	-0.0106684	-4.47447e-006	0.00110749
17	0	6.51208	2.0524	2.05244	6.51204	-0.0133994	-7.3598e-007	0.00110521
18	0	6.5113	2.05107	2.05113	6.51124	-0.0162124	-9.38557e-007	0.00110514
19	0	6.50445	2.07278	2.0728	6.50443	-0.00940963	3.54714e-006	0.00110257
20	0	6.51677	2.0685	2.06851	6.51677	-0.00414988	2.01475e-006	0.00110514
21	0	6.50991	2.08993	2.08994	6.5099	-0.00773513	6.46392e-006	0.00110257
22	0	6.51267	2.08038	2.0804	6.51266	-0.00805397	4.50296e-006	0.00110366
23	0	6.50728	2.09771	2.09772	6.50728	-0.00385251	8.07653e-006	0.00110162
24	0	6.51546	2.08935	2.08935	6.51546	0.000279861	6.01906e-006	0.00110366
25	0	6.51024	2.10692	2.10693	6.51023	-0.00536104	9.64587e-006	0.00110162
26	0	6.51487	2.09766	2.09766	6.51487	-0.00142753	7.63281e-006	0.00110304
27	0	6.50827	2.11311	2.11311	6.50827	-0.00508779	1.09189e-005	0.00110089
28	0	6.51686	2.10428	2.10429	6.51686	-0.0047548	8.74424e-006	0.00110304
29	0	6.51327	2.12878	2.1288	6.51325	-0.0106024	1.35845e-005	0.00110089
30	0	6.51409	2.11396	2.11396	6.51409	-0.00595423	1.07532e-005	0.00110192
31	0	6.50524	2.14813	2.14816	6.50521	-0.0112899	1.77028e-005	0.00109824
32	0	6.51864	2.12868	2.12872	6.5186	-0.0134022	1.32385e-005	0.00110192
33	0	6.51311	2.17297	2.17302	6.51306	-0.013565	2.19211e-005	0.00109824
34	0	6.51237	2.14069	2.14072	6.51233	-0.0118111	1.58941e-005	0.0011
35	0	6.50324	2.19672	2.19675	6.50321	-0.0112935	2.69753e-005	0.00109497
36	0	6.51743	2.15713	2.15716	6.51739	-0.0119236	1.8666e-005	0.0011
37	0	6.50921	2.21573	2.21574	6.5092	-0.00770004	3.01979e-005	0.00109497
38	0	6.5126	2.16582	2.16584	6.51258	-0.00892802	2.0601e-005	0.00109857
39	0	6.50489	2.22623	2.22623	6.50489	-0.00305789	3.24282e-005	0.00109354
40	0	6.51477	2.17293	2.17293	6.51477	-0.00155588	2.17981e-005	0.00109857
41	0	6.50485	2.22608	2.22608	6.50484	0.0032069	3.2403e-005	0.00109354
42	0	6.5148	2.17288	2.17288	6.5148	0.00169439	2.17857e-005	0.00109858
43	0	6.50928	2.21534	2.21535	6.50926	0.00783399	3.01203e-005	0.00109501
44	0	6.51259	2.16562	2.16564	6.51257	0.00903357	2.05647e-005	0.00109858
45	0	6.50323	2.19611	2.19614	6.5032	0.0113724	2.68616e-005	0.00109501
46	0	6.51745	2.15685	2.15688	6.51742	0.0119942	1.86128e-005	0.00110003
47	0	6.51314	2.17228	2.17233	6.5131	0.0136068	2.17894e-005	0.00109828
48	0	6.51238	2.14037	2.14041	6.51235	0.0118224	1.58338e-005	0.00110003
49	0	6.50527	2.14743	2.14746	6.50524	0.0112625	1.75687e-005	0.00109828
50	0	6.51865	2.12837	2.12841	6.51861	0.0133342	1.31795e-005	0.00110194
51	0	6.51326	2.1282	2.12823	6.51324	0.0105401	1.34767e-005	0.00110093

3136	0	7.66365	1.80039	1.80039	7.66365	0.00541948	-1.10897e-005	0.000692501
3137	0	7.65081	1.79928	1.79928	7.65081	-0.00082654	-1.08852e-005	0.000691292
3138	0	7.62525	1.79839	1.7984	7.62525	0.00726674	-1.03591e-005	0.000688862
3139	0	7.57499	1.79876	1.79876	7.57498	0.00457544	-9.11194e-006	0.000684021
3140	0	7.62889	1.81293	1.81294	7.62888	0.00726674	-9.0511e-006	0.000688862
3141	0	7.58154	1.8248	1.82481	7.58153	0.00660667	-6.76503e-006	0.000684021
3142	0	7.51285	1.8241	1.82412	7.51283	0.0102454	-5.19236e-006	0.000677453
3143	0	7.4159	1.82145	1.82148	7.41587	0.0132542	-3.09895e-006	0.000668188
3144	0	7.51797	1.84459	1.84461	7.51795	0.0102454	-3.34818e-006	0.000677453
3145	0	7.42711	1.86617	1.86618	7.4271	0.00849771	9.27984e-007	0.000668188
3146	0	7.33197	1.86633	1.86636	7.33193	0.0138609	3.20526e-006	0.000659072
3147	0	7.24077	1.86497	1.86498	7.24076	0.0083678	5.29936e-006	0.000650314
3148	0	7.3389	1.89405	1.89408	7.33886	0.0138609	5.70023e-006	0.000659072
3149	0	7.25304	1.91404	1.91404	7.25304	0.00126529	9.71556e-006	0.000650314
3150	0	7.17493	1.90367	1.90372	7.17489	0.0154474	1.05614e-005	0.000643098
3151	0	7.09866	1.91957	1.91957	7.09866	0.00121555	1.39582e-005	0.000635354
3152	0	7.18266	1.93457	1.93461	7.18261	0.0154473	1.3342e-005	0.000643098
3153	0	7.11116	1.96989	1.9699	7.11115	0.00624418	1.84816e-005	0.000635354
3154	0	7.02386	1.94205	1.94207	7.02384	0.0109502	1.78685e-005	0.000627677
3155	0	6.95635	1.97102	1.97102	6.95635	0.000889292	2.22926e-005	0.000620478
3156	0	7.02934	1.96395	1.96397	7.02932	0.0109502	1.98395e-005	0.000627677
3157	0	6.96483	2.00532	2.00535	6.96479	0.0129212	2.53724e-005	0.000620478
3158	0	6.88212	1.97778	1.97778	6.88212	0.00409859	2.46966e-005	0.000613216
3159	0	6.86793	2.00333	2.00333	6.86793	0.000370727	2.74902e-005	0.00061124
3160	0	6.88417	1.98598	1.98598	6.88417	0.00409859	2.54344e-005	0.000613216
3161	0	6.86809	2.004	2.004	6.86809	-8.09671e-005	2.75507e-005	0.00061124
3162	0	6.88112	1.98627	1.98627	6.88112	-0.00395691	2.55353e-005	0.000612917
3163	0	6.95951	2.00568	2.00572	6.95947	-0.0128339	2.55342e-005	0.000619959
3164	0	6.87915	1.97835	1.97836	6.87914	-0.00395691	2.48231e-005	0.000612917
3165	0	6.95117	1.97195	1.97195	6.95117	-0.000989081	2.25054e-005	0.000619959
3166	0	7.0226	1.96451	1.96453	7.02258	-0.0108668	2.00551e-005	0.000627017
3167	0	7.10386	1.97068	1.97069	7.10385	-0.00650675	1.87322e-005	0.000634635
3168	0	7.01717	1.94278	1.9428	7.01714	-0.0108668	1.80991e-005	0.000627017
3169	0	7.09137	1.92039	1.92039	7.09137	-0.00148302	1.42115e-005	0.000634635
3170	0	7.17513	1.93476	1.93481	7.17509	-0.0155721	1.35416e-005	0.000642371
3171	0	7.24608	1.91462	1.91462	7.24608	-0.00192611	9.93807e-006	0.000649632
3172	0	7.16735	1.90362	1.90367	7.1673	-0.0155721	1.07386e-005	0.000642371
3173	0	7.2335	1.86429	1.8643	7.23349	-0.00838347	5.40905e-006	0.000649632
3174	0	7.33098	1.89332	1.89336	7.33094	-0.0140684	5.82049e-006	0.000658329
3175	0	7.41396	1.86481	1.86482	7.41395	-0.00699948	1.11299e-006	0.000666958
3176	0	7.32394	1.86518	1.86522	7.32391	-0.0140683	3.28819e-006	0.000658329
3177	0	7.40296	1.8209	1.82094	7.40293	-0.0137073	-2.83977e-006	0.000666958
3178	0	7.50531	1.84449	1.84451	7.50529	-0.0107294	-3.05373e-006	0.00067624
3179	0	7.57087	1.82328	1.82329	7.57086	-0.00738435	-6.65402e-006	0.000683033
3180	0	7.49995	1.82303	1.82305	7.49993	-0.0107294	-4.98503e-006	0.00067624
3181	0	7.56381	1.79522	1.79523	7.5638	-0.00547394	-9.18233e-006	0.000683033
3182	0	7.62074	1.81019	1.81019	7.62073	-0.00738434	-9.1189e-006	0.000688146
3183	0	7.64445	1.796	1.796	7.64445	0.000519814	-1.10471e-005	0.00069076
3184	0	7.61705	1.79542	1.79543	7.61704	-0.00738434	-1.04481e-005	0.000688146
3185	0	7.64269	1.78905	1.78905	7.64269	0.00112996	-1.16746e-005	0.00069076
3186	0	7.65858	1.79707	1.79708	7.65857	-0.00533607	-1.12863e-005	0.000692093
3187	0	7.65749	1.78733	1.78733	7.65748	0.00399781	-1.21954e-005	0.000692222
3188	0	7.65591	1.7864	1.7864	7.6559	-0.00533607	-1.22468e-005	0.000692093
3189	0	7.6578	1.78863	1.78863	7.6578	0.00231549	-1.20783e-005	0.000692222
3190	0	7.65482	1.79271	1.79272	7.65482	-0.00398807	-1.16146e-005	0.000691837
3191	0	7.64589	1.78533	1.78533	7.64589	0.00395314	-1.21098e-005	0.000691158
3192	0	7.65282	1.78474	1.78474	7.65282	-0.00398807	-1.23325e-005	0.000691837
3193	0	7.64651	1.78782	1.78782	7.64651	0.00118014	-1.18854e-005	0.000691158
3194	0	7.63953	1.78987	1.78987	7.63953	-0.00256182	-1.15208e-005	0.000690438
3195	0	7.63227	1.78485	1.78485	7.63226	0.00278166	-1.1829e-005	0.000689861
3196	0	7.63825	1.78475	1.78475	7.63825	-0.00256182	-1.19819e-005	0.000690438
3197	0	7.63262	1.78629	1.78629	7.63262	-0.000254783	-1.16993e-005	0.000689861
3198	0	7.62859	1.78728	1.78728	7.62859	-0.000888	-1.15074e-005	0.00068945
3199	0	7.62691	1.78512	1.78512	7.62691	0.00152745	-1.16741e-005	0.000689341
3200	0	7.62814	1.7855	1.7855	7.62814	-0.000888	-1.16673e-005	0.00068945

ДОДАТОК Г

УЗГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи
Придніпровської державної
академії будівництва та
архітектури МОН України
доктор технічних наук, професор



Данішевський В.В.

07 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з наукової
роботи Інституту геотехнічної
механіки НАН України
доктор технічних наук,
член-кореспондент НАН України



Круковський О.П.

07 2023 р.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості
підземних виробок, що призначені для розміщення промислових
та оборонних споруд

доктор технічних наук
професор
Беліков А.С.

інженер
Когтева О.П.

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Слащова О.А.

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Сапегін В.М.

Дніпро – 2023

УДК 622.837 : 622.864

Методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд. Дніпро: ІГТМ НАН України, ПГАСА МОН України, 2023. 17 с.

Методичні рекомендації містять систематизацію некерованих факторів та наслідків, що впливають на ризики втрати стійкості підземних виробок для промислових та оборонних об'єктів, технологію управління ризиками, визначення ризиків і оцінку небезпеки втрати стійкості підземного об'єкта на основі інструментального моніторингу зміщень покрівлі.

Дані рекомендації розроблені в співпраці дослідників ІГТМ НАН України (в рамках виконання наукової роботи «Наукові засади ризик-орієнтованого керування геотехнічними системами при розробці родовищ твердих корисних копалин», розділ: «Розробка методу управління геотехнічною системою «породний масив-гірничі виробки» з врахуванням факторів ризику»), фахівців кафедри безпеки життєдіяльності Придніпровської державної академії будівництва та архітектури МОН України (спільна наукова діяльність щодо безпеки споруд, лекції та семінари за темою) та інженерів виробничого сектору (допомога в проведенні експериментальних робіт). Результати опубліковані в сумісних статтях в фахових наукових виданнях та були схвалені на семінарі «Керування ризиками небезпек в системах управління гігієни та безпеки праці підприємств» та на міжнародних конференціях, що індексуються в базі Scopus.

«Методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд» можуть бути корисними в роботі інженерно-технічних працівників гірничої та будівельної промисловості, наукових співробітників науково-дослідних закладів і навчальних інститутів, фахівців, що створюють безпечні умови при будівництві підземних оборонних і промислових споруджень та на об'єктах гірничої галузі.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Систематизація некерованих факторів та наслідків, що впливають на ризики втрати стійкості підземних виробок.....	5
2. Технологія управління ризиками для забезпечення безпеки підземних об'єктів в виробках	7
3. Визначення ризиків і оцінка небезпеки втрати стійкості підземних виробок.....	9
3.1 Визначення потенційно-небезпечних станів породного масиву на базі прогнозу напружено-деформованого стану гірських порід.....	9
3.2 Визначення ризиків втрати стійкості підземного об'єкта на основі інструментального моніторингу зміщень покрівлі.....	10
3.2.1 Прогноз ризиків втрати стійкості підземного об'єкта, що розташовується у капітальній виробці.....	11
3.2.2 Прогноз ризиків втрати стійкості підземного об'єкта, що розташовується в дільничній підготовчій виробці	13
4. Етапи ризик-орієнтованого контролю геомеханічного стану породного масиву.....	15
Використані джерела	16

ЗАТВЕРДЖУЮ
Тимчасово виконуючий обов'язки
заступника начальника Головного
Управління ДСНС України
у Дніпропетровській області


Сугак А.О.
“10” 08 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
Інституту геотехнічної механіки НАН
України, доктор технічних наук,
член-кореспондент НАН України


Круковский О.П.
“09” 08 2023 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів науково-дослідних,
дослідно-конструкторських та технологічних робіт**

Даним актом підтверджується, що результати роботи з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних споруд, та результатів розділу теми «Розробка методу управління геотехнічною системою «породний масив-гірничі виробки» з врахуванням факторів ризику».

що виконані в співпраці дослідників Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України та фахівців кафедри безпеки життєдіяльності Придніпровської державної академії будівництва та архітектури МОН України.

які виконувались з 2022 по 2023 рр. (виконавці Слацова О.А., Беліков А.С., Сапегін В.М., Когтєва О.П.)

впроваджено в Головному Управлінні ДСНС України у Дніпропетровській області
(найменування підприємства, де здійснюється впровадження)

1. Вигляд впроваджених результатів: методичні рекомендації.

2. Характеристика масштабу застосування: одиничне.
(унікальне, одиничне, партія, масове, серійне)

3. Форма впровадження:

Методика (метод): «Методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд».

4. Новизна результатів науково-дослідних робіт якісно нові.
(піонерські, принципово нові, якісно нові, модифікації, модернізація старих розробок)

5. Впроваджені в процеси аналізу ризиків та безпеки захисних споруд
(дільниця, цех, процес)

6. Ефективність

Методичні рекомендації встановлюють додаткові способи, які дозволяють підвищити якість управлінських рішень з безпеки за рахунок експертної оцінки стану захисних споруд, підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних об'єктів. Прогноз стану підземних об'єктів сприяє зниженню ризиків руйнування кріплення і запобіганню значних фінансових витрат на ліквідацію можливих аварій.
(від впровадження)

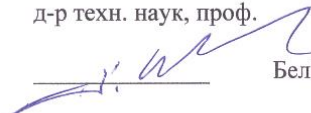
7. Об'єм впровадження: початковий рівень.

8. Соціальний та науково-технічний ефект:

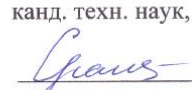
вдосконалення структури ризик-орієнтованого управління, підтримання прийняттого рівня ризику та забезпечення стійкості захисних споруд і виробок для розміщення промислових та оборонних об'єктів

(Охорона навколишнього середовища, надр; покращення та оздоровлення умов роботи, вдосконалення структури управління, науково-технічних напрямків спеціальні призначення тощо)

Від ПДАБА МОН України
д-р техн. наук, проф.


Беліков А.С.

Від ІГТМ НАН України
канд. техн. наук, с.н.с.


Слацова О.А.

ДОВІДКА

про передачу та використання результатів роботи з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд

В співпраці дослідників ІГТМ НАН України (в рамках виконання розділу наукової роботи «Розробка методу управління геотехнічною системою «породний масив-гірничі виробки» з врахуванням факторів ризику») та фахівців кафедри безпеки життєдіяльності ПДАБА МОН України виконано роботи з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних споруд для промислових та оборонних об'єктів. Розроблено «Методичні рекомендації з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд» (виконавці Слацова О.А., Беліков А.С., Сапегін В.М., Когтева О.П.).

У Методичних рекомендаціях систематизовані некеровані фактори та наслідки, що впливають на ризики втрати стійкості виробок для промислових та оборонних об'єктів, визначено метод управління ризиками та оцінки небезпеки втрати стійкості підземного об'єкта на основі інструментального моніторингу.

Практичні результати досліджень у вигляді «Методичних рекомендацій з визначення ризиків і оцінки небезпеки втрати стійкості підземних виробок, що призначені для розміщення промислових та оборонних споруд» використовуються в навчальному процесі кафедри біотехнології та безпеки життєдіяльності з дисципліни «Основи теорії надійності та техногенний ризик» для підвищення якості та навичок щодо експертної оцінки споруд та поглиблених будов.

Український державний
Хіміко-технологічний університет,
Завідувачка кафедри біотехнології та безпеки
життєдіяльності, канд. техн. наук

 (Мітіна Н.Б.)

«19» 07 2023 р.

м.п.

