

Національна академія наук України  
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

СЛАЦОВ АНТОН ІГОРОВИЧ



УДК [622.86: 622.831.31: 658.386] (043.3)

РЕФЕРАТ

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ  
СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ВЕДЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ  
З УРАХУВАННЯМ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ФАКТОРІВ

Спеціальність  
05.26.01 – “Охорона праці”

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова  
Національної академії наук України (ІГТМ НАН України).

Науковий керівник - доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
ШЕВЧЕНКО Володимир Георгійович,  
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова  
Національної академії наук України,  
вчений секретар інституту  
(м. Дніпро).

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор  
ГОЛІНЬКО Василь Іванович,  
Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри аерології та охорони праці  
(м. Дніпро);

- доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
НАЗАРЕНКО Михайло Володимирович,  
ДУ «Національний науково-дослідний інститут  
Промислової безпеки та охорони праці»  
Держпраці і НАН України,  
завідувач відділу науково-технічного забезпечення та  
економічних проблем охорони праці та  
промислової безпеки  
(м. Київ).

Захист відбудеться “ 07 ” жовтня 2016 р. о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізо-  
ваної вченої ради Д 08.188.01 при ІГТМ НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро,  
вул. Сімферопольська, 2а, факс (0562) 46-24-26.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ІГТМ НАН України за адре-  
сою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

Автореферат розісланий “ 06 ” вересня 2016 г.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор



М.С. ЧЕТВЕРИК

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В теперішній час у світовому балансі енергоресурсів збільшується доля видобутку і споживання вугілля. На вугільних шахтах України теж підвищується швидкість руху очисних вибоїв, відбувається перехід на анкерне кріплення, впроваджуються безціликові технології підтримання виробок з повторним використанням, і все це реалізується в особливо небезпечних умовах експлуатації. Висока небезпека вугільних шахт, і не тільки вугільних, пов'язана з об'єктивними геомеханічними факторами, оскільки видобуток здійснюється на великих глибинах в слабких і водонасичених породах. В таких умовах виникають некеровані деформації породного масиву, які реалізуються у вигляді раптового обвалення порід, руйнування кріплення і завалу виробок, при цьому травматизм досягає половини від загального числа постраждалих. Крім цього, аналіз аварій показав, що все рідше їх причиною є відмова обладнання, на перше місце виходить людський фактор. Тому одним з ефективних шляхів зниження аварійності і травматизму є прогнозування розвитку геомеханічних процесів та посилення контролю за дотриманням правил безпеки персоналом із застосуванням сучасних інформаційних систем.

Зусиллями ряду наукових установ розроблені і впроваджуються у виробництво нові методи, способи отримання і обробки інформації про стан породного масиву, кріплення, обладнання, вентиляції та технологічних процесів. Однак на сьогоднішній день не визначені критерії оцінки ризиків небезпечних проявів гірського тиску, відсутні вказівки з функціонування та комплектації систем безпеки, які враховують стан породного масиву. Незважаючи на наявність великого обсягу одержуваних даних, методи і засоби їх аналізу недостатньо розвинені, що часто не дозволяє прийняти вірні рішення з безпеки робіт. Тому встановлення закономірностей і критеріїв оцінки безпеки розвитку геомеханічних процесів в системі «кріплення-масив», а також обґрунтування параметрів інформаційної системи забезпечення оперативного прийняття керуючих рішень для безпечного ведення підземних гірничих робіт з використанням сучасних технологій: мережного зв'язку, візуального контролю і електронного документування даних, є **актуальним науковим завданням**, яке має важливе значення для охорони праці на гірничодобувних підприємствах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота відповідає тематичним планам державних науково-дослідних робіт ІГТМ НАН України: «Встановлення закономірностей руйнування обводненого газонасиченого масиву та обґрунтування методів комплексного контролю його стану для ефективного і безпечного підтримання гірничих виробок і управління аеродинамічними процесами провітрювання в системі «гірничі виробки - вироблений простір»», ДР № 0111U005135 (2013-2014 рр.); «Розробити вхідні дані на проектування енергокомплексу утилізації шламів і некондиційного вугілля», ДР № 0107U002003 (2010 р.); «Розвиток теорії і методів управління станом геотехнологічних систем для забезпечення інтенсифікації роботи гірничодобувних підприємств», ДР № 0115U002534 (2015-2016 рр.); «Розвиток наукових основ безпечного ведення гірничих робіт в замкнутому циклі видобутку, переробки і заощадження відходів переробки уранових руд» ДР № 0112U000095 (2014-2016 рр.), у яких автор був виконавцем.

**Ідея роботи** полягає у використанні встановлених закономірностей і критеріїв оцінки небезпеки розвитку геомеханічних процесів для обґрунтування параметрів інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт.

**Мета дослідження:** обґрунтувати параметри і розробити інформаційну систему безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням комплексної оцінки і оперативного прогнозування сценаріїв розвитку геомеханічних процесів для зниження аварійності і травматизму на гірничих підприємствах.

Для досягнення мети поставлені та вирішені наступні **задачі дослідження:**

- виконати аналіз причин аварійності та застосування інформаційних систем безпеки на шахтах, які ведуть видобуток в складних гірничо-геологічних умовах;
- встановити закономірності сценаріїв розвитку зон руйнування в гірських породах для умов змін структури їх залягання, глибини розробки і способів підтримання виробок на базі математичного моделювання системи «кріплення-масив»;
- обґрунтувати вхідні параметри інформаційної системи та критерії оцінки небезпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічних факторів;
- розробити методи та програмні моделі функціонування інформаційних підсистем аналізу геомеханічного стану масиву порід, управління персоналом і підтримки прийняття керуючих рішень з використанням сучасних технологій: мережного зв'язку, візуального контролю і електронного документування даних.

**Об'єкт дослідження** – процеси формування аварійних і травмонебезпечних ситуацій, що викликані проявами гірського тиску і людським фактором при веденні підземних гірничих робіт в складних гірничо-геологічних умовах.

**Предмет дослідження** – показники оцінки ризиків виникнення небезпечних станів в геотехнічній системі «кріплення-масив» і параметри інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічних факторів.

**Методи дослідження.** У роботі використано комплексний підхід, який включає: аналіз і узагальнення науково-технічної інформації щодо забезпечення безпеки шахт; математичне моделювання сценаріїв розвитку геомеханічних процесів в складних гірничо-геологічних умовах з використанням законів фізики гірських порід і механіки твердого деформованого тіла; статистичну обробку даних; методологію організації обчислювальних процесів для розробки програмної архітектури інформаційної системи; методи побудови програмних моделей інформаційних систем для елементів розрахунку, аналізу та інтерактивної візуалізації параметрів обчислювального комплексу; техніко-економічний аналіз технічних рішень.

**Наукові положення,** що виносяться на захист:

1. Критерієм геомеханічної безпеки системи «кріплення-масив» є об'єм зруйнованих порід навколо виробки, визначений з урахуванням природного розкиду даних міцностей на стиск і розтягування, модулів пружності і зсуву, кутів внутрішнього тертя всіх шарів гірських порід на основі вибору мінімальних значень їх міцності за коефіцієнтами варіації, при цьому показник безпеки для виробки обернено пропорційний її геометричним розмірам, зміщенню контуру і вазі зруйнованих порід в покрівлі, а прямо пропорційний податливості і несучій здатності засобів кріплення.

2. Оцінка параметрів геомеханічного моніторингу в інформаційній системі безпеки здійснюється сумуванням ризиків втрати стійкості породного масиву і гірничих

виробок, а також вибором максимального значення з ризиків втрати стійкості покрівлі, боків і підшви виробки, раптового обвалення покрівлі та підняття підшви, потенційного ризику виникнення аварійної ситуації від об'єму зон непружних деформацій і зміщень контуру виробки, при цьому зі збільшенням глибини розробки з 500 м до 1500 м об'єми зруйнованих порід в покрівлі виробки, як інформативний параметр оцінки і прогнозування вивалів порід, прямо пропорційно зростають з  $1,6 \text{ м}^3$  до  $8,6 \text{ м}^3$  без додаткового кріплення і з  $0,2 \text{ м}^3$  до  $5,2 \text{ м}^3$  при анкеруванні покрівлі.

3. Безпека гірничих робіт за геомеханічними факторами забезпечується інформаційною клієнт-серверною системою на базі технології: мережного зв'язку; інтелектуального аналізу даних моніторингу виробок за величиною і швидкістю відхилення контрольованих параметрів; візуального контролю і електронного документування даних; прогнозування станів системи «кріплення-масив» з урахуванням обернено пропорційної залежності рейтингу інформаційних ресурсів з низькою затребуваністю від параметра нестабільності груп класів програмного проекту.

#### **Наукова новизна** одержаних результатів:

- вперше для критеріальної оцінки небезпечних станів системи «кріплення-масив» запропоновані співвідношення зміщення покрівлі гірничої виробки до податливості кріплення і об'єму зруйнованих порід в зонах непружних деформацій до його несучої здатності, які враховують геометричний розмір виробки, число шарів порід у покрівлі, кількість зруйнованих елементів моделі, а також зміну деформацій середовища при різних способах кріплення, збільшенні гірського тиску та зміні гірничо-геологічних умов;

- подальший розвиток отримав метод імовірнісної оцінки очікуваного ризику від зміни геомеханічних факторів, що відрізняється формуванням для кожної групи контрольованих параметрів двох інтегральних індексів безпеки, один з яких визначається за параметром моніторингу об'єкта управління, що знаходиться в найбільш неприйнятному стані, а другий – за сумарним значенням всіх ризиків втрати стійкості геотехнічної системи, які дозволяють дати оцінку ситуації, що склалася з безпеки системи «кріплення-масив», і прийняти своєчасне рішення виниклої проблеми;

- вперше для забезпечення роботи інформаційної системи безпеки в режимі реального часу запропоновано рейтингувати інформаційні ресурси за частотою їх використання з урахуванням обернено пропорційної залежності рейтингу ресурсів з низькою затребуваністю від параметра нестабільності груп класів програмного проекту, а для підвищення її надійності застосувати модульність з поділом задач на логічні підзадачі, розподіленість і масштабованість даних;

- вперше для попередження аварійних ситуацій в геотехнічній системі «кріплення-масив» запропоновано і апробовано фаззі-контролер, який забезпечує на базі методів інтелектуального управління аналіз даних моніторингу масиву порід і стійкості підземних виробок за величиною і швидкістю відхилення контрольованих параметрів, що дозволяє згенерувати і передати сигнали небезпеки, а також розробити вказівки на виконання технічних заходів з підтримання гірничих виробок.

#### **Практичне значення** одержаних результатів:

- розроблена архітектура та реалізована нова клієнт-серверна інформаційна система безпеки ведення підземних гірничих робіт, яка забезпечує контроль за виконан-

ням поточних завдань з їх фіксацією на електронному носії та оперативне реагування при виникненні, розвитку і ліквідації аварійних ситуацій, які викликані, перш за все, геомеханічними факторами; розроблено методи підтримки своєчасного прийняття управлінських рішень з безпеки з використанням технологій: мережного зв'язку, візуального контролю і електронного документування даних;

- розроблено локальні ситуаційні геомеханічні моделі і визначені об'єми зон руйнування тріщинуватих порід, які дозволяють виконати оцінку ризиків обвалень порід і попередити виникнення аварій;

- розроблено нові способи підтримання гірничих виробок, що забезпечують підвищення безпеки ведення підземних гірничих робіт;

- розроблено методичні рекомендації щодо використання інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічного стану породного масиву.

*Результати досліджень автора використані:* при вирішенні задач підвищення ефективності вуглевидобутку і безпеки праці в умовах великих глибин розробки шляхом обґрунтування параметрів систем підтримання гірничих виробок (Довідка від 27.05.2013 р.); при розробці та апробації «Методичних рекомендацій ...», щодо використання довідково-інформаційної підсистеми, адаптованої до технології переробки вуглевідходів (Довідка від 12.02.2014 р.). «Методичні рекомендації по використанню інформаційної системи забезпечення безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічного стану породного масиву» були використані при апробації та адаптації до виробництва інформаційної системи безпеки на ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» (акт впровадження від 25.04.2016 р.) та в Науково-дослідному інституті безпеки праці та екології в гірничорудній та металургійній промисловості ДВНЗ «Криворізький національний університет» МОН України (акт передачі від 11.05.2016 р.). Очікуваний річний економічний ефект від впровадження інформаційної системи становить 1584 тис. грн. на одне підприємство (розрахунок економічної ефективності від 25.04.2016 р.).

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується: коректною постановкою задач досліджень; застосуванням апробованих методів механіки гірських порід, нечіткої логіки, прийняття рішень і побудови інформаційних систем; статистично значущим обсягом обробки даних властивостей порід; узгодженістю результатів математичного моделювання геомеханічних процесів з натурними даними; значним обсягом проведених обчислювальних експериментів по виявленню особливостей інформаційної системи; позитивними результатами апробації інформаційної системи і впровадження методичних рекомендацій.

**Особистий внесок здобувача** полягає в: формулюванні мети і основних задач досліджень; обробці даних і аналізі результатів; розробці геомеханічних моделей, їх чисельному дослідженні і видачі рекомендацій; обґрунтуванні методик, принципів побудови та реалізації інформаційної системи безпеки; розробці методів управління ризиками; обґрунтуванні параметрів і критеріїв оцінки геомеханічної небезпеки; розробці способів управління системою «кріплення-масив» і рекомендацій щодо безпечної експлуатації гірничих виробок. Ідея роботи, наукові положення, висновки і рекомендації, текст дисертації і автореферат викладені автором особисто.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертації доповідались і схвалені на конференціях: «Політ. Сучасні проблеми науки» (Київ, 2010); «Екологія та енергетика – проблеми та шляхи їх вирішення» (Тула, 2011); «Інформаційні технології та математичне моделювання» (Сурсько-Адженськ, 2011); «Геотехнічні і геомеханічні проблеми розробки родовищ» (Дніпропетровськ, 2012, 2014).

**Публікації.** Основні результати досліджень опубліковані в 21 науковій роботі: 1 монографії, 10 статтях в фахових виданнях (з них одна індексується в Scopus), 3 збірниках конференцій, 7 патентах; з них 6 робіт опубліковані без співавторів.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел із 160 найменувань і 4 додатків; містить 160 сторінок тексту, 80 рисунків, 29 таблиць; загальний обсяг – 270 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі виконано аналіз стану питання безпеки праці на шахтах, сформульовані мета і завдання досліджень. За прогнозами компанії British Petroleum попит на вугілля в світовому масштабі до 2030 року збільшиться на 39 %, що вимагає підвищення ефективності його видобутку. На шахтах України постійне збільшення глибини розробки, гірського тиску, температури, вологості повітря, газоносності і ряду інших негативних факторів призвели до формування особливо небезпечного підземного середовища, для роботи в якому необхідні нові підходи в галузі охорони праці.

В розвинених вугледобувних країнах добре себе показали системи моніторингу параметрів середовища, безпеки і управління технологічними процесами, зокрема: Польщі (система «EMAG»), Іспанії («RELI-2000»), Німеччині («SIWA-2000»), США, ПАР, Австралії, Японії і Китаї («CONSPEC») та ін. На шахтах Великобританії застосування таких систем моніторингу (розробка «Continental Conveyor Ltd») дозволило не допустити великих вибухів і пожеж протягом десятків років.

В Україні також розроблені системи, які контролюють аерогазовий режим шахт та параметри технологічних процесів: телекомунікаційна система диспетчерського та автоматизованого керування гірничими машинами і комплексами «УТАС»; автоматизована система протиаварійного захисту шахт «АСПАЗШ» (з 2002 р.), в якій розроблені прототипи апаратури протипожежного контролю, системи контролю подачі повітря і температурних режимів; система «АПСС-1» і «ЗУА-98» прогнозу викиднебезпечності пластів; комплекс аерогазового контролю «КАГІ»; система класифікації станів систем шахти «АЛЕРТ» і інші.

Однією з найбільш відповідальних функцій у системах безпеки є контроль стану породного масиву, де в якості об'єкта управління розглядається геотехнічна система «кріплення-масив». Разом з тим, на сьогоднішній день не визначені архітектура таких систем, а також необхідні для її роботи показники оцінки стану гірських порід і виробок. Інформаційна система безпеки, що враховує геомеханічні фактори ризику, повинна об'єднувати математичні моделі об'єкта управління і особистий досвід експертів, алгоритми накопичення і аналізу знань, інтелектуальні методи обробки даних і сучасні методи керування персоналом.

У другому розділі на базі методів математичного моделювання виконано оцінку сценаріїв розвитку геомеханічних процесів навколо гірничих виробок.

Завдання зниження аварійності і травматизму на гірничодобувних підприємствах вирішувалося шляхом розробки інформаційної системи безпеки (ІСБ), одною з базових функцій якої є можливість оперативного прогнозування і оцінки сценаріїв розвитку геомеханічних процесів. Як об'єкт управління розглянута геотехнічна система «кріплення-масив». Для оцінки її стану в ІСБ застосовані математичні моделі породного масиву, що базуються на поєднанні методів механіки суцільного середовища (рішення реалізовані методом скінченних елементів) з теорією граничних і позаграничних станів гірських порід (використано метод початкових напружень). Враховано дані щодо структурних і геологічних характеристик масиву, а також фізико-механічних властивостей порід.

Умови сумісності деформацій для суцільного середовища:

$$\varepsilon_x = \frac{du_x}{dx}, \quad \varepsilon_y = \frac{du_y}{dy}, \quad \gamma_{xy} = \frac{du_x}{dy} + \frac{du_y}{dx}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  – повні відносні деформації за координатними осями  $x$ ,  $y$ ;  $u_x$ ,  $u_y$  – осьові переміщення;  $\gamma_{xy}$  – деформації зсуву.

Зв'язок між напруженнями і деформаціями в пружному середовищі в разі ізотропного лінійно деформованого тіла, представляється у вигляді:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{du_x}{dx} + \mu \frac{du_y}{dy} \right); \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{du_y}{dy} + \mu \frac{du_x}{dx} \right), \quad (2)$$

де  $E$  – модуль пружності, Па;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Умова сумісності деформацій і напружень має вигляд:

$$\frac{d^2(\sigma_x - \mu\sigma_y)}{dx^2} + \frac{d^2(\sigma_y - \mu\sigma_x)}{dy^2} + 2\mu \frac{d^2\tau_{xy}}{dxdy}, \quad (3)$$

де  $\tau_{xy}$  – дотична компонента тензора напружень;

Фактичні максимальні і мінімальні головні напруження при знеміцненні порід визначені з виразів:

$$\sigma_1^f = \sigma_1^{\lim} - \left( \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_1^{\lim}}{k-1} \right) \left[ \sigma_1^{\lim} - \sigma_1^{\text{res}} \right]; \quad \sigma_3^f = \frac{E_i \left[ \varepsilon_1 + \varepsilon_1 \text{ctg} \xi + 2C \text{ctg} \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \left[ \mu - 1 \right]}{\mu - \mu + \text{ctg} \xi}, \quad (4)$$

де  $\sigma_1^{\lim}$ ,  $\sigma_1^{\text{res}}$ ,  $\varepsilon_1^{\lim}$ ,  $\varepsilon_3^{\text{res}}$  – граничні і залишкові максимальні головні напруження (Па) і деформації;  $k$  – коефіцієнт, що характеризує крихкість породи;  $C$  – зчеплення, Па;  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя, град.;  $\text{ctg} \xi$  – параметр, що визначає закон пластичної течії.

Задача визначення вхідних даних для розрахунків вирішена шляхом аналізу проведених ІГТМ НАНУ лабораторних випробувань гірських порід. Отримані залежності зміни їх міцності під впливом навантаження і вологонасичення. Установлено, що водонасичення порід призводить до зниження меж міцності у 1,5 рази (для пісковиків і вапняків) та у 2,5-2,6 (для алевролітів і аргілітів), та до підвищення коефіцієнтів варіації міцності на 40-60%, рис. 1. Це дозволило формалізувати граничні умови для обчислювальних експериментів на рівні критичних (мінімально можливих) та усереднених параметрів з урахуванням міцності обводнених гірських порід.



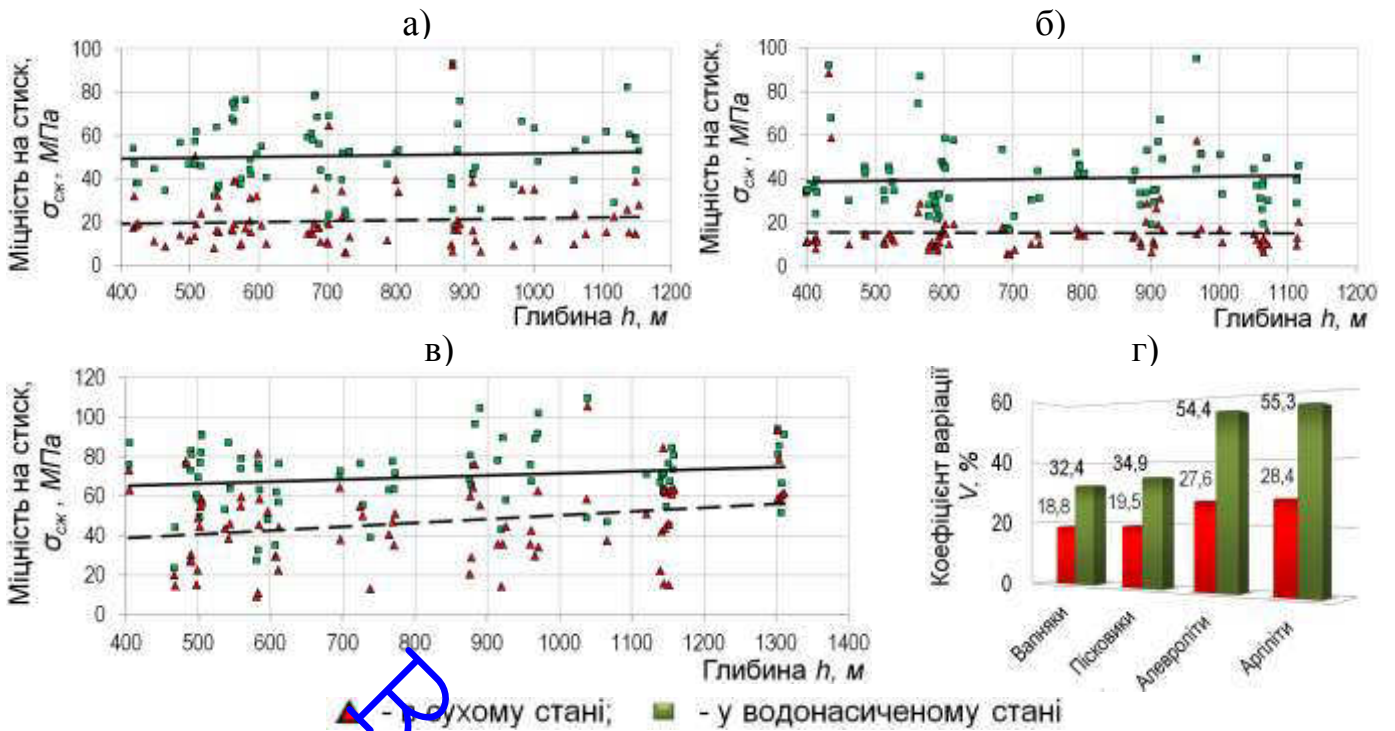


Рисунок 1 – Залежності міцності на стиск алевролітів (а), аргілітів (б), пісковиків (в) і коефіцієнтів їх варіації (г) від вологонасичення

Для ІСБ розроблена підсистема, що забезпечує розрахунки і аналіз результатів вирішення складних задач геомеханічної стійкості, рис. 2. Підсистема відрізняється: інтерактивним управлінням розрахунковими схемами; можливістю застосування 16 типів автоматизованого розбиття досліджуваної області на скінченні елементи; диференційованою панеллю, що дозволяє дискретно або плавно управляти рівнями значень параметрів; редактором фізико-механічних властивостей порід; функціями розрахунку базових і інтегральних параметрів середовища, а також порівняння станів об'єкта управління. Можливість програми працювати в інформаційній системі безпеки в «режимі реального часу» досягнута підвищенням її продуктивності шляхом оптимізації взаємозв'язків між групами програмних класів. При цьому подальший розвиток отримав метод оцінки обчислювальної ефективності ІСБ, що відрізняється мінімізацією сум відхилень метрик нестабільності і абстрактності Мартіна від головної послідовності (характеризує збалансованість ІСБ):

$$D - \left| A + I - 1 \right| / \sqrt{2} \rightarrow \min, \text{ в.о.}, \quad (5)$$

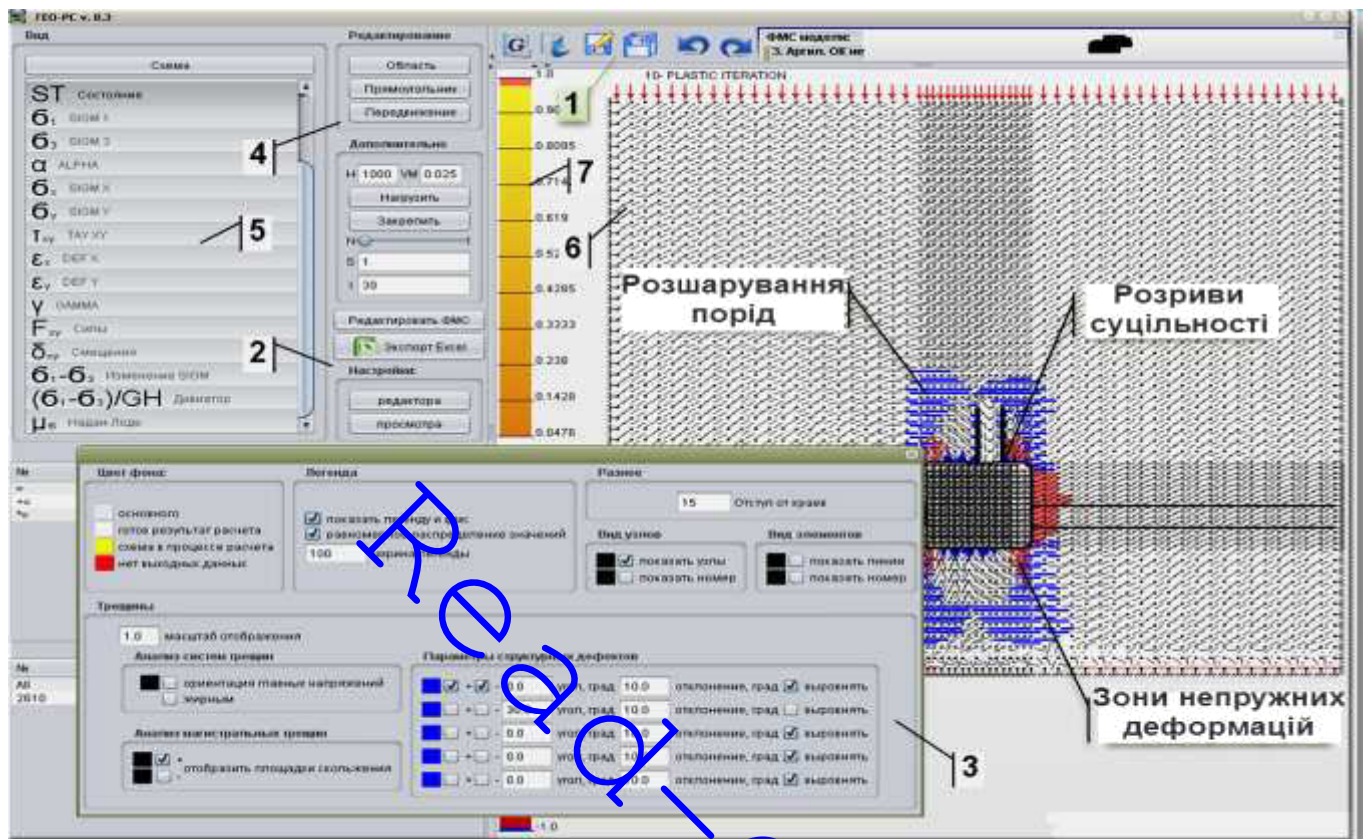
де  $D$  – відстань до головної послідовності, в.о.;  $A = nA/nAll$  – абстрактність, в.о.;  $nA$  – число абстрактних класів, шт.;  $nAll$  – загальне число класів, шт.;  $I = C_d / (C_a + C_e)$  – нестабільність груп класів ІСБ, в.о.;  $C_e$  і  $C_a$  – доцентрове і відцентрове зчеплення, що визначають число класів поза категорії залежно від класів всередині категорії, і навпаки:

$$C_e = r_i \sum_{i=1}^n r_i, \text{ шт.}, \quad (6)$$

де  $r_i$  – кількість посилань на клас (це поле, змінна, тип або параметр методу;  $r_i$  – кількість посилань, що бере участь у підрахунку метрики;  $n$  – кількість класів.

Застосування методу дозволило знизити відхилення параметрів абстрактності і нестабільності від головної послідовності до 30%, тим самим була підвищена опера-

тивність прогнозування стану порід навколо виробок і ефективність прийняття рішень щодо безпеки ведення гірничих робіт. Даний елемент ІСБ був апробований при оцінці стійкості породного масиву і елементів підземних споруд.



1 – меню; 2 – панель швидкого доступу для управління файлами і редактором фізико-механічних властивостей; 3 – панель управління результатами розрахунків, 4, 5 – основна і дублююча панелі коригування розрахункових схем; 6 – панель управління інтегральними параметрами НДС моделі; 7-диференційована колірна панель

Рисунок 2 – Інтегрований інтерфейс підсистеми розрахунку та аналізу геомеханічних параметрів стану масиву гірських порід

В системі безпеки запропоновано застосовувати локальні ситуаційні геомеханічні моделі, які включають відповідні паспорту кріплення параметри одного з серії можливих способів підтримання гірничої виробки і розрахункову найбільш ймовірну поведінку породного масиву при збільшенні навантажень на об'єкт управління. Такий підхід дає можливість, у разі зафіксованого методами об'єктивного контролю підвищення конвергенції контуру гірничих виробок і руйнування гірських порід, оперативно обґрунтувати необхідні організаційні та технічні заходи, забезпечити умови для своєчасного попередження персоналу про небезпеку аварійної ситуації.

Для обґрунтування використаних в ІСБ критеріїв оцінки небезпеки ведення гірничих робіт з урахуванням геомеханічних факторів визначені типові сценарії поширення зон непружних деформацій і змін напружень в породному масиві, рис. 3. Методом математичного моделювання розраховані ситуаційні геомеханічні моделі, які передбачають застосування різних засобів кріплення, збільшення навантаження на систему «кріплення-масив», зміну умов залягання і обводнення порід.

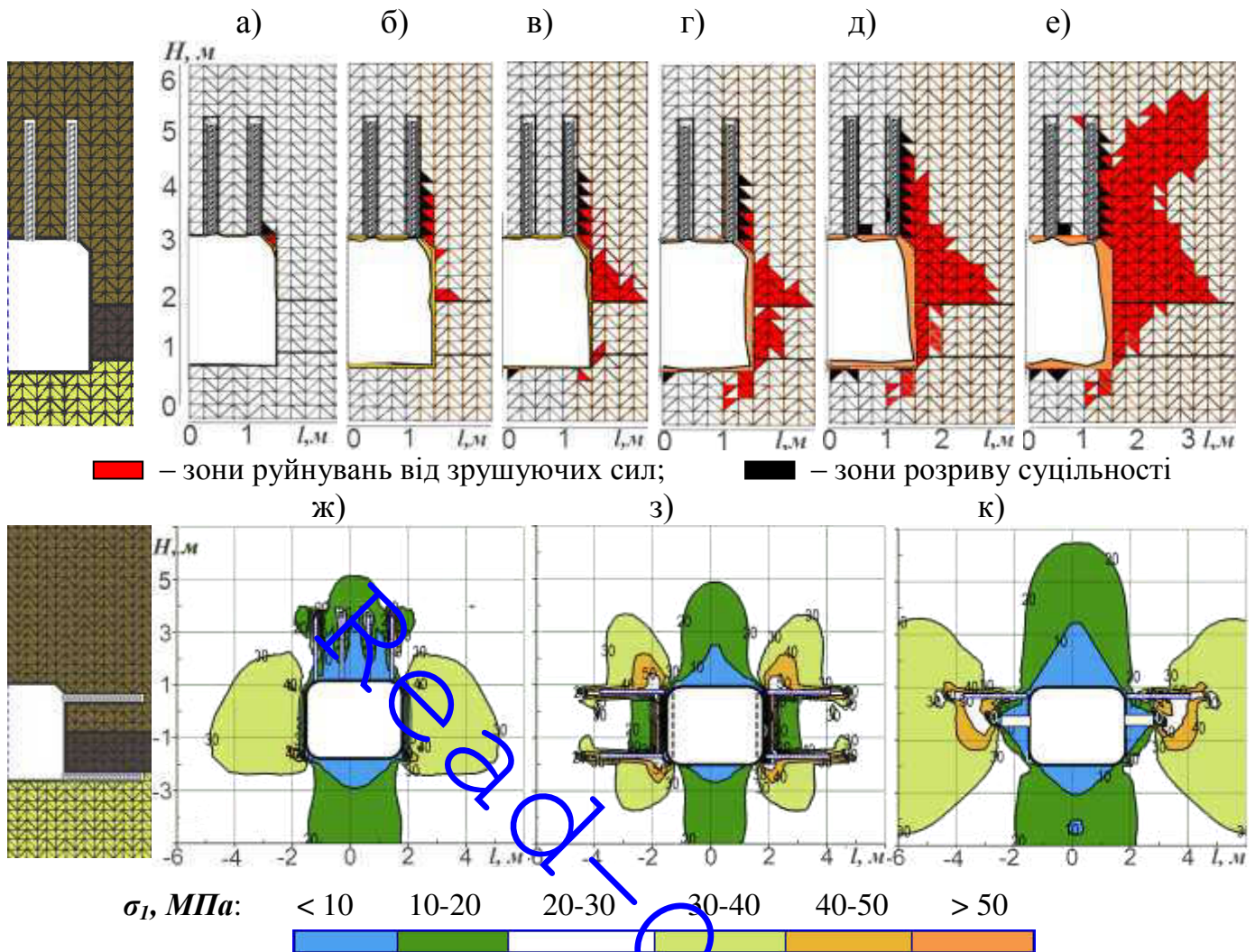


Рисунок 3 – Сценарії розвитку зон непружних деформацій в масиві навколо виробки з кріпленням покрівлі анкерами при збільшенні глибини (а – 250 м; б – 500 м; в – 750 м; г – 1000 м; д – 1250 м; е – 1500 м) і зміни максимальних головних напружень при різних способах кріплення (ж-к)

У третьому розділі розроблені методи і обґрунтовані параметри функціонування елементів інформаційної системи з безпеки ведення підземних гірничих робіт.

Подальший розвиток отримала методологія побудови інформаційної системи безпеки, що відрізняється використанням методів оперативного прогнозування і оцінки сценаріїв розвитку геомеханічних процесів. Архітектура ІСБ включає три підсистеми. Перша – це базова клієнт-серверна підсистема, яка забезпечує за допомогою мережових технологій і технічних засобів мобільного зв'язку функції взаємодії та управління персоналом на підприємстві. Друга підсистема – довідково-інформаційна, що забезпечує підтримку прийняття рішень шляхом збору і накопичення даних, представлення відомостей за запитом, а також автоматизації аналізу необхідної нормативно-технічної документації. Третя підсистема служить для оцінки рівня безпеки гірничих робіт за геомеханічними факторами із застосуванням математичних моделей. Це система підтримки прийняття рішень з елементами експертних знань, яка накопичує і аналізує знання (наприклад, типові гірничо-геологічні умови або стандартні сценарії поведінки породного масиву) і має алгоритми оцінки стану системи «кріплення-масив» на основі критеріїв небезпеки та математичного апарату нечіткої логіки.

Організація управління персоналом передбачає передачу і фіксацію на електронних носіях текстового опису завдань з термінами їх виконання, пояснюючих зображень, додаткових вимог та інструкцій, а також оперативної інформації з контролю над виконанням поточних завдань, рис. 4. Підсистема управління персоналом має функції попередження для оперативного реагування при виникненні і розвитку подій, викликаних, перш за все, геомеханічними факторами, рис. 5. Це допомагає приймати відповідні рішення в більш стислі терміни. Безпека праці підвищується за рахунок покращення взаємодії і дисциплінарної відповідальності персоналу.



Рисунок 4 – Постановка виробничого завдання

Рисунок 5 – Оперативне реагування системи управління персоналом на зміну виробничої ситуації

Для підвищення продуктивності роботи ІСБ вперше запропоновано проводити рейтинг ресурсів по частоті їх використання з урахуванням параметра нестабільності груп класів програми. Рейтинг ресурсу, який додається при його одноразовому використанні, дорівнює:

$$fRatingAdd = k_v \left( 2 - \frac{v - v_{min}}{v_{max} - v_{min}} \right) + k_V \left( 2 - \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right) + k_I \left( 2 - \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right), \quad (7)$$

де  $v$ ,  $v_{min}$ ,  $v_{max}$  – поточна, мінімальна і максимальна швидкості завантаження ресурсів;  $V$ ,  $V_{min}$ ,  $V_{max}$  – поточний, мінімальний і максимальний розміри ресурсів;  $I$ ,  $I_{min}$ ,  $I_{max}$  – поточна, мінімальна і максимальна нестабільність категорії класів, що мають відношення до ресурсів;  $k_v$ ,  $k_V$ ,  $k_I$  – вагові коефіцієнти від нуля до одиниці, які характеризують відносні пріоритети і вплив щодо інших рейтингів: швидкості завантаження ресурсу, розмірів ресурсів і нестабільності категорії класів, відповідно.

Критерії переходу геотехнічної системи «кріплення-масив» з «безпечного» стану в «небезпечний» запропоновано визначати за зміщенням контуру виробок і об'ємам пружних елементів моделі, яка враховує природний розкид даних міцності на стиск і розтягування, модулі пружності і зсуву, кут внутрішнього тертя всіх шарів гірських порід на основі вибору середніх та мінімальних значень їх міцності за коефіцієнтами варіації. Це дає можливість попередити найбільш ймовірний та найгірший варіанти розвитку деформацій в системі «кріплення-масив». При цьому небезпечний стан виробки визначається за співвідношеннями зміщень її покрівлі до податливості

кріплення та об'ємів зруйнованих порід в зонах непружних деформацій до його несучої здатності:

$$u^{xy} = u_{KR}, \quad q_k = Qn_k = p_k, \quad (8)$$

де  $u^{xy}$  – зміщення покрівлі виробки, м;  $u_{KR}$  – гранична податливість засобів кріплення, м;  $q_k$  – навантаження від ваги порід, т/м<sup>2</sup>;  $p_k$  – несуча здатність кріплення, т/м<sup>2</sup>;  $Q$  – навантаження на метр довжини виробки, т/м<sup>2</sup>;  $n_k$  – крок установки кріплення.

Вертикальне навантаження приведене до величини поширення зони руйнування по довжині виробки від ваги всіх породних шарів, які при відсутності засобів кріплення обвалюються у виробку, запропоновано визначати за формулою:

$$Q = \frac{1}{BL} \sum_1^n \left( \gamma_s \sum_1^{ns} L_e S_e^{def} \right), \text{ т/м}^2, \quad (9)$$

де  $B$  – ширина виробки, м;  $L$  – довжина виробки, м;  $n$  – число шарів порід у покрівлі, які мають хоча б один зруйнований елемент;  $\gamma_s$  – об'ємна вага  $n$ -го породного шару, т/м<sup>3</sup>;  $ns$  – число зруйнованих елементів в одному породному шарі;  $L_e$  – ширина скінченного елемента (для плоскої геомеханічної моделі  $L_e=1$ );  $S_e^{def}$  – площа одиничного деформованого скінченного елемента зони зруйнованих порід, м<sup>2</sup>.

Для оцінки небезпеки від руйнування порід навколо виробок визначені інформативні параметри, що отримані на основі розрахунків об'ємів порушених тріщинами та повністю зруйнованих порід в зонах непружних деформацій при різних способах кріплення, збільшенні гірського тиску і зміні гірничо-геологічних умов, рис. 6. Зокрема, об'єми зруйнованих порід покрівлі виробки, рис. 6 а, формують навантаження на кріплення, які визначаються як добуток значення даного параметра на об'ємну вагу гірських порід.

При оцінці параметрів геомеханічного моніторингу системи «кріплення-масив» запропоновано об'єднати фактори очікуваних технічних ризиків втрати її стійкості шляхом інтеграції імовірнісних оцінок інформативних параметрів стану породного масиву і гірничих виробок. Для кожної групи параметрів, що складаються з  $m$  індикаторів (уніфікованих або нормалізованих в діапазоні 0...1) сформовані два інтегральних індекси безпеки.

Перший показник  $R_{\max}$  відображає рівень максимального технічного ризику і визначається за величиною або швидкістю зміни параметру моніторинга, якій характеризує найбільш неприйнятний стан об'єкта управління шляхом вибору максимального значення з розрахованих функцій розподілу значень ризику:

$$R_{\max} = \begin{cases} R(E_r) - kr_1 R(E_r^1) + kr_2 R(E_r^2) + \dots + kr_{m_1} R(E_r^{m_1}) \\ R(E_s) - ks_1 R(E_s^1) + ks_2 R(E_s^2) + \dots + ks_{m_2} R(E_s^{m_2}) \\ R(E_g) - kg_1 R(E_g^1) + kg_2 R(E_g^2) + \dots + kg_{m_3} R(E_g^{m_3}) \\ R(K_r) - kr_1 R(K_r^1) + kr_2 R(K_r^2) + \dots + kr_{m_4} R(K_r^{m_4}) \\ R(K_g) - kg_1 R(K_g^1) + kg_2 R(K_g^2) + \dots + kg_{m_5} R(K_g^{m_5}) \end{cases}, \quad (10)$$

де  $m_1, m_2, m_3$  – кількість факторів ризику, які впливають на втрату стійкості покрівлі (фактор  $E_r$ ), боків (фактор  $E_s$ ) і підшви (фактор  $E_g$ ) виробки, відповідно;  $m_4, m_5$  – кількість факторів ризику, які впливають на раптове обвалення покрівлі (фактор  $K_r$ ) і раптове підняття підшви (фактор  $K_g$ );  $R(E_r), R(E_s), R(E_g), R(K_r), R(K_g)$  – потенційний

ризик виникнення аварійної ситуації від факторів типу  $E$  (величин об'ємів зон непружних деформацій, зміщень контуру виробки та ін.) і типу  $K$  (швидкостей змін зміщень, напружень, об'ємів зон розриву суцільності та ін.);  $k_r$ ,  $k_s$ ,  $k_g$  – нормалізовані вагові коефіцієнти впливу на потенційний ризик окремих факторів в групі.

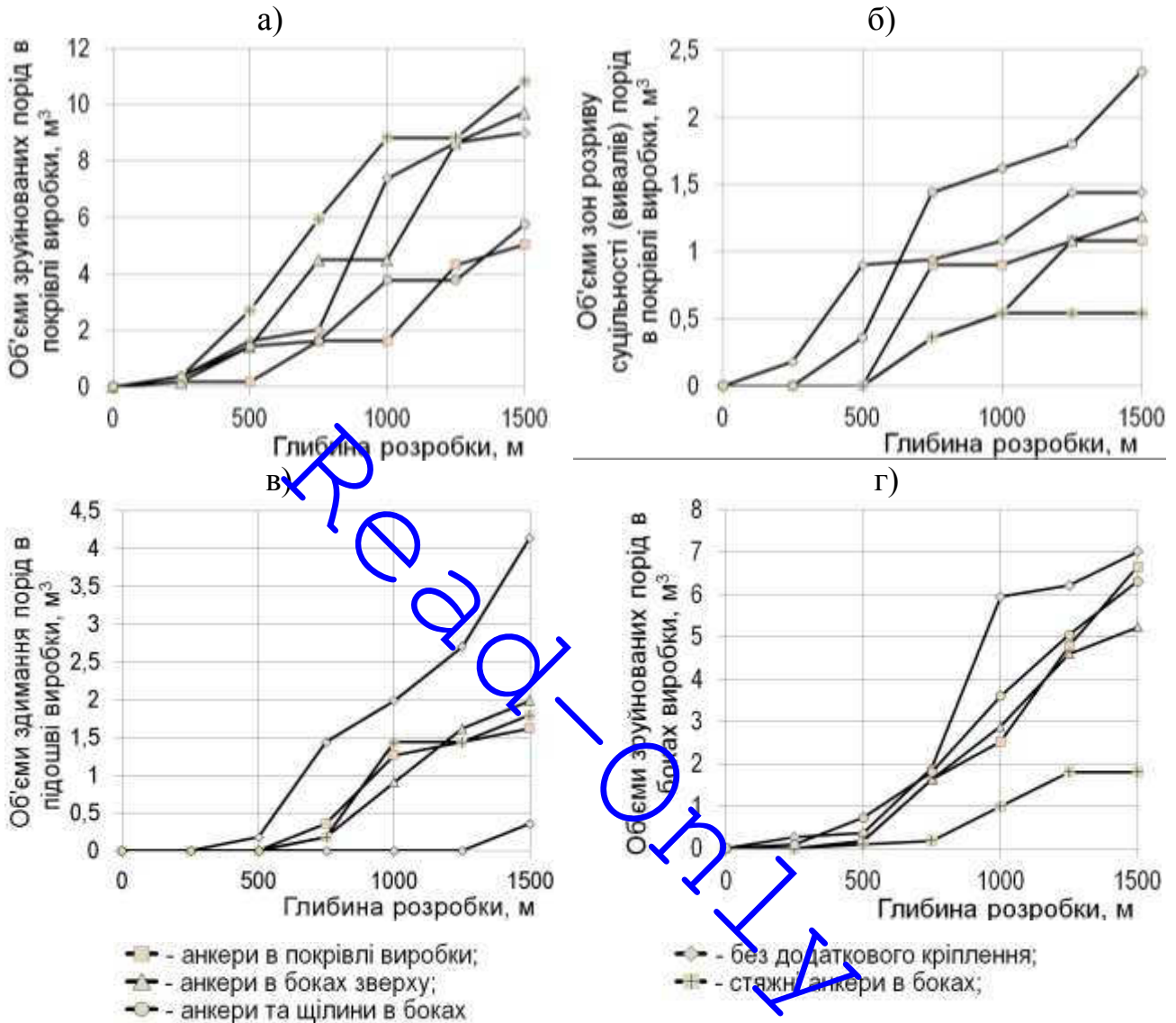


Рисунок 6 – Прогнозовані об'єми зруйнованих порід в покрівлі (а, б), підшві (в) і боках виробки (г) при різних способах її кріплення

Другий показник  $R_{\Sigma}$  відображає інтегрований технічний ризик руйнування системи «кріплення-масив», який визначається підсумовуванням всіх ризиків:

$$R_{\Sigma} = k_1^v \sum_{i=1}^{m_1} R(E_r)_i + k_2^v \sum_{i=1}^{m_2} R(E_s)_i + k_3^v \sum_{i=1}^{m_3} R(E_g) + k_4^v \sum_{i=1}^{m_4} R(K_r)_i + k_5^v \sum_{i=1}^{m_5} R(K_g)_i, \quad (11)$$

де  $k_1^v$ ,  $k_2^v$ ,  $k_3^v$ ,  $k_4^v$ ,  $k_5^v$  – нормалізовані вагові коефіцієнти впливу кожної групи факторів,  $k_1^v + k_2^v + k_3^v + k_4^v + k_5^v = 1$ .

Перший показник використаний в ІСБ для контролю виходу об'єкта управління в аварійний режим і визначення фактора, що потребує термінового втручання, а другий – для загальної оцінки його поточного стану.

Системи управління, засновані на методах нечіткої логіки, особливо корисні тоді, коли процеси в керованій (або контрольованій) системі занадто складні для ана-

лізу за допомогою традиційних методів, або коли параметри не можуть бути інтерпретовані точно через невизначеність поведінки досліджуваної системи. До таких систем, безумовно, відносяться і геотехнічні системи, контроль яких, з метою безпеки ведення гірничих робіт, проводиться в обстановці часткової невизначеності поведінки породного масиву під навантаженням, нерівномірності і хаотичності розподілу в просторі властивостей та структурних особливостей гірських порід, роботи засобів кріплення виробок, а також інших погано передбачуваних факторів. Тому на базі методів інтелектуального управління отримала подальший розвиток система попередження аварійних ситуацій, викликаних геомеханічними факторами. Розроблено і апробовано фаззі-контролер (експеримент проведений в програмній оболонці Simulink матричної лабораторії Matlab), який забезпечує аналіз даних моніторингу масиву порід і стійкості підземних виробок за величиною і швидкістю відхилення контрольованих параметрів, рис. 7.

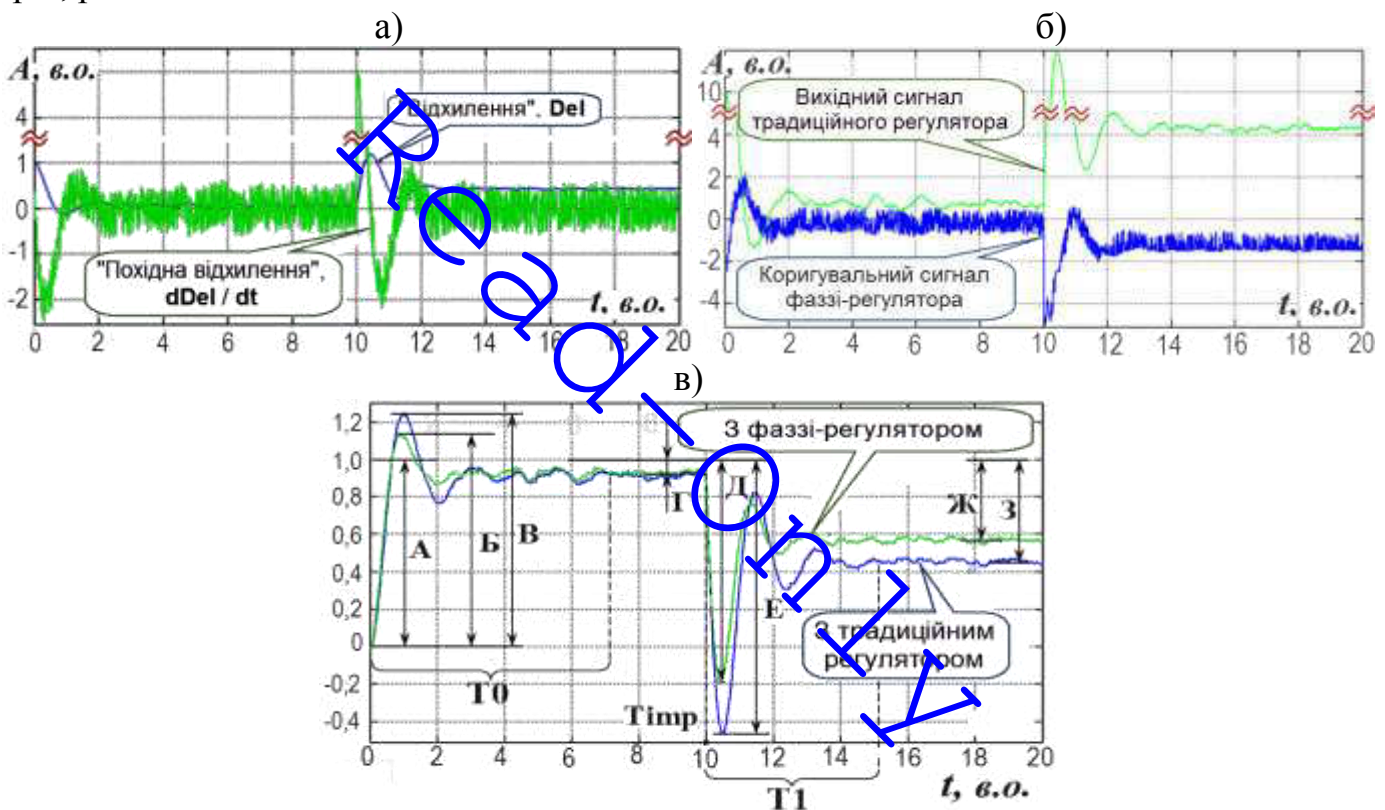


Рисунок 7 - Результати моделювання роботи системи: вхідні змінні (а) і вихідні сигнали (б) фаззі-контролера, змінна стану системи (в)

Закон управління може бути реалізований як програмно-технічними засобами, якщо ІСБ налаштована на генерацію та передачу сигналів небезпеки, так і на створення керівних інструкцій, що регламентують виконання технічних заходів з відновлення працездатності системи «кріплення-масив», що, в кінцевому підсумку, підвищує безпеку ведення гірничих робіт.

У четвертому розділі виконано синтез та апробацію інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічних факторів. Інтеграція розроблених підсистем в інформаційну систему безпеки ведення гірничих робіт виконана за допомогою методів управління інформаційними потоками, які доступні для авторизованих користувачів, рис. 8. Способи охоплення віддалених один

від одного підрозділів підприємства реалізовані шляхом використання програм-клієнтів на мобільних пристроях, підключених через локальні і глобальні мережі. Взаємодія з системою відбувається за допомогою графічного інтерфейсу.



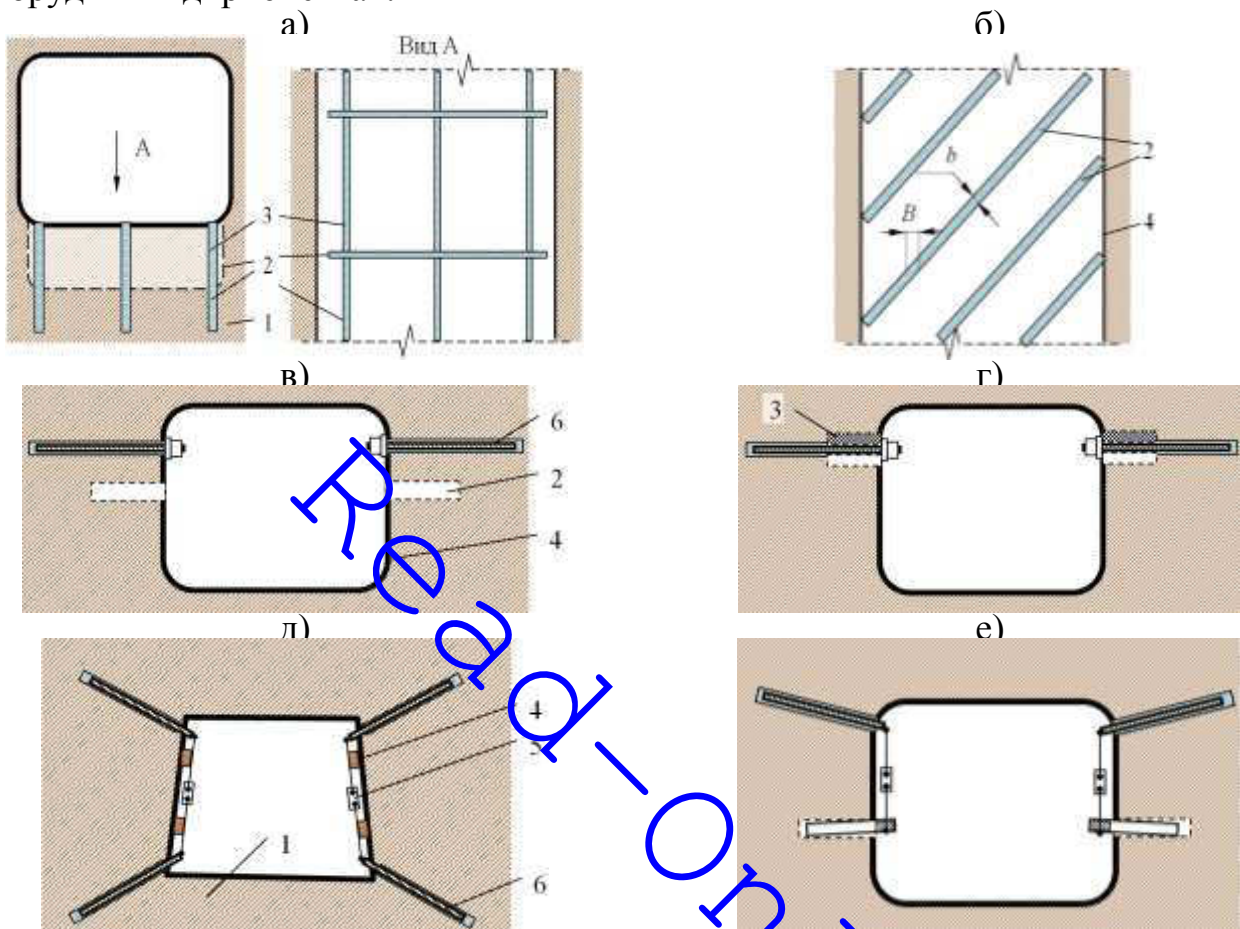
Рисунок 8 – Функціональна схема інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічних факторів

Зниження геомеханічної небезпеки досягається управлінням станом системи «кріплення-масив» шляхом прийняття своєчасних технічних заходів з підтримання гірничих виробок. Тому оцінка і прогноз негативних сценаріїв розвитку геомеханічних ситуацій не може розглядатися у відриві від параметрів застосовуваних і можливих до застосування способів і технологій кріплення. В рамках даних досліджень розроблено (у співавторстві) ряд нових способів охорони і підтримання гірничих виробок, що забезпечують зниження напружень і деформацій в породному масиві та підвищення безпеки ведення гірничих робіт, рис. 9.

Розроблений базовий програмно-технічний комплекс, що включає систему управління персоналом на базі мережних технологій, засоби мобільного і стаціонарного зв'язку та алгоритми попередження проявів небезпечних геомеханічних факторів, був протестований на прикладі типової організаційної структури управління шахтою та апробований на виробництві. Встановлено, що ІСБ підвищує рівень безпеки ведення підземних гірничих робіт за рахунок: інтеграції геомеханічних даних, які отримані від різних вимірювальних та інформаційних джерел, в єдине інформаційне поле; підтримки прийняття рішень на різних рівнях і надання актуальної інформації; організаційної пристосованості до структур управління; поглибленої обробки даних



на базі математичних моделей; критеріальної оцінки ступеня небезпеки об'єкта управління методами нечіткої логіки; взаємодії персоналу через стаціонарні і мобільні інтерфейси. Розроблені «Методичні рекомендації...», що включають основи функціонування, підготовки і розгортання ІСБ, а також особливості її застосування на гірничорудних підприємствах.



1 – підшова виробки; 2 – розвантажувальні щілини в породі; 3 – монолітний заповнювач; 4 – стінки виробки; 5 – анкерне стяжне кріплення; 6 – анкерне кріплення

Рисунок 9 – Забезпечення безпечних умов праці із застосуванням нових додаткових способів боротьби зі здиманням підшови гірничих виробок: а, б – нарізуванням розвантажувальних щілин (пат. № 96742, пат. № 94762); в, г – комбінацією щілин і анкерного кріплення (пат. № 98407, пат. № 99606); д, е – комбінацією стяжного кріплення з щілинами і анкерним кріпленням (пат. № 96311, пат. № 100829)

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження інформаційної системи безпеки з коригуваннями на ризики становить 1584 тис. грн. в рік на одне підприємство. Економічний ефект очікується за рахунок зниження рівня травматизму і вимушених простоїв внаслідок: надання оперативної інформації про стан породного масиву і ознаки небезпечних ситуацій в гірничих виробках, яка отримана шляхом обробки даних з різних джерел (персоналу, датчиків контролю, керуючих систем); підвищення безпеки праці персоналу і ефективності застосування діючих протиаварійних систем внаслідок збільшення кількості та якості контрольованих процесів; підвищення рівня трудової дисципліни і мінімізації витрат за рахунок поліпшення злагодженості роботи ланок інфраструктури підприємства та виробничого контролю з використанням електронної фіксації завдань і виконаних робіт.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених закономірностей і обґрунтованих критеріїв оцінки небезпеки розвитку процесів руйнування в системі «кріплення-масив», імовірнісної оцінки очікуваного технічного ризику від геомеханічних факторів обґрунтовані параметри інформаційної системи підтримки оперативного прийняття керуючих рішень для безпечного ведення підземних гірничих робіт з використанням методів інтелектуального аналізу даних моніторингу масиву порід і сучасних технологій: мережного зв'язку, візуального контролю і електронного документування даних, а також розроблені і впроваджені методичні рекомендації з її застосування, що має важливе значення для охорони праці на гірничодобувних підприємствах.

Основні наукові й практичні результати полягають у наступному:

1. Аналіз показав, що в сукупності до половини всіх нещасних випадків і причин аварій викликано проявами геомеханічних факторів, які реалізуються у вигляді некерованих деформацій породних масивів, руйнування кріплення і завалів виробок. Другою причиною є людський фактор. Встановлено, що одним із шляхів зниження аварійності і травматизму є підвищення дисципліни співробітників на виробництві та запобігання негативних сценаріїв розвитку геомеханічних процесів із застосуванням сучасних інформаційних систем.

2. Для обґрунтування показників небезпеки при веденні підземних гірничих робіт методом математичного моделювання визначені сценарії поширення зон непружних деформацій і змін напружень в породному масиві при застосуванні різних засобів кріплення, збільшенні навантаження на систему «кріплення-масив», зміні умов залягання і обводнюванні шарів порід. Запропоновано граничні умови моделі формалізувати на рівні критичних (мінімальних) або усереднених параметрів з використанням встановлених закономірностей зниження меж міцності при водонасиченні від 1,5 раз (для пісковиків і вапняків) до 2,5-2,6 раз (для алевролітів і аргілітів), та підвищення коефіцієнтів варіації міцності на 40-60 %.

3. Критерії переходу геотехнічної системи «кріплення-масив» з «безпечного» стану в «небезпечний» запропоновано визначати по зміщенню контуру виробок і об'ємам зон непружних деформацій з урахуванням природного розкиду даних міцності на стиск і розтягування, модулів пружності і зсуву, кутів внутрішнього тертя всіх шарів гірських порід. Небезпечний стан виробки визначається за співвідношеннями зміщень покрівлі до податливості кріплення та об'ємів зруйнованих порід в зонах непружних деформацій до його несучої здатності. Встановлено, що показник геомеханічної безпеки для виробки обернено пропорційний її геометричним розмірам, зміщенню контура і вазі зруйнованих порід в покрівлі, а прямо пропорційний податливості і несучій здатності кріплення.

4. Подальший розвиток отримав метод оцінки обчислювальної ефективності інформаційної системи, що відрізняється мінімізацією сум відхилень метрик нестабільності і абстрактності Мартіна по всіх групах класів проекту. Застосування методу дозволило забезпечити роботу підсистеми прогнозу геомеханічних процесів в «режимі реального часу», підвищити ефективність і надійність прийнятих на основі такого прогнозу рішень по забезпеченню безпеки ведення гірничих робіт.

5. Розроблено метод рейтингування ресурсів по частоті їх використання з урахуванням параметра нестабільності груп класів інформаційної системи безпеки. При цьому рейтинг ресурсів з низькою затребуваністю обернено пропорційний рейтингу більш стабільних екземплярів класу, що дозволяє в процесі роботи системи вивантажувати малозначні дані і знижувати її ресурсомісткість.

6. Для оцінки параметрів поточного геомеханічного моніторингу системи «кріплення-масив» сформовані два інтегральних індекси безпеки. Перший визначає рівень максимального технічного ризику і визначається шляхом вибору максимального значення з функцій груп ризиків втрати стійкості покрівлі, боків і підшви виробки. Другий показник відображає інтегрований ризик втрати стійкості геотехнічної системи, який визначається за величинами і швидкостями змін параметрів моніторингу. Перший показник використаний в інформаційній системі безпеки для контролю виходу об'єкта управління в аварійний режим і визначення фактора, що потребує термінового втручання, а другий – для загальної оцінки його поточного стану.

7. Отримала подальший розвиток система попередження аварійних ситуацій, викликаних втратою стійкості гірничих виробок. Розроблено і апробовано фаззі-контролер, який на базі методів нечіткої логіки забезпечує аналіз даних моніторингу масиву порід за величиною і швидкістю відхилення контрольованих параметрів.

8. Розроблена архітектура і обґрунтовані параметри нової інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт, яка відрізняється методами оперативного прогнозування і оцінки сценаріїв розвитку геомеханічних процесів та включає: базову клієнт-серверну підсистему, що забезпечує функції взаємодії та управління персоналом на підприємстві; довідково-інформаційну підсистему підтримки прийняття рішень, яка здійснює накопичення даних і аналіз технічної документації; підсистему аналізу рівня безпеки гірничих робіт за геомеханічними факторами, яка оцінює стан системи «кріплення-масив» на основі критеріїв небезпеки та математичного апарату нечіткої логіки. Безпека праці підвищується за рахунок покращення взаємодії і дисциплінарної відповідальності персоналу, а також прийняття завчасних рішень з підтримання гірничих виробок в безаварійному стані.

9. Розроблені та затверджені «Методичні рекомендації з використання інформаційної системи забезпечення безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічного стану породного масиву», що включають основи функціонування, підготовки і розгортання інформаційної системи, а також особливості її застосування на гірничорудних підприємствах. Методичні рекомендації впроваджені в НДІ безпеки праці та екології в гірничорудній та металургійній промисловості ДВНЗ «Криворізький національний університет» МОН України та на ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька». Очікуваний річний економічний ефект від впровадження інформаційної системи безпеки становить 1584 тис. грн. в рік на одне підприємство.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Моделирование и контроль динамических процессов в задачах оценки состояния геотехнических систем: монография / Н.А. Иконникова, В.И. Корсун, А.И. Слащев, Алекс. А. Яланский, А.А. Яланский. – Д.: НГУ, 2015. – 279 с.

2. Слащев, А.И. Повышение вычислительной эффективности алгоритма визуализации результатов решения сложных геомеханических задач / А.И. Слащев / Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 90. – С. 142-149.

3. Алгоритм и программное обеспечение оценки параметров технологий переработки углесодержащих отходов / И.Н. Слащев, С.Д. Приходченко, А.И. Слащев / Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 238-247.

4. Математическое моделирование термических процессов утилизации отходов обогащения углей / Э.С. Ключев, В.Н. Сапегин, А.И. Слащев / Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 94. – С. 70-78.

5. Слащев, А.И. Разработка мобильной технологии управления персоналом на предприятиях горного профиля / А.И. Слащев / Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 95. – С. 142-149.

6. Оптимизация информационной системы оперативного прогноза геомеханических процессов для поддержки принятия решений по безопасности шахт / И.Н. Слащев, В.Г. Шевченко, А.И. Слащев / Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 112. – С. 129-144.

7. Шевченко, В.Г. Разработка схем и алгоритма функционирования информационного комплекса управления персоналом на урановых шахтах / В.Г. Шевченко, А.И. Слащев / Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 117. – С. 128-140.

8. Обґрунтування входніх параметрів для моделювання геомеханічних процесів в задачах оцінки безпеки підтримання гірничих виробок / А.О. Яланський, І.О. Сапунова, А.І. Слащев, Л.А. Новиков / Геотехнічна механіка. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 119. – С. 282-295.

9. Слащев, А.И. Разработка элементов информационной системы управления персоналом для повышения производительности и безопасности труда / А.И. Слащев / Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск : РИК НГУ, 2015. – № 48. – С. 282-291.

10. Слащев, А.И. Разработка фаззи-контроллера для анализа данных мониторинга состояния горных пород и выработок / А.И. Слащев / Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 122. – С. 264-278.

11. Слащев, А.И. Обоснование параметров информационной системы обеспечения безопасности подземных горных работ / А.И. Слащев / Научный вестник НГУ. – 2016. – № 1. – С. 77–85.

12. Слащев, А.И. Разработка и оптимизация алгоритма визуализации результатов решения сложных задач устойчивости / А.И. Слащев // «Політ. Сучасні проблеми науки»: тез. доп. X Міжнар. конф. студ. та мол. учених, секція «Комп'ютерні інформаційні технології», Київ, 7-9 квіт. 2010 р., Нац. авіаційний ун-т. – Київ: НАУ-друк, 2010. Т. 1. – С. 234.

13. Приходченко, В.Л. Алгоритм выбора вариантов технологий переработки углеотходов / В.Л. Приходченко, С.Д. Приходченко, А.И. Слащев // «Опыт прошлого – взгляд в будущее»: тез. докл. Междунар. научно-практич. конф. студентов и молодых ученых, секция «Экология и энергетика – проблемы и пути их решения», Тула, 27-28 окт. 2011 г., Тульский госуд. ун-т. – Тула: ТулГУ, 2011. – С. 80-85.

14. Иконникова, Н.А. Математическое моделирование работы анкеров в неустойчивых породах / Н.А. Иконникова, А.И. Слащев // Информационные технологии

и математическое моделирование» (ИТММ-2011): Матер. X науч.-практ. конф., секция «Математическое моделирование в науке и технике», Анжеро-Судженск, 25-26 ноября. 2011 г. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011. – Ч. 2. – С. 96-101.

15. Пат. № 58375 UA. Спосіб проведення підготовчої виробки при побудові підземних споруд / А.І. Слащов, В.С. Возіянов, С.А. Курносів, Н.В. Коваль; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ. Опубл. 11.04.2011. Бюл. № 7. – 4 с.

16. Пат. № 94762 UA. Спосіб боротьби з випинанням ґрунту гірничих виробок / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, Т.А. Паламарчук, А.І. Слащов; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ. Опубл. 25.11.2014. Бюл. № 22. – 4 с.

17. Пат. № 96311 UA. Спосіб боротьби з випинанням ґрунту гірничих виробок / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, Т.А. Паламарчук, А.І. Слащов; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ. Опубл. 26.01.2015. Бюл. № 2. – 2 с.

18. Пат. № 96742 UA. Спосіб боротьби з випинанням ґрунту гірничих виробок / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, Т.А. Паламарчук, А.І. Слащов; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ. Опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3. – 3 с.

19. Пат. № 98407 UA. Спосіб боротьби з випинанням ґрунту гірничих виробок / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, Т.А. Паламарчук, А.І. Слащов; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ. Опубл. 27.04.2015. Бюл. № 8. – 2 с.

20. Пат. № 99606 UA. Спосіб боротьби з випинанням ґрунту гірничих виробок / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, Т.А. Паламарчук, А.І. Слащов; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ. Опубл. 10.06.2015. Бюл. № 11. – 2 с.

21. Пат. № 100829 UA. Спосіб боротьби з випинанням ґрунту гірничих виробок / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, Т.А. Паламарчук, А.І. Слащов; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ. Опубл. 10.08.2015. Бюл. № 15. – 2 с.

**Внесок автора в роботи, що опубліковані в співавторстві:** [1] – розробка та апробація методів аналізу результатів рішення геомеханічних задач (розділи 5, 8); [3, 4, 13] – розробка та апробація методів аналізу довідково-інформаційної підсистеми; [6] - метод мінімізації метрик нестабільності і абстрактності; [7, 14] – обґрунтування та апробація параметрів інформаційної системи; [8] – статистичний аналіз даних по властивостям порід; [15] – ідея та розрахунок параметрів способу; [16-21] – розробка чисельних моделей, аналіз результатів.

## АНОТАЦІЯ

Слащов А.І. Обґрунтування параметрів і розробка інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт з урахуванням геомеханічних факторів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – «Охорона праці». Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, 2016 р.

Дисертація присвячена обґрунтуванню параметрів інформаційної системи безпеки ведення підземних гірничих робіт на основі встановлених закономірностей змін сценаріїв розвитку і критеріїв оцінки небезпеки геомеханічних процесів.

У роботі вперше для критеріальної оцінки небезпеки стану системи «кріплення-масив» запропоновані співвідношення зсувів контуру виробки до податливості кріплення і об'ємів зруйнованих порід в зонах непружних деформацій до його несучої

здатності. Критерії визначені на базі математичної моделі з урахуванням розкиду даних міцності на стиск і розтягування, модулів пружності і зсуву, кутів внутрішнього тертя всіх шарів гірських порід, розміру оголення, а також числа зруйнованих елементів середовища в результаті деформування при різних способах кріплення і збільшенні гірського тиску. Встановлено, що показник геомеханічної безпеки для виробки обернено пропорційний її геометричним розмірам, зміщенням контуру і вазі зруйнованих порід в покрівлі, а прямо пропорційний податливості і несучій здатності кріплення.

Для оцінки параметрів поточного геомеханічного моніторингу системи «кріплення-масив» сформовані два інтегральних індекси безпеки, перший з яких визначає рівень максимального технічного ризику, другий – інтегрований технічний ризик геотехнічної системи. Перший показник використовується для контролю виходу об'єкта управління в аварійний режим, а другий – для оцінки його поточного стану. Розроблено і апробовано фаззі-контролер, що забезпечує аналіз даних моніторингу за величиною і швидкістю відхилення контрольованих параметрів.

Обґрунтовані параметри і розроблена архітектура нової інформаційної системи безпеки, яка відрізняється методами оперативного прогнозування і оцінки сценаріїв розвитку геомеханічних процесів. Система включає: базову клієнт-серверну підсистему управління персоналом, що забезпечує функції взаємодії і управління робітниками на підприємстві; довідково-інформаційну підсистему підтримки прийняття рішень, яка виконує функції накопичення даних і аналізу нормативно-технічної документації; підсистему аналізу рівня безпеки ведення гірничих робіт з урахуванням геомеханічних факторів, яка реалізує методи оцінки стану системи «кріплення-масив» на основі критеріїв небезпеки і математичного апарату нечіткої логіки. Безпека робіт забезпечується за рахунок підвищення ефективності взаємодії персоналу та його дисциплінарної відповідальності, а також прийняття завчасних рішень з підтримання гірничих виробок в безаварійному стані на основі визначення величини і швидкості зміни контрольованих параметрів.

Результати досліджень використані при розробці, апробації та впровадженні методичних рекомендацій і нової інформаційної системи безпеки.

Ключові слова: безпека гірничих робіт, підтримка прийняття рішень, стійкість виробок, геомеханічні фактори, інформаційна система, нечітка логіка.

## АННОТАЦИЯ

Слащев А.И. Обоснование параметров и разработка информационной системы безопасности ведения подземных горных работ с учетом геомеханических факторов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – «Охрана труда». Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, 2016 г.

Диссертация посвящена обоснованию параметров информационной системы безопасности ведения подземных горных работ на основе установленных закономерностей изменений сценариев развития и критериев оценки опасности геомеханических процессов.

В работе впервые для критериальной оценки опасности состояния системы «крепь-массив» предложены соотношения смещений контура выработки к податливости крепи и объемов разрушенных пород в зонах неупругих деформаций к ее несущей способности. Критерии определены на базе математической модели с учетом разброса данных прочностей на сжатие и растяжение, модулей упругости и сдвига, углов внутреннего трения всех слоев горных пород, размеров обнажения, а также числа всех разрушенных элементов среды в результате деформирования при разных способах крепления и увеличении горного давления. Установлено, что показатель геомеханической безопасности для выработки обратно пропорционален ее геометрическим размерам, смещениям контура и весу разрушенных пород кровли, а прямо пропорционален податливости и несущей способности крепи.

Для оценки параметров текущего геомеханического мониторинга системы «крепь-массив» сформированы два интегральных индекса безопасности, первый из которых определяет уровень максимального технического риска, второй – интегрированный технический риск геотехнической системы. Первый показатель используется для контроля выхода объекта управления в аварийный режим, а второй – для оценки его текущего состояния. Разработан и апробирован фаззи-контроллер, обеспечивающий анализ данных мониторинга по величине и скорости отклонения контролируемых параметров.

Обоснованы параметры и разработана архитектура новой информационной системы безопасности, которая отличается методами оперативного прогнозирования и оценки сценариев развития геомеханических процессов. Система включает: базовую клиент-серверную подсистему управления персоналом, обеспечивающую функции взаимодействия и управления работниками на предприятии; справочно-информационную подсистему поддержки принятия решений, выполняющую функции накопления данных и анализа нормативно-технической документации; подсистему анализа уровня безопасности ведения горных работ с учетом геомеханических факторов, которая реализует методы оценки состояния системы «крепь-массив» на основе критериев опасности и математического аппарата нечеткой логики. Безопасность работ обеспечивается за счет повышения эффективности взаимодействия персонала и его дисциплинарной ответственности, а также принятия заблаговременных решений по поддержанию горных выработок в безаварийном состоянии на основе определения величины и скорости изменения контролируемых параметров.

Результаты исследований использованы при разработке, апробации и внедрении методических рекомендаций и новой информационной системы безопасности.

Ключевые слова: безопасность горных работ, поддержка принятия решений, устойчивость выработок, геомеханические факторы, информационная система, нечеткая логика.

## ANNOTATION

Slashchev A.I. Validation of Parameters and Designing of Information Safety Systems for Underground Mining Operations with Taking into Account Geomechanical Factors. – Manuscript.

The thesis for technical specialty 05.26.01 – Labor Protection. M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics, NAS of Ukraine, Dnipro, 2016.

The objective of the thesis is to validate information safety system parameters for underground mining operations basing on established common tendency of changing scenarios of geomechanical process dynamics and criteria for estimating geomechanical process danger.

It is for the first time when ratios of (a) the tunnel contour shifting to the support flexibility and (b) volume of the broken rocks in zone with inelastic deformation to the support bearing capacity are used for criterion estimation of the “support-rock” system state. The criteria were established on the basis of a mathematical model which took into consideration data spread of the compressive and tensile strengths, coefficients of elasticity and shearing, angles of internal friction in each layer of the rocks, size of the rock outcrop and quantity of all broken elements in the medium in result of deformation at different methods of the tunnel supporting and increasing levels of the rock pressure. It was found that geomechanical safety of the tunnel was inversely to the tunnel geometry, contour shifting and weight of the broken roof rocks and in direct proportion to the support flexibility and bearing capacity.

In order to estimate parameters for the current geomechanical monitoring of the “support-rock” system, two integral indices of safety shall be formed, one of them shall specify maximal level of technical danger and another shall reflect integral technical danger of the geotechnical system. The first index is used to control transfer of the control object to the emergency mode, and the second index is used to estimate the current state. A phase controller was designed and tested for analyzing monitoring data by size and speed of the parameter divergence.

Parameters were validated, and architecture of the new information safety system was designed which differed by methods of on-line forecasting and estimating of scenarios of geomechanical process dynamics. The system includes: a basic client-server subsystem for personnel management which covers functions of the people interaction and management in the company; a reference-information subsystem, which helps to make decisions with the functions of data accumulation and normative documentation analysis; and a subsystem for analyzing safety of mining operations and geomechanical factors by methods of estimation of the “support-rock” system safety basing on the safety criteria and mathematic apparatus of fuzzy logic. Safety of operations is ensured by more effective personnel interaction, the personnel stronger disciplinary responsibility, and, basing on specified size and speed of the parameters changing, earlier made decisions on keeping the tunnels in a trouble-free state.

The findings of the thesis were used for designing, testing and implementation of technical recommendations and the new information safety system.

Key words: safety of mining operations; support in making decisions; tunnel stability; geomechanical factors; information system; fuzzy logic.



Read-Only

Read-Only