

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Управління гірничим виробництвом»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/Ляшок Я.О./

“ ” _____ 2021 року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка та моделювання маршрутів евакуації при виникненні аварійної ситуації в очисних вибоях вугільних шахт»

Виконала: студентка 2 курсу, групи ОПГзм-19

напряму підготовки (спеціальності) 184 «Гірництво», спеціалізація «Охорона праці в гірництві»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Камардіна Я.С.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц. каф. ОП, к.т.н., Андрєєва А.В.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студентка Камардіна Я.С.

(підпис)

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»
 Факультет Гірничий
 Кафедра Управління гірничим виробництвом
 Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр
 Напрямок підготовки (спеціальність) 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри

_____/Ляшок Я.О./

“ ____ ” _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРУ

 Камардіна Яна Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка та моделювання маршрутів евакуації при виникненні аварійної ситуації в очисних вибоях вугільних шахт

керівник роботи Андрєєва Антоніна Валеріївна,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом № _____ від “ ____ ” ____ 2021 року

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану безпеки ведення робіт на шахтах вугільних підприємств	18.02.2021 - 13.03.2021	
2	Математичне моделювання маршрутів евакуації	13.03.2021 - 01.04.2021	
3	Розробка та опис методики побудови моделі евакуації гірничих робітників, розробка алгоритму знаходження найкоротшого маршруту.	01.04.2021 - 15.04.2021	
4	Комп'ютерне моделювання маршрутів евакуації	15.04.2021 - 03.05.2021	
5	Оформлення роботи і підготовка до захисту	03.05.2021 - 10.05.2021	

Студент

_____ Камардіна Я. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Андрєєва А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Камардіна Я.С. «Розробка та моделювання маршрутів евакуації при виникненні аварійної ситуації в очисних вибоях вугільних шахт / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво» (спеціалізація «Охорона праці»). – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Магістерська робота полягає у визначенні маршрутів евакуації, на основі періодичного поновлення даних про напружено-деформований стан, геометрії гірських виробок, топології вентиляційної мережі і позиціонування гірників за допомогою визначення рівня ризику пересування по маршруту з урахуванням аерогазових умов в гірських виробках і оцінки часу витрати ресурсу саморятувальника.

Мета роботи - полягає в забезпеченні інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень при розробці та введенні в дію плану ліквідації аварій на гірничому підприємстві, з урахуванням мінливих геомеханічних ситуацій, для обґрунтування безпеки маршрутів евакуації гірників з метою зменшення наслідків надзвичайної ситуації. Ключові слова: локалізації та ліквідації наслідків аварій, аерогазодинамічна безпека, пожежа, параметри повітря, аварійні режими.

Створенні геоінформаційної моделі маршрутів евакуації, що дозволяє коригувати шляхи виходу на поверхню з очисних вибоїв вугільних шахт і відрізняється використанням періодично оновлюваних просторово-певних даних про напружено-деформований стан вуглепородного масиву, топології вентиляційної мережі, стан гірничих виробок і позиціонуванні гірників.

Застосуванні адаптованого алгоритму обчислення маршруту на неорієнтованому графі, що відрізняється використанням ретроспективних результатів попередніх ітерацій аналізу геоданих по мірі відновлення відомостей про топологію гірничих виробок в тимчасовому сховищі даних.

Ключові слова: маршрути евакуації, геомодельовання, аварія, ризик, вентиляційні мережі, аерогазодинамічна безпека, пожежа, аварійні режими.

ANNOTATION

Kamardina JS "Development and modeling of evacuation routes in case of an emergency situation in the clearing face of coal mines / Graduation qualification work for the degree of" Master "in specialty 184" Mining "(specialization" Occupational Safety "). - SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The master's thesis is to determine the evacuation routes, based on periodic updating of data on the stress-strain state, geometry of mine workings, ventilation network topology and positioning of miners by determining the level of risk of movement along the route taking into account aerogas conditions in mine workings.

The purpose of the work is to provide information support for management decisions in the development and implementation of a plan for the elimination of accidents at the mining enterprise, taking into account changing geomechanical situations, to justify the safety of evacuation routes for miners to reduce the consequences of an emergency. accidents, aerogas-dynamic safety, fire, air parameters, emergency modes.

Creation of a geoinformation model of evacuation routes, which allows to adjust the ways of coming to the surface from the clearing face of coal mines and differs in the use of periodically updated spatially defined data on the stress-strain state of the coal massif, ventilation network topology, mining and positioning of miners.

Application of an adapted route calculation algorithm on an undirected graph, characterized by the use of retrospective results of previous iterations of geodata analysis as information on the topology of mine workings in the temporary data warehouse is restored.

Key words: evacuation routes, geomodeling, accident, risk, ventilation networks, aerogas-dynamic safety, fire, emergency modes.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ ВЕДЕННЯ РОБІТ НА ШАХТАХ ВУГІЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ	10
1.1 Огляд травматизму на вугільних підприємств	10
1.2 Етапи складання плану ліквідації аварій	13
1.3 Огляд гірських ГІС	21
1.4 Огляд методів знаходження маршруту	28
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ ЕВАКУАЦІЇ	35
2.1 Модель маршрутів евакуації	35
2.2 Просторово-атрибутивна модель вуглепородного масиву з гірнічімі виробками	37
2.3 Кінцево-елементна модель ослабленого масиву	44
2.4 Знаходження областей небезпечної напруги в околицях гірських виробок	54
3 РОЗРОБКА ТА ОПИС МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ЕВАКУАЦІЇ ГІРНИЧИХ РОБІТНИКІВ, РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗНАХОДЖЕННЯ НАЙКОРОТШОГО МАРШРУТУ	59
3.1 Методика побудови моделі евакуації гірників	59
3.2 Спосіб усунення просторового викривлення	64
3.3 Алгоритм знаходження маршруту евакуації	66
3.4 Обчислення рівня ризику пересування по маршруту евакуації	69
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ ЕВАКУАЦІЇ	73
4.1 Спосіб зберігання і аналізу просторово- атрибутивних даних	73
4.2 Технологія побудови изоповерхностей для візуалізації зон небезпечної напруги	78
4.3 Експериментальне дослідження на тестовому прикладі	83
ВИСНОВКИ	92
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	94

ВСТУП

Актуальність роботи

Вугільна промисловість є важливою галуззю паливно-енергетичного комплексу України: з українських вугільних родовищ добувається понад 30 млн тон вугілля щорічно [1]. При видобутку корисних копалин актуальним завданням є забезпечення безпеки гірників при реалізації технологічних процесів виїмки вугілля.

Основним нормативним документом щодо забезпечення безпеки ведення гірських робіт є Інструкція зі складання планів ліквідації аварій (ПЛА). ПЛА розробляється відповідно до стану гірничих виробок, що плануються на момент введення його в дію.

Під час ведення гірничих робіт в складних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах періодично відбувається накопичення і перерозподіл потенційної енергії пружних деформацій вугільного пласта і порід, що вміщують, що не враховується при складанні ПЛА. Зміна напружено-деформованого стану вуглепородного масиву може призводити до виникнення в околицях очисного або прохідницького вибою небезпечних зон з підвищеним гірським тиском і, далі, до розвитку аварійних ситуацій.

На вугільних підприємствах різних країн, що займаються виїмкою корисних копалин, за даними міжнародного статистичного інституту, щорічно відбувається до 96 аварійних подій. Як мінімум 15% аварій є причиною загибелі людей [3,6]. Результати розслідування нещасних випадків свідчать, що до 60% надзвичайних ситуацій (НС) відбувається внаслідок дій персоналу, викликаних помилковими уявленнями про реальну обстановку в гірських виробках шахти після виникнення аварії [4]. Це пояснюється тим, що існуюче інформаційне забезпечення не дозволяє надійно прогнозувати і своєчасно запобігати виникненню і розвиток небезпечних виробничих ситуацій.

Для визначення надійного безпечного маршруту евакуації гірників необхідно враховувати якомога більший набір просторово-атрибутивних даних, що впливають на оцінку ризику пересування по гірничих виробках, таких як швидкість пересування людей по аварійній виробці, наявність свіжої

вентиляційного струменя, аерогазових умов і рівень напруги в покрівлі гірських порід і т.п. [5]. При зміні технології виробництва, схеми вентиляції, введення нових і закриття відпрацьованих ділянок деякі просторово-атрибутивні дані можуть змінюватися, у зв'язку з чим виникає необхідність у підтримці актуальних даних про геомеханічного стану гірських порід з використанням гірських геоінформаційних систем.

Існуючі гірські геоінформаційні системи: зарубіжні («Datamine», «GEMCOM», «Vulcan», «Micromine», «Surpac» та інші), успішно справляються із завданням інтерполяції геологічних даних для геомодельовання гірського масиву. Однак в даних системах відсутня можливість визначення безпечного шляху порятунку працівників. Деякі інформаційні системи частково вирішують завдання визначення безпечного маршруту евакуації людей з вугільних шахт за рахунок контролю позиціонування персоналу в гірських виробках: «Талнах-координату», «Геодинамічний полігон», UGPS. Однак ці системи не дозволяють визначити рівень ризику пересування по гірничих виробках, в зв'язку з чим, неможливо визначити безпечні маршрути для евакуації гірників.

Таким чином, завдання геоінформаційного моделювання маршрутів евакуації при виникненні аварійної ситуації в очисних вибоях вугільних шахт видається актуальною, оскільки достовірність і повнота відомостей про рівень безпеки впливає на якість складання плану ліквідації аварій і, як наслідок, на успішне виконання рятувальних операцій.

Мета роботи - полягає в забезпеченні інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень при розробці та введенні в дію плану ліквідації аварій на гірничому підприємстві, з урахуванням мінливих геомеханічних ситуацій, для обґрунтування безпеки маршрутів евакуації гірників з метою зменшення наслідків надзвичайної ситуації.

Ідея роботи полягає у визначенні маршрутів евакуації, на основі періодичного поновлення даних про напружено-деформований стан, геометрії гірських виробок, топології вентиляційної мережі і позиціонування гірників за допомогою визначення рівня ризику пересування по маршруту з урахуванням

аерогазових умов в гірських виробках і оцінки часу витрати ресурсу саморятувальника.

Основні завдання:

1. Розробити геоінформаційну модель маршрутів евакуації для вибору раціонального шляху виходу на поверхню з вугільної шахти на основі постійно оновлюваних просторово-часових даних про стан вугільної шахти;

2. Розробити математичне забезпечення розв'язання задачі дискретної оптимізації, що дозволяє обґрунтувати безпеку обраного маршруту за допомогою аналізу просторового розташування гірничих виробок, вогнищ НС, фізичних даних персоналу та ресурсу індивідуальних засобів захисту.

Наукова новизна полягає:

1. У створенні геоінформаційної моделі маршрутів евакуації, що дозволяє коригувати шляхи виходу на поверхню з очисних вибоїв вугільних шахт і відрізняється використанням періодично оновлюваних просторово-певних даних про напружено-деформований стан вуглепородного масиву, топології вентиляційної мережі, стан гірничих виробок і позиціонуванні гірників.

2. У застосуванні адаптованого алгоритму обчислення маршруту на неорієнтованому графі, що відрізняється використанням ретроспективних результатів попередніх ітерацій аналізу геоданих по мірі відновлення відомостей про топологію гірничих виробок в тимчасовому сховищі даних.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ ВЕДЕННЯ РОБІТ НА ШАХТАХ ВУГІЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Проблеми безпечного видобутку корисних копалин підземним способом є актуальними для України і особливо для Донбаського регіону - регіону з розвиненою вугледобувної галуззю [2]. Протягом півстоліття, вчені намагалися виявити закономірності поведінки стану вугільного масиву, накопичуючи і застосовуючи експериментальний досвід, використовуючи математичний апарат. Виявлялися причини, через які відбуваються надзвичайні ситуації на вугільних підприємствах. На основі чого будується комплекс заходів, що дозволяє управляти станом гірського масиву.

Керування станом масиву представляє собою комплекс заходів, необхідний для перетворення стану гірського масиву в стан, що дозволяє відповідно до прийнятих норм безпеки проводити очисні роботи на шахтах вугільних підприємств .

В управлінні гірським масивом задіяно два класи об'єктів - техногенні і природні. Моніторинг стану об'єктів кожного класу здійснюється за допомогою методів кількісної та якісної оцінки. Більшість цих методів засновано на порівнянні компонент деформації, зміщення і напруги, а також діючих всередині гірського масиву сил.

1.1 Огляд травматизму на вугільних підприємств

За статистикою, кожен мільйон тонн вугілля, видобутого підземним способом, обходиться ціною більш ніж одного людського життя [7]. У період з 2002-2013г. на території України зареєстровано 17 аварій на шахтах.

Характер причин аварій в 82% нещасних випадків криється у раптових викидах метану (стихійне лихо, нещасний випадок, людський фактор) [9].

Раптовим викидом називається ненавмисне вистрілювання корисної копалини в робочий простір гірничої виробки (рис. 1). Тривалість раптового викиду - до декількох секунд.

Шахти (рудники) поділяють за ступенем газорясності виробок виїмкових ділень і шахт (рудників) в цілому. Вугільні шахти за метаном поділяються на такі категорії [10]:

I — до 5 м³/т; (кількість метану, що виділяється на добу на 1 т. середньодобового видобутку, м³);

II — 5—10 м³/т;

III — 10—15 м³/т;

IV (надкатегорійні) - понад 15 м³/т або з суфлярних виділеннями газу,

V - шахти, що розробляють пласти, небезпечні або загрозливі за раптовими викидами вугілля або газу;

VI - шахти, в яких відбуваються викиди породи з виділенням метану.

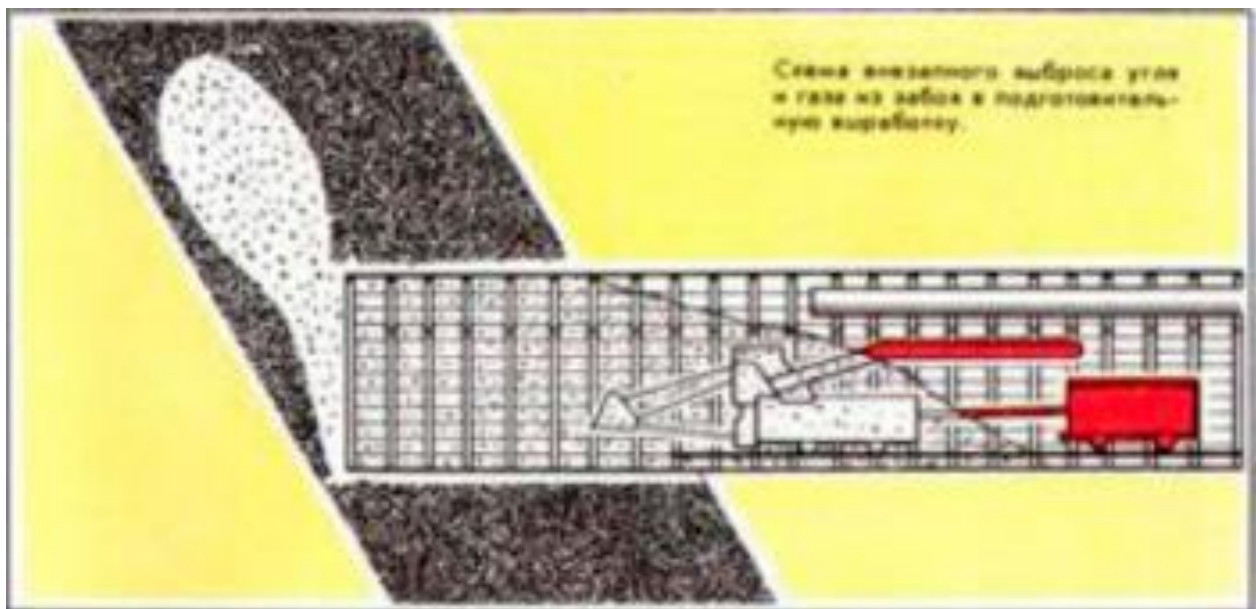


Рис.1 – Схематичне уявлення раптового викиду

Від категорії залежить ступінь небезпеки роботи в шахті - чим вище рівень, тим більше заходів необхідно провести для забезпечення безпечного ведення робіт.

Крім вибуху метано-повітряної суміші (82%) виділяють наступні види аварій:

- пожежа - 16%;
- обвалення порід покрівлі - 1%;
- вибух амоніту - 0,5%;
- затоплення шахти - 0,5%.

Існує кілька поглядів на механізмі раптового викиду і причини його прояви. Відрізняються вони в основному оцінкою участі в раптовому викиді газу, напружено-деформованого стану масиву, а також фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей корисних копалин або породи. Вивчення і попередження цього, небезпечного для життя персоналу, явища знаходиться в центрі уваги вчених гірничого профілю, виробників і науковців з вивчення верхніх шарів земної кори [11].

Раптовий викид газу

На ділянці з низькою проникністю породи з'являється тріщині при стрімкому пересуванні забою утворюється небезпечний перепад тиску природного газу в дуже тонкому шарі близько вільної поверхні, що може призвести до руйнування цього шару. Разом з руйнуванням шару породи, його відкидає в бік виробленого простору за рахунок енергії газу, що розширюється. При цьому тиск газу у тільки що утворилася вільної поверхні швидко знижується, знову створюється перепад тисків і т.д. Таким чином, вільна поверхня швидко переміщається в глиб масиву і весь час підтримується великий перепад тиску, що руйнує один шар за іншим. В іншому поданні про раптові викиди процес руйнування (дроблення) вугілля або породи зв'язується тільки з напруженим станом і несучою здатністю масиву близько гірничої виробки, а процес покидька часток швидко руйнується масиву - з енергією розширюється газу, стисненого при високому тиску [17].

Деякими дослідниками в робляться небезуспішні спроби обґрунтувати поява додаткового, крім вже існуючого метану в вугіллі, за рахунок механохімічних реакцій при його руйнуванні [12], які базуються на врахуванні будови вугільного речовини і його хімічний склад. За цими оцінками максимально можливе, гранична кількість додаткового метану в цьому випадку становить не більше 50м³.

Обвалення гірських порід

Під час ведення гірничих робіт відбуваються обвалення нависає масиву як вугільних пластів, так і порід, що вміщують. Обвалення порід, що вміщують і вугілля відбуваються як в очисних, так і в капітальних підготовчих виробках.

Основна технологічна причина обвалення порід, що вміщують і вугілля - це ненадійне кріплення гірничих виробок [19].

У капітальних і підготовчих виробках обвалення нависає породного масиву і вугілля відбувається, як правило, на незакріплених ділянках між забоєм вироблення і постійним кріпленням, а також на ділянках закріплених постійним кріпленням, якщо кріплення не має щільного контакту з масивом гірських порід.

В очисних виробках обвалення порід покрівлі може становити небезпеку для людей, що працюють в лавах, в основному на ділянках між забоєм вироблення і кріпленням [18].

Найбільшу складність по боротьбі з обваленнями, являє запобігання їх в очисних виробках на вугільних пластах похилого і крутого залягання, оскільки в цих випадках обвалення вугілля може відбуватися безпосередньо з вибою вугільного пласта, закріпити який не завжди представляється можливим.

Перерахуємо причини, здатні викликати обвалення:

1. примусовим впливом на породу (за допомогою вибуху, механічним і гідравлічним);
2. вплив на породу, частина природних чинників таких, як вода, температура, вивітрювання;
3. раптові викиди газу, вугілля, землетрусу, вплив підземних поштовхів при гірських ударах [13].

1.2 Етапи складання плану ліквідації аварій

План ліквідації аварій (ПЛА) - сукупність заздалегідь розроблених сценаріїв, що містять заходи щодо порятунку людей і ліквідації аварії в початковий період виникнення і попередження її розвитку.

ПЛА створюється для випадків можливих аварій відповідно до Інструкції зі складання планів ліквідації аварій на кожні 6 місяців головним інженером шахти і командиром обслуговуючого шахту гірничорятувального взводу, узгоджується з командиром воєнізованого гірничорятувального загону (ВГРЗ) і затверджується відповідним головним інженером шахти ДП (ПО, самостійної шахти і ін.) за 15 днів до введення в дію.

Основне завдання ПЛА полягає в забезпеченні безпеки гірників і ліквідація аварій в початковій стадії. Якщо заходи писані в ПЛА були виконані, однак аварія не ліквідована або потрібна ліквідація її наслідків, то розробляється інший документ - оперативний план ліквідації аварій.

Перед складанням ПЛА, відповідно до інструкції, піддаються перевірці наступні позиції:

- забезпеченість шахти, горизонтів і гірничих виробок запасними виходами;
- відповідність часу руху по загазованих виробках терміну захисної дії саморятівників;
- наявність, стан і розташування засобів рятування гірників і підготовленість працівників до їх використання;
- очікувана газова обстановка на ділянках в разі відключення системи дегазації;
- час загазування тупикових вибоїв в разі зупинки ВМП;
- стійкість вентиляційних струменів при теплової депресії пожежі;
- стан вентиляційних пристроїв;
- наявність і стан засобів оповіщення про аварії;
- розміщення пунктів і розстановку членів ВГК;
- водопостачання, забезпеченість і стан засобів пожежогасіння.

За результатами проведених перевірок визначаються зони ураження при різних варіантах аварій: вибухи, раптових викидах, гірських ударах, обваленнях, пожежах, затоплення і д. р., обчислюється зона реверсування вентиляційного струменя, оцінюється рівень пожежонебезпеки в гірських виробках вугільних шахт. Матеріали перевірок оформляються актами і розглядаються на нараді при головному інженері шахти за участю командира взводу ДВГРС.

План ліквідації аварій містить:

1. Оперативну частину, що складається з позицій і є основним його змістом.

2. Обов'язки і порядок дії посадових осіб, які беруть участь в ліквідації аварій.

3. Список посадових осіб і установ, які повинні бути негайно повідомлені про аварію.

4. Основні правила поведінки (дії) працівників шахти при аваріях.

5. Вказівки щодо ліквідації наслідків аварійних ситуацій (загазування, зупинка ВГП, застрягання кліті або обрив каната, загальношахтне відключення електроенергії, витікання хлору з хлораторної, вихід з ладу ізотопних датчиків).

До оперативної частини ПЛА прикладається наступна графічна документація.

1. Схема вентиляції шахти (рис.2).

2. Схема гірничих виробок і план поверхні шахти (на схемі гірничих виробок додатково вказуються місця розташування засобів пожежогасіння, оповіщення про аварії і групового порятунку робочих, а на плані поверхні - схема подачі води в шахту і під'їзні шляхи до стовбурів і шурфів).

3. Плани гірничих робіт по пластах або горизонтах (на планах додатково вказується напрямок руху повітря, місця установки телефонів і їх номери).

4. Мікросхеми гірничих виробок шахти (мікросхеми гірничих виробок додаються тільки до примірника плану, що зберігається в ДВГРС, і призначені для видачі командирам відділень при виході на завдання).

Відповідальність за коректність розробленого ПЛА і його відповідність актуалізувати станом вугільній шахті покладається на головного інженера шахти та командира гірничорятувального взводу. При введенні нових ділянок і виробок, коригування схеми вентиляції і запасних виходів головний інженер шахти зобов'язаний протягом 24 годин внести зміни в ПЛА, після чого погодити зміни і доповнення та доповнення з командиром гірничорятувального взводу, що обслуговує шахту. У разі, якщо необхідні зміни не будуть внесені або буде виявлення невідповідності плану актуального стану шахти, командир ВГРЗ має право визнати недійсним ПЛА, а командир взводу - окремі його позиції. ПЛА повинні зберігатися у гірничого диспетчера і в гірничорятувальному взводі.

Вивчення ПЛА інженерно-технічними працівниками шахти проводиться під керівництвом головного інженера. Відповідальність за ознайомлення робітників з правилами поведінки при аваріях і запасними виходами несе начальник ділянки. Після ознайомлення з правилами поведінки при виникненні аварії і запасними виходами працівники розписуються про це в Книзі інструктажу з безпеки робіт. Відповідальним керівником робіт по ліквідації аварій є головний інженер шахти, а до його прибуття на шахту - гірничий диспетчер.

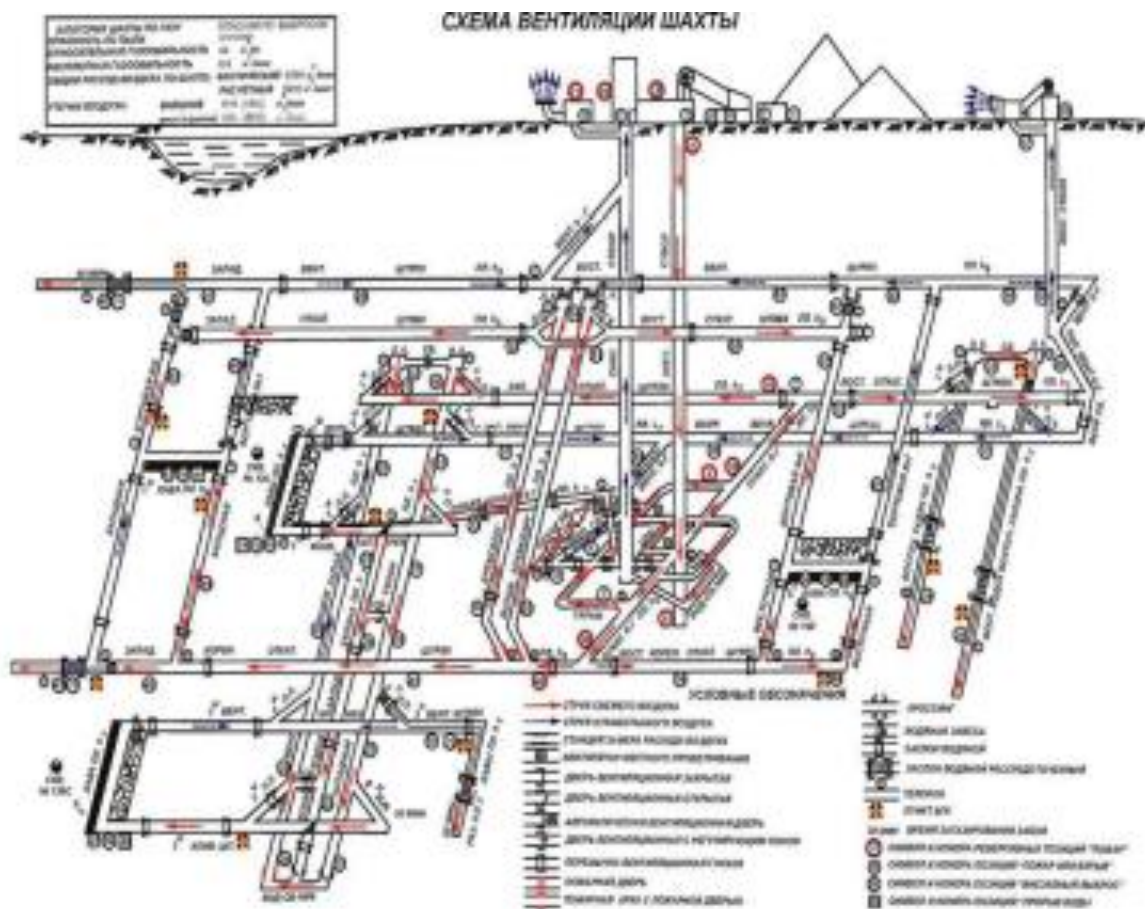


Рис.2 - Схема вентиляції шахти до плану ліквідації аварій (взято з відкритих джерел)

Основною структурною частиною ПЛА є позиція. Кожна позиція має такі атрибути: найменування, порядковий номер, умовний символ, зображення виробок позиції (аварійної ділянки) на схемі вентиляції шахти і текстовий зміст.

Найменування позиції складається з найменування виробок позиції (аварійної ділянки) і можливої в цих виробках (на цій ділянці) аварії. До

виробках позиції або аварійної ділянки відносять вироблення, частина вироблення або кілька пов'язаних виробок.

Парні вироблення і випадок пожежі або вибуху допускається включати в одну позицію, якщо для цих виробок і аварій виконуються наступні умови: передбачається однаковий аварійний режим провітрювання; застосовують однакові заходи з порятунку людей; збігаються маршрути руху гірничорятувальних відділень і порядок виконання ними робіт.

Для кожної тупикової виробки на випадок пожежі та (або) вибуху розробляється (складається) окрема позиція.

На схемі вентиляції шахти вироблення позиції виділяють (розфарбовують) одним кольором, позиції нумерують, починаючи з поверхні у напрямку руху вентиляційного струменя, проставляють номери позицій всередині символів і забарвлюють символи в колір виробок позицій.

Текстовий зміст позицій складають (розробляють) і оформляють за спеціальною формою у вигляді «таблиць» (табл.1).

З текстового вмісту позицій формують у вигляді альбому оперативну частину ПЛА. В оперативній частині позиції описують в порядку зростання, причому номер кожної позиції повинен збігатися з відповідним номером сторінки оперативної частини.

Позиції оперативної частини складають в залежності від виду аварії на наступні вироблення і об'єкти шахти.

Приклад позиції плану ліквідації аварій

Табл.1

Мероприятия по спасению людей и ликвидации аварий	Ответственные за мероприятия исполнители	Пути и время выхода людей	Пути движения отделений ГВГСС и задание
1. Вызвать 1-й взвод 3-го ВГСО. Обеспечить прибытие на шахту отделений ГВГСС и автомобилей со специальной техникой в соответствии с диспозицией выезда отряда на аварию. 2. Обеспечить нормальную работу вентиляторов главного проветривания скипового и вентиляционного стволов. 3. Отключить электроэнергию: - при пожаре в 1 ^W лаве, отключив ячейки 5 и 6 на РПП –3; - при взрыве в шахту, отключив вводы 1, 2 и 3 в поверхностной подстанции. 4. Оповестить все участки об аварии по телефону. 5. Подготовить механизированную доставку людей и отделений ГВГСС. 6. Направить членов ВГК из близлежащих выработок с респираторами и средствами пожаротушения по запад. уклону и далее по 1 ^W конв. штреку для тушения пожара со стороны свежей струи. 7. Обеспечить подачу воды на 1 ^W конв. и 1 ^W вент. штреки. 8.1 Включить водяную завесу на 1 ^W вент. штреке. 8.2 Подготовить электровоз и порожние вагонетки для доставки техники пожаротушения. 9. Обеспечить подачу сжатого воздуха в шахту. 10. Направить в шахту отделения ГВГСС.	<u>Диспетчер</u> <u>Телефонистка</u> <u>Ком. отряда</u> <u>Ком. взвода</u> <u>Главн. механик</u> Диспетчер, маш. вентиляторов <u>Главн. энергетик</u> Деж. слесарь <u>Главн. энергетик</u> Деж. электропод. <u>Диспетчер</u> Телефонистка <u>Нач. УШТ</u> Маш. электровоз <u>Главн. инженер</u> Диспетчер, ком. ШГС, чл. ВГК <u>Главн. механик</u> Деж. водотлива <u>Главн. механик</u> Деж. слесарь <u>Нач. УШТ</u> Маш. электровоз <u>Главн. механик</u> Маш. компрес.ст. <u>Главн. инженер</u> Ком. Взвода	При пожаре вывести людей: - находящихся за очагом пожара в 1 ^W конв. штреке на участке от 3 ^W пр. пл. до лавы, 1 ^W лаве, 1 ^W вент. штреке по 2 ^W пр. пл., вент. ходку, 1 ^W пр. пл., зап. откат. штреку, откат. кв-гу к клетевому стволу и на поверхность.– 25 (15) мин. - находящихся до очага пожара в 1 ^W конв. штреке на участке от 3 ^W пр. пл. до лавы, 1 ^W лаве, 1 ^W вент. штреке по 2 ^W пр. пл., ходку запад. уклону, 1 ^W пр. пл., зап. откат. штреку, откат. кв-гу на пл. к клетевому стволу находящихся в 1 ^W вент. штреке на участке от 2 ^W пр. пл. до 2 ⁰ пр. пл., по 2 ⁰ пр. зап. откат. штреку клетевому стволу и на поверхность.– 25 (15) мин. - находящихся в зап. вент. штреке по вост. вент. штреку, вост. откат. штреку. к клетевому стволу и на поверхность.– 25 (15) мин. - находящихся на вент. квершлага к скиповому стволу и на поверхность – 25 (15) мин. - находящихся во 2 ^W и 2 ⁰ пр. пл. по зап. откат. штреку к клетевому стволу и на поверхность.– 25 (15) мин. - находящихся в вост. вент. штреке по вост. откат. штреку. к клетевому стволу и на поверхность.– 25 (15) мин. При взрыве вывести всех людей из шахты к клетевому стволу и на поверхность.	Направить в шахту отделения ГВГСС: 1-е отделение по клет. стволу, откат. кв-гу, зап. откат. штреку, 1 ^W пр. пл., вент. ходку, 2 ^W пр. пл. на 1 ^W вент. штрек, 1 ^W лаву, 1 ^W конв. штрек к очагу аварии для спасения людей и вывода их обратным путем на поверхность. 2-е отделение по клет. стволу, откат. кв-гу, зап. откат. штреку, 1 ⁰ пр. пл., зап. уклону, 2 ⁰ пр. пл. к на 1 ^W конв. штрек, 1 ^W лаву, 1 ^W вент. штрек к очагу аварии: при пожаре для его ликвидации со стороны свежей струи; при взрыве – для спасения людей и вывода их обратным путем на поверхность. 3-е отделение по клет. стволу, откат. кв-гу, зап. откат. штреку, 1 ⁰ пр. пл., зап. уклону, 2 ⁰ пр. пл.-ке для обследования 1 ^W вент. штрека до 2 ^W пр. пл.-ки и вывода людей на свежую струю и на поверхность. 4-е отделение по клет. стволу, откат. кв-гу, зап. откат. штреку, 1 ⁰ пр. пл., зап. уклону, 2 ⁰ пр. пл.-ке для обследования зап. вент. штрека, вент. кв-га и вывода людей на свежую струю и на поверхность. Последующие отделения направляются по усмотрению руководителя работ по ликвидации аварии.

— пожежа - на всі виробки шахти і що примикають до них надшахтні будівлі, споруди і збагачувальні фабрики (установки), під час пожежі в яких продукти горіння можуть потрапити в шахту, а також на будівлі підйомних машин;

— вибух - на всі виробки газових шахт, в яких виявлено метан при нормальному режимі провітрювання, вироблення і споруди з інтенсивним пилоутворенням на шахтах, небезпечних по вибуховості вугільного пилу (очисні та тупикові вибої, вугільних завантажень, вироблення за якими вугілля рухається самопливом), підземні склади ВМ, зарядні камери, гараж;

— раптовий викид - на все очисні і підготовчі вибої на пластах, небезпечних за раптовими викидами вугілля, породи і газу;

— прорив води (пульпи) і затоплення - на все вироблення і зони, небезпечні по прориву води (пульпи);

— гірський удар - на все вироблення і зони, небезпечні по гірським ударам;

— обвалення вугілля (породи) - на всі виробки шахти складається одну спільну позицію;

— аварійні ситуації - для кожної аварійної ситуації складається одну спільну позицію.

При складанні позицій в основу лягає коректний вибір аварійного вентиляційного режиму провітрювання шахти і аварійної ділянки. Аварійний вентиляційний режим визначається, перш за все, режимом роботи вентиляторів очного провітрювання (ВГП). Застосовують наступні аварійні вентиляційні режими провітрювання:

— нормальний, який передбачає нормальну роботу ВГП зі збереженням або збільшенням подачі повітря в шахту;

— реверсивний, який передбачає реверсування ВГП зі зміною напрямку руху вентиляційного струменя по всій шахті;

— нульовий, який передбачає зупинку ВГП і провітрювання шахти за рахунок природної депресії;

— нормальний, який передбачає нормальну роботу ВГП зі збереженням подачі повітря в шахту і місцевим зміною режиму провітрювання аварійної ділянки.

Нормальний режим провітрювання застосовують при вибухах, викидах, прориви води, а також при пожежах не в зоні реверсу.

Реверсивний режим провітрювання слід однозначно застосовувати при пожежах в зоні реверсу, до якої відносяться надшахтні будівлі, стовбури, вироблення окоlostвольних дворів, за якими надходить свіже повітря в шахту. Реверсування ВГП в цих випадках забезпечує винос газоподібних продуктів горіння найкоротшим шляхом на поверхню, минаючи основні місця роботи людей.

При нагнітальному способі провітрювання шахти декількома вентиляторами головного провітрювання і пожежі в будинку і каналі вентилятора аварійний вентилятор зупиняється, а решта працюють в нормальному режимі.

Нульовий режим може здійснюється на НЕ газових шахтах при пожежах в головних вентиляційних виробках для зниження швидкості поширення пожежних газів.

Нормальний режим провітрювання шахти зі зміною місцевого режиму провітрювання аварійної ділянки застосовують тільки для окремих випадків пожеж в межах виїмкових полів.

Підвищення витрати повітря передбачається при пожежах в похилих виробках з низхідним провітрюванням з метою запобігання перекидання вентиляційного струменя під дією теплової депресії. Це досягається за рахунок збільшення опору в паралельних виробках і в збійках між ними при закритті вентиляційних дверей.

Зменшення витрати повітря передбачається при пожежах в похилих виробках з висхідним провітрюванням для зниження активності розвитку пожежі та запобігання рециркуляції продуктів горіння під дією теплової депресії. В основному, це досягається шляхом закриття пожежних дверей до вогнища пожежі.

При складанні позицій важливо правильне визначення виробок так званих небезпечних ділянок. У загальному вигляді до загрозливих ділянок відносять вироблення, в які можуть потрапити продукти аварії або які в результаті аварії і при прийнятому вентиляційному режимі позбулися запасного (для виробок, що провітрюються за рахунок загальношахтної депресії) або основного (для тупикових виробок) виходу.

Залежно від виду аварії до загрозливих ділянок відносять:

— під час вибуху - все виробки шахти, так як під дією ударної хвилі можуть бути порушені вентиляційні споруди шахти і може наступити так званий «вентиляційний хаос»;

— під час пожежі - вироблення, за якими поширюються газоподібні продукту аварії при нормальному режимі, а також при розробці та надшахтні будівлі при реверсивному режимі провітрювання;

— при викиді - вироблення, за якими поширюються газоподібні продукти аварії;

— при прориві води - виробки, якими спрямовується вода, включаючи саму поглиблену вироблення (слід мати на увазі, що на окремих шахтах разом з водою можливе надходження різних газів);

— при відсутності двох придатних для використання виходів з вироблення або з шахти (загазування, затоплення і т. П. Одного з виходів) - ця вироблення або вся шахта;

— при відсутності (загазування, затоплення і т. П.) Виходу з тупикової виробки - ця вироблення.

Всі інші виробки шахти відносять до безпечним. Таким чином, однією з ключових завдань є визначення безпечних виробок в актуалізованому стані вугільної шахти для складання маршруту евакуації гірників.

1.3 Огляд гірських ГІС

Розвиток просторового аналізу та геоінформатики стало можливим завдяки стрімкому розвитку в областях комп'ютерних технологій, інформатики та комп'ютерної графіки. До цього ж спроби автоматизації в області картографії носили експериментальний характер і здебільшого не отримали великого розвитку.

Перші згадування про застосування просторово-атрибутивного аналізу датуються ХУІІІ-ХТХ століттям:

— в 1781 році французький картограф Луї-Олександрі Берт'є (LouisAlexandre Berthier) в битві під Йорктауном (Yorktown) накладав на географічну карту прозорі шари для відображення пересування військ [8,9];

— в 1838 році Річард Грифит (Richard Griffith), Генрі Харнесс (Henry Harness) і Томас Ларк (Thomas Larcom) створили «Атлас для супроводу Другого доповіді ірландських Залізничних Уповноважених» (Atlas to Accompany the Second report of the Irish Railway Commissioners), в якому були відображені населення, потік трафіку, геологія і рельєф, накладені на одній і тій же базовій карті [12].

— у вересні 1854 року, доктор Джон Сноу (Dr. John Snow) використовував карту, яка показує розташування смертей від холери в центрі Лондона, щоб відстежувати джерело спалаху зараження [10,11].

Класично, періодизацію розвитку геоінформатики починають з 1960-х років. У цей період починаю формуватися перші уявлення про просторове аналізі, проводяться перші експериментальні проекти по створенню ГІС. Найбільш яскравим представником цього періоду є Канадська ГІС (КГІС), розроблена під керівництвом Р.Томлінсона (R Tomlinson) в 1963-1971. Дана система створювалася для аналізу даних інвентаризації земель Канади в галузі раціонального землекористування. Унікальність цієї системи полягає в ніколи до цього не використовувалися в геоінформатики, технологіях накладення і вимірювання площ земель. Вперше були зроблені спроби надання дистанційного доступу, проте в силу слабого розвитку інформаційних і комп'ютерних технологій система не отримала великого розвитку. Проте, технології і методики, що використовувалися в цій системі вперше, в наслідок отримали розвиток в подальших ГІС.

Другий етап розвитку датується 70-ми роками ХХ століття. За десять років технології геоінформатики були оптимізовані і успішно застосовувалися для вирішення багатьох прикладних задач, однак вартість і продуктивність існуючого обладнання поки не дозволяла оперативно аналізувати і обробляти великі обсяги даних. Цей період характеризується формулюванням геоінформатики як науки завдяки обміну досвідом між різними науковими школами, які проводили експерименти в області побудови ГІС.

Третій етап пов'язаний з бурхливим розвитком комп'ютерних технологій, появою глобальної мережі інтернет і, хронологічно, бере початок в кінці 70-х, початку 80-х років. У багатьох організація персональні комп'ютери починають витіснятися робочими станціями. У цей період встановлюється баланс між методологічним розвитком геоінформатики та технічними можливостями для реалізації. ГІС з експериментальних розробок перетворюються в комерційні програмні продукти (ARC / INFO). Освоюються нові джерела даних (космічні

супутники). Інтегруються цифрові методи обробки географічних карт з сучасними засобами автоматизації.

Сучасний етап розвитку ГІС характеризується вдосконаленням освоєних технологій, високою конкуренцією між комерційними організаціями розробкою ГІС. Основна ідея топологічного структурування в ГІС починає доповнюватися технологіями інтелектуального і евристичного аналізу. Клієнт-серверні технології замінюються технологіями хмарних обчислень, дозволяючи нарощувати обсяги атрибутивної і просторової складової до необхідних показників. З'являються відкриті електронні карти і інтернет-сервіси, що дозволяють за допомогою відкритого API вирішувати стандартне завдання геоінформатики: аналіз просторових взаємин об'єктів, об'єднаних однією територією.

Таким чином, ГІС підходять для вирішення завдань за поданням вугільних пластів, даних геологічної розвідки, гірничих виробок і об'єктів, розташованих на поверхні, у вигляді цифрових моделей [47]. У зв'язку з цим, при вирішенні задач автоматизації ведення гірських робіт доцільно інтегрувати ГІС в гірські інформаційні системи.

Теоретичні основи розробки ГІС сформульовані дослідниками: А.М. Берлянт, А.В. Кошкарев, І.К. Лур'є, Н.С. Сербенюк, В. С. Тикунов і іншими, а також зарубіжними авторами: П.А.Берроу (Burrough P.A), М.Н. ДЕМЕРС (Michael N.DeMers), Р.А.Макдоннелл (McDonnellRA), Дж. Л.Моррісон (Morrison J.L.), Цайлер М. (Zeiler M.) і іншими. Значний внесок у розвиток стандартів ГІС зроблений Open Geospatial Consortium (OGC).

На сьогоднішній день існує безліч програмних комплексів для візуалізації вуглепородного масиву в статистиці [68]: зарубіжні («Datamine», «GEMCOM», «Vulcan», «Micromine», «Surpac» і ін.) І вітчизняні (МНПО «Поліметал», ВАТ ГМК «Норільський Нікель», Костамукшское ГЗК, і інші). Ці програмні пакети давно зарекомендували себе на ринку візуалізації процесів гірничодобувного підприємства, однак в цих інформаційних системах не наважуються завдання геомеханіки, кріплення гірничих виробок, тільки частково вирішуються проблеми електропостачання та вентиляція, тобто завдання, пов'язані з

безпекою ведення гірських робіт. Крім цього, в існуючих гірничих інформаційних системах, відсутній механізм зіставлення атрибутивних даних з просторовим.

Існує проблема створення інтерфейсу між сучасними гірськими інформаційними системами. Основна, хоча і не єдина заслуга розвитку систем з відкритою архітектурою належить, в першу чергу стабілізує угодами про створення уніфікованих правил, завдяки яким стали доступні інтерфейси для взаємодії апаратних і програмних засобів. Також, частково цю проблему вирішує візуалізація, яка грає роль інтерфейсу між отриманими результатами дослідження і дослідником, причому більш наочного і ергономічного в порівнянні з масивами чисельних даних [69]. Це допомагає збільшити оперативність прийняття рішення в погано формалізуються завданнях, де немає чітких критеріїв оцінки ситуації. Таким чином, з точки зору слабо формалізованих задач, візуалізацію можна віднести до інтелектуальних методів розв'язання задач, оскільки вона забезпечує фахівця, що приймає рішення, необхідною інформацією та рекомендаціями, що дозволяє здійснити необхідний вибір серед безлічі альтернатив.

Проблема аналізу вуглепородного масиву вирішена в рамках геомеханіки, однак результат аналізу потребує наочному поданні. Так, наприклад, в результаті розрахунку напруги в вуглепородному масиві формується три значення напруги (x , y , z) для кожного кінцевого елемента. У випадку з динамічним моделюванням кількість отриманих значень збільшується пропорційно кількості модельованих станів. Це породжує дві проблеми: необхідність структурованого зберігання великого обсягу геопросторових даних і необхідність створення картографічної анімації для візуалізації динаміки.

Оскільки система є аналітичною, то крім якісних технологій зберігання і обробки даних в ній повинні реалізовуватися функції аналізу та інтерпретації отриманих результатів. Це дозволить визначити тенденцію в зміні показників і виробити рекомендації щодо поліпшення технології ведення гірничих робіт з точки зору безпеки на моделюючому кроці.

Основною перевагою геоінформаційних систем перед АСУТП і АСУ є можливість обліку просторових відносин між об'єктами. Використовуючи ці відносини можна більш ефективно вирішувати завдання управління просторово розподіленими об'єктами, яким є вугледобувне підприємство. Геоінформаційна система як засіб інтеграції різномірних просторово розподілених даних може бути ефективно використана при автоматизації багатьох технологічних процесів гірничодобувного підприємства на етапах розвідки і розробки родовища.

Існуючі гірські інформаційні системи

Сучасні програми відрізняються інтерактивною графікою, візуалізацією поверхонь з високою якістю, а також евристичними і інтелектуальними алгоритмами при вирішенні завдань. Здешевлення продуктивних технічних потужностей дозволило ще більше наростити обсяги виробництва гірничих підприємств, проте на сьогоднішній день зростання ефективності істотно сповільнилося з двох причин:

- більшість гірських підприємств застосовують інформаційні технології для поліпшення конкретних виробничих процесів, замість комплексно рішення по автоматизації;
- багато зусиль витрачається на автоматизацію класичних методів роботи гірничого підприємства, деякі з яких застаріли і вимагають зміни і поліпшення на концептуальному рівні [86].

Всі існуючі гірські інформаційні системи можна розділити на наступні категорії:

- Стандартні гірські інформаційні системи. Ці системи забезпечують автоматизацію типових процесів, які характеризується загальними рисами для будь-якого гірського підприємства: оцінка запасів, геологічне моделювання, проектування та планування гірничих робіт. Найбільш популярними компаніями, які розробляють такі системи є Datamine, Gemcom, Maptek, MMec і Surpac.

- Спеціалізовані гірські інформаційні системи. До них відносяться спеціалізовані програми для задач, які, як правило, не вирішуються засобами

стандартних гірських інформаційних систем: оптимізація кар'єрів, календарне планування, буровибухові роботи, вентиляція, геомеханіка, екологія і т.д.

— Автоматизовані гірські інформаційні системи. Ця категорія об'єднує програмне та технічне забезпечення, що використовується для управління виробництвом в реальному часі. Звичайні напрямки використання: управління гірським транспортом, екскаваторами, буровими верстатами, і т.д. Ці системи пропонуються невеликою кількістю компаній, серед яких (в області відкритих робіт) є 4 лідера: Modular Mining Systems, Wenco, Trilronics і Aquila. Все більшого значення набуває зв'язок цих компаній з виробниками гірничого обладнання, такими як Komatsu і Caterpillar.

— Гірські інформаційні системи документообігу. Забезпечують облік різних показників в реальному часі і формують різні звіти. Як правило, такі інформаційні системи являють собою невелику клієнтську програму, побудоване на базі архітектури клієнт сервер, і використовують розподілену систему баз даних.

RockWare

Найбільшим постачальником недорогих комп'ютерних програм в галузі наук про Землю є компанія RockWare яка регулярно випускає ілюстрований бюлетень з переліком і короткою характеристикою пропонованих продуктів, кількість яких більше 500. Можливе використання демонстраційних версій пропонованих продуктів, а в деяких випадках - повних робочих версії, що працюють в протягом обмеженого проміжку часу.

Компанія розвиває також свою систему для автоматизації геологічних розрахунків і створення креслень «RockWorks2002», вартість якої становить \$ 1000..

Звичайний тематичний перелік програм включає в себе розділи:

- системи автоматизованого проектування;
- топографія;
- обробка даних;
- геомеханічні розрахунки;
- гідрогеологія;

- теорія розпізнавання образів;
- обробка каротажних даних;
- картування і ГІС;
- каркасне моделювання та розрахунки обсягів;
- статистика, геостатистики, графічний аналіз;
- структурна геологія, стратиграфія і тектоніка плит;
- моделювання поверхонь і побудова ізоліній.

Vulcan

Австралійська компанія KJRA Systems, що є членом відомої групи компаній Мартек, розробила і продає потужну і досить дорогу інтегровану систему «Vulkan», що має великий набір модулів для вирішення найрізноманітніших завдань в області геології, гірничої справи, маркшейдерії, екології:

- набір програм для детальної обробки геологорозвідувальної інформації;
- інструменти для моделювання геологічних об'єктів, в т.ч. - родовищ нафти і газу;
- проектування кар'єрів і підземних рудників на рудних і пластових родовищах;
- контроль якості видобутої руди;
- проектування масових вибухів на підземних рудниках;
- оптимізація календарного плану гірничого підприємства;
- проектування генпланів підприємств;
- моделювання екологічних ситуацій;
- детальні маркшейдерські розрахунки, графіка. Використання можливостей систем точного географічного позиціонування (GPS);
- можливості високоточного лазерного моделювання об'єктів (I-Site);
- інтерфейси для імпорту / експорту інформації для більшості гірських систем і загальнопоширених пакетів програм;

- потужні засоби для отримання зображень і виведення графіки.

Surpac

Австралійська компанія Surpac Software International є автором широко поширеною в світі (близько 1000 користувачів), досить розвиненою і потужною системи Surpac Vision, а також інших продуктів: Quarry сучасний пакет для гірничих підприємств хімічної, неметаллорудної і будівельної промисловості. В нього включені функції проектування кар'єрів і планування виробництва.

Система складається з наступних модулів:

- моделювання та оцінка запасів родовищ, включаючи геостатистики;
- проектування картерів;
- проектування підземних рудників;
- маркшейдерські розрахунки;
- контроль якості рудопотоків;
- календарне планування;
- обробка геологорозвідувальної інформації;
- обробка даних по свердловинах, включаючи каротаж.

Scheduling - пакет створений для всебічного календарного планування будь-якого гірського виробництва.

Xplorpac - набір сучасних програм для геологорозвідувальних організацій, який автоматизує практично всі розрахунки, пов'язані з цими роботами, в т.ч. і в польових умовах.

1.4 Огляд методів знаходження маршруту

Завдання найкоротшого маршруту (shortest path problem) визначається як проблема пошуку найкоротшого шляху між двома точками графа. Найкоротший або геодезичний шлях $d(u, v)$ в графі G являє собою шлях найменшої довжини простий ланцюга, що з'єднує вершини u і v . Простий ланцюгом називається чергується послідовність вершин і ребер, в якому всі вершини (а отже, і ребра) різні. На сьогоднішній день існує безліч алгоритмів знаходження геодезичного шляху. Це завдання є однією з найважливіших класичних задач теорії графів. Оптимальність більшості існуючих алгоритмів визначається структурою графа, для якого застосовується алгоритм, оскільки,

як правило самі алгоритми спочатку розроблені для пошуку шляху в графах певного типу.

Алгоритм пошуку A^*

A^* покроково переглядає всі шляхи, що ведуть від початкової вершини в кінцеву, поки не знайде мінімальний. Як і всі поінформовані алгоритми пошуку, він переглядає спочатку ті маршрути, які «здаються» ведуть до мети. Від жодного алгоритму, який теж є алгоритмом пошуку по першому найкращому збігу, його відрізняє те, що при виборі вершини він враховує, крім іншого, весь пройдений до неї шлях. Складова $g(x)$ - це вартість шляху від початкової вершини, а не від попередньої, як в жадібному алгоритмі [100].

На початку роботи проглядаються вузли, суміжні з початковим; вибирається той з них, який має мінімальне значення $A(x)$, після чого цей вузол розкривається. На кожному етапі алгоритм оперує з безліччю шляхів з початкової точки до всіх ще не розкритих (листових) вершин графа - безліччю приватних рішень, - яке розміщується в черзі з пріоритетом. Пріоритет шляху визначається за значенням $A(x) = g(x) + h(x)$. Алгоритм продовжує свою роботу до тих пір, поки значення $A(x)$ цільової вершини не виявиться меншим, ніж будь-яке значення в черзі, або поки все дерево не буде переглянuto. З безлічі рішень вибирається рішення з найменшою вартістю.

Тимчасова складність алгоритму A залежить від евристики. У гіршому випадку, число вершин, досліджуваних алгоритмом, зростає експоненціально в порівнянні з довжиною оптимального шляху, але складність стає поліноміальною, коли евристика задовольняє наступній умові:

де h^* - оптимальна евристика, тобто точна оцінка відстані з вершини x до мети. Іншими словами, помилка $h(x)$ не повинна зростати швидше, ніж логарифм від оптимальної евристики.

Чим менше $h(x)$, тим більше пріоритет, тому для реалізації черги можна використовувати сортувальні дерева.

Алгоритм Дейкстри

Алгоритм на графах, винайдений нідерландським вченим Едсгер Дейкстрой в 1959 році. Знаходить найкоротші шляхи від однієї з вершин графа до всіх інших. Алгоритм працює тільки для графів без ребер негативного ваги. Алгоритм широко застосовується в програмуванні і технологіях, наприклад, його використовують протоколи маршрутизації OSPF і K ІЩ38.

Кожній вершині V з графа G встановлюється мітка, що характеризує мінімальне відоме відстань від цієї вершини до вершини початку. Алгоритм працює покроково - на кожному кроці алгоритм переходить в чергову не відвідану вершину і обчислює відстань до неї від стартової вершини. Робота алгоритму вважається завершеною, коли будуть помічені всі вершини графа.

Таким чином, алгоритм складається з двох ключових частин - одноразової операції «початок» і повторюваною операції «крок». На операції «початку» вказується початкова вершина з міткою рівною 0. Мітки інших вершин приймають рівним нескінченності - це надалі спростить завдання пошуку мінімального шляху і повідомить оператору перебору про не відвідання точці. Після «початку» запускається повторювана процедура «крок». З не відвіданих вершин вибирається вершина має мінімальну позначку. Обчислюються відстані всіх можливих маршрутів, в яких вершина u є передостаннім пунктом. Для кожної вершини, до якої ведуть ребра з окрім відмічених як відвідані, обчислюється довжину маршруту, що дорівнює сумі значень поточної мітки і довжини ребра, що з'єднує її з її сусідом. Якщо отримане значення довжини менше значення мітки сусіда, значення мітки замінюється отриманим значенням довжини. Розглянувши всіх сусідів, вершину u і позначається як відвіданих, після чого крок алгоритму повторюється. Якщо всі вершини графа відвідані, то алгоритм завершується.

Складність алгоритму Дейкстри залежить від способу знаходження вершини V , а також способу зберігання множини не відвіданих вершин і способи оновлення міток. Позначимо через n кількість вершин, а через m - кількість ребер в графі G . У найпростішому випадку, коли для пошуку вершини з мінімальним $d[v]$ проглядається все безліч вершин, а для зберігання величин d

використовується масив, час роботи алгоритму є $O(n^2)$. Основний цикл виконується порядку p раз, в кожному з них на знаходження мінімуму витрачається близько p операцій. На цикли по сусідах кожної відвідуюваною вершини витрачається кількість операцій, пропорційне кількості ребер t (оскільки кожне ребро зустрічається в цих циклах рівно двічі і вимагає константне число операцій). Таким чином, загальний час роботи алгоритму $O(n^2+m)$ але, так як $m \leq n(n-1)$, воно становить $O(n^2)$.

Алгоритм «розділяй і володарюй»

Ідея алгоритму полягає в розбитті безлічі маршрутів полягає в рекурсивном розбитті розв'язуваної задачі на дві або більше підзадачі того ж типу, але меншого розміру, і комбінуванні їх рішень для отримання відповіді до вихідної задачі. Розбиття виконуються до тих пір, поки всі підзадачі не опиняться елементарними.

У випадку з завданням знаходження найкоротшого шляху зв'язку графа аналізується для знаходження точки, що розділяє кінцеву і початкову приблизно однаковим відстанню. Після цього відбувається рекурсивна декомпозиція завдання до знаходження оптимального шляху. Трудоемкість алгоритма в худшем случае составляет $n \cdot \log(n)$, де n - кількість вершин графа.

Алгоритм хвильове трасування

Алгоритм найчастіше застосовується для пошуку найкоротшого шляху на планером графі. Належить до алгоритмів, заснованим на методах пошуку в ширину.

В основному використовується при комп'ютерної трасування (розводці) друкованих плат, з'єднувальних провідників на поверхні мікросхем.

Хвильовий алгоритм в контексті пошуку шляху в лабіринті був запропонований Е. Ф. Муром. Чи незалежно відкрив цей же алгоритм при формалізації алгоритмів трасування друкованих плат в 1961 році.

Алгоритм працює на дискретній робочому полі (ДРП), що представляє собою обмежену замкнутою лінією фігуру, не обов'язково прямокутну, розбиту на прямокутні осередки, в окремому випадку - квадратні. Безліч всіх осередків ДРП розбивається на підмножини: «прохідні» (вільні), т. Е при пошуку шляху

їх можна проходити, «непрохідні» (перешкоди), шлях через цей осередок заборонений, стартова осередок (джерело) і фінішна (приймач). Призначення стартовою і фінішною осередків умовно, досить - вказівка пари осередків, між якими потрібно знайти найкоротший шлях.

Алгоритм призначений для пошуку найкоротшого шляху від стартової осередку до кінцевої комірки, якщо це можливо, або, за відсутності шляху, видати повідомлення про непрохідність [38].

Робота алгоритму включає в себе три етапи: ініціалізацію, поширення хвилі і відновлення шляху.

Під час ініціалізації будується образ безлічі осередків оброблюваного поля, кожному осередку приписуються атрибути прохідності/непрохідності, запам'ятовуються стартова і фінішна осередки. Далі, від стартової осередку породжується крок до сусіднього осередку, при цьому перевіряється, прохідна вона, і чи не належить раніше меченої в шляху осередку. Сусідні комірки прийнято класифікувати двояко: в сенсі околиці Мура і околиці фон Неймана, який відрізняється тим, що в околиці фон Неймана сусідніми осередками вважаються тільки 4 осередки по вертикалі і горизонталі, в околиці Мура - все 8 осередків, включаючи діагональні.

При виконанні умов прохідності і неналежності її до раніше позначеним в шляху осередкам, в атрибут осередки записується число, що дорівнює кількості кроків від стартової осередки, від стартової осередки на першому кроці це буде 1. Кожна клітинка, позначена числом кроків від стартової осередки, стає стартовим і з неї породжуються чергові кроки в сусідні осередки.

Відновлення найкоротшого шляху відбувається в зворотному напрямку: при виборі комірки від фінішної осередку до стартової на кожному кроці вибирається осередок, що має атрибут відстані від стартової на одиницю менше поточної комірки. Очевидно, що таким чином знаходиться найкоротший шлях між парою заданих осередків.

Обчислювальна складність хвильового алгоритму близька до $O(n^2)$, де n - число вершин. В реальних задачах, наприклад, при трасуванні друкованих

плат, визначення маршруту виконується багаторазово, що тягне істотні тимчасові витрати.

Алгоритм повороту Креша

Алгоритм повороту Креша застосуємо для ситуацій, зумовлених кількома проблемами:

- навколишній світ, в якому необхідно розрахувати оптимальний маршрут може значно змінюватися
- пересування в просторі можливо в будь-якому напрямку і на будь-яку відстань (понад околиці мура)
- необхідно врахувати одночасне пересування декількох об'єктів з урахуванням їх розмірів і розмірів простору шляху (наприклад, послідовне пересування великогабаритної техніки по вузькому мосту). У цьому випадку основний упор робиться не на формалізацію простору у вигляді графа, а на позначення перешкод деякої у вигляді фігури неправильної форми (mesh).

На початку виконання алгоритму задається прямий відрізок між стартом і фінішем - це найкраще можливе рішення. Потім на цьому відрізку знаходиться перший вхід в перешкоду. Для обходу перешкоди застосовується «правило лабіринту»: якщо постійно рухатися уздовж стіни в одному напрямку, то через деякий час відбудеться повернення в точку початку обходу. Обхід може бути двох типів: обхід перешкоди, рух усередині замкнутого простору уздовж стіни. У другому випадку рішення немає - точка фінішу недоступна. У першому випадку є два варіанти: під час обходу перешкоди було виявлено місце виходу відрізка з перешкоди, і точки виходу виявлено не було. Якщо точки не було, значить, фініш знаходиться всередині перешкоди, а потрапити туди неможливо - рішення немає. Якщо точка була виявлена, значить продовжити пошук, обходячи наступне перешкоду. Обходити кожен перешкоду слід з двох сторін.

Обійшовши по контуру всі перешкоди на шляху, можна впевнено сказати, що серед усього маршруту обходу присутнє одне місце, яке точно входить в найкоротший шлях - це було б найкращим рішенням. Знайдена точка вважається рішенням шляху і ділить шлях на 2 частини. Далі для кожної частини шляху потрібно знову рекурсивно виконати пошук.

Якщо після обходу не вдалося знайти вихід з останньої перешкоди, значить, рішення немає, і побудувати шлях до фінішу неможливо.

Обчислювальна складність навігаційної сітки залежить від структури даних і кількості перешкод, що виникають на шляху. Крім цього, на тривалість впливає топологія перешкод: наприклад для U-образних перешкод алгоритм буде показувати найгірший результат. Існує технологія, що дозволяє індексувати точки входу і виходу з перешкод. Завдяки індексації складність знаходження маршруту близька до $O(n^2)$, де n - кількість перешкод.

Оскільки гірничі виробки перетворені в вид неорієнтованого зваженого графа, доцільно застосувати два алгоритму: алгоритм Дейкстри і алгоритм A^* . Перший завжди зі 100% ймовірністю знаходить найоптимальніший шлях, в той час як A^* може дати не найоптимальніший шлях, однак працює в кілька разів швидше. У зв'язку з цим при первинному прорахунку доцільно застосовувати алгоритм Дейкстри, якщо ж в разі виходу з шахти шлях виявиться блокований, краще застосовувати алгоритм A^* , так як швидкість прийняття рішення в даному випадку буде пріоритетна.

Висновки

Аналіз існуючих проблем в області ведення аварійно-рятувальних робіт виявив необхідність в створенні власної методики знаходження оптимального маршруту виходу на поверхню з урахуванням напружено-деформованого стану вуглепородного масиву в околицях гірських виробок. Проведено аналіз алгоритмів визначення найкоротшого шляху в неорієнтованому зваженому графі. Виявлено доцільність застосування алгоритму Дейкстри, модифікованого для застосування в гірських виробках в аспекті використовуваних значень ваг ребер. Сучасні обчислювальні потужності спрощують можливість застосування даного алгоритму на графах з великою топологією, що також робить його використання можливим при моделюванні ситуації блокування виробок, і, як наслідок, необхідності перерахунку всіх маршрутів, які використовували цю вироблення в своєму складі.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ ЕВАКУАЦІЇ

2.1 Модель маршрутів евакуації

Для вирішення задачі знаходження оптимального маршруту була розроблена лінійна математична модель, що складається з декількох частин (рис.4).

Кожен елемент структури використовує в якості вхідних даних результат виконання попереднього, таким чином, виконання наступного етапу неможливо без закінчення розрахунків на попередньому.

Крім цього, кожен елемент структури містить унікальний набір вхідних характеристик, необхідний для зменшення ступеня абстракції модельованого об'єкта:

- атрибутивно-просторова модель вуглепородного масиву, ослабленого виробками: використовує дані геологорозвідувальних робіт (результат аналізу керна) для просторової інтерполяції фізико-механічних властивостей гірського масиву.

- кінцево-елементна модель ослабленого масиву: будується шляхом розбиття атрибутивно-просторова модель вуглепородного масиву на кінцеві елементи конфігурируемого типу і розміру.

- напружено-деформований стан: обчислюється в результаті аналізу кінцево-елементної моделі для крайової задачі, яка визначається рівняннями рівноваги і крайовими умовами.

- області небезпечної напруги: знаходяться в результаті OLAP-аналізу, який в якості вхідних даних використовує функцію приналежності і індекс відповідності для кожного фізико-механічного властивості.

Можливі маршрути евакуації: розраховують оптимальний маршрут на основі оцінки рівня безпеки та сукупності обмежень, встановлених нормативними актами.

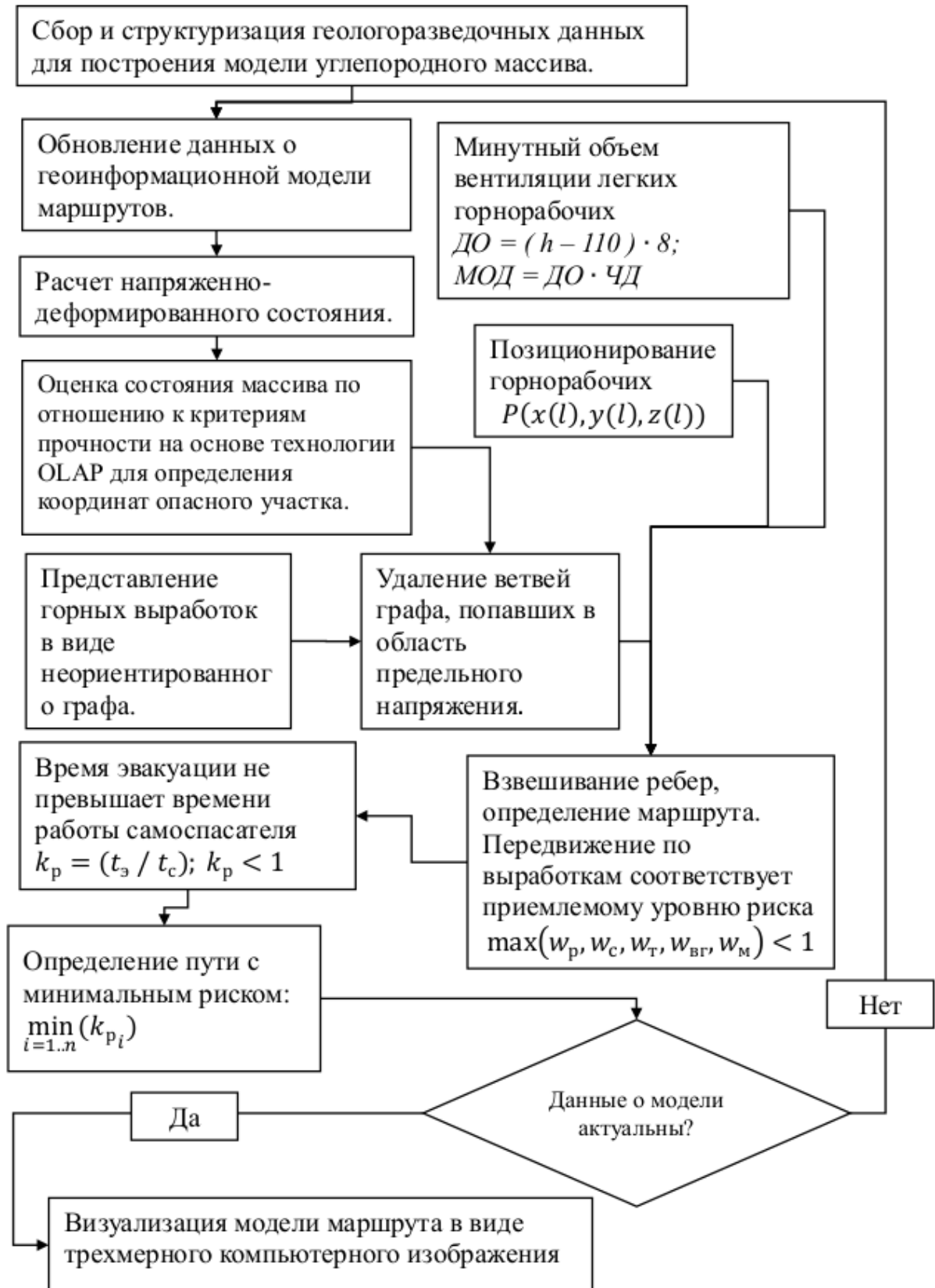


Рис.4 - Структурна схема формування маршруту евакуації

2.2 Просторово-атрибутивна модель вуглепородного масиву з гірничими виробками

Технологія побудови атрибутивно-просторової моделі вуглепородного масиву, ослабленого виробками складається з декількох етапів:

- систематизація і структуризація відомості про геологорозвідувальні роботи;
- побудова тривимірної моделі вуглепородного масиву, шляхом просторової інтерполяції геологорозвідувальних даних;
- побудова дискретної моделі гірничих виробок.

На першому етапі необхідно опрацювати вихідні дані, представлені у вигляді креслень гірських виробок і проектної геологічної документацією і представити їх у вигляді табл.2.

Формат відомостей про геологорозвідувальні свердловини.

Табл.2

Номер скважини	Координаты скважины (или географические координаты)		Глубина скважины, м	Высотная отметка устья (уровня земной поверхности, где начали бурить), м
1	327,5	17,5	500	150
2	127,5	117,5	600	25
...	...	...	...	...

Для кожної розвідувальної свердловини, крім просторових даних про геометрію, описуються такі відомості: тип породи, глибина і потужність залягання кожного пласта (табл.3).

Після побудови геометричної моделі вуглепородного масиву, розвідувальні дані об'єднуються з базою даних фізико-механічних властивостей гірських порід в сховище даних, структура якого представлена на рис.5. При використанні сховища даних доцільно застосування спеціалізованої технології обробки даних. Оскільки необхідно обробляти великий обсяг даних, доцільно використовувати OLAP-технологію, яка застосовується для агрегування відомостей та подання їх у вигляді багатовимірного гіперкуба даних.

Оскільки результати запиту (агрегати) необхідно багаторазово використовувати на різних стадіях проведення аналізу, їх необхідно зберігати в окремих Табл.х, створених усередині сховища даних.

Формат відомостей по кожній свердловині

Це збільшить швидкодію роботи при збільшенні обсягу займаного місця, що в цілому збільшить ефективність роботи системи. Таким чином, доцільно застосовувати гібридну технологію OLAP (HOLAP), яка використовує реляційні таблиці для зберігання базових даних і багатовимірні таблиці для агрегатів. З кожним агрегатом додатково зберігається тайм-код і номер розрахунку - це забезпечить оперативний доступ до результатів для побудови хронологічних рядів, що відображають динаміку зміни досліджуваної характеристики.

Формат відомостей по кожній свердловині.

Табл.3

Номер скважини	Породы в скважине		
1	Глубина начала залегания породы, м	Порода	Мощность, м
	500	Аргиллит	50
	450	Алевролит	300
	150	Уголь	5
	123	Глина	100
	...	...	...
2	600	Аргиллит	70
	530	Алевролит	300
	230	Уголь	12
	...	...	

Сховища даних з реалізованої HOLAP забезпечать можливість створення вітрин даних, кожна з яких представляє собою зрізи даних по OLAP-гіперкуби: масив вузько відомостей, який орієнтований на конкретну групу фахівців або на дослідження конкретного сегмента моделі.

Тимчасової характер сховища даних (рис.6) обумовлений необхідністю зіставлення декількох вітрин, прив'язаних до часів поновлення моделі топології гірських виробок. Частота оновлення складає 5-9 ітерацій в місяць, що дозволяє підтримувати модель в актуальному стані на протязі всього процесу ведення

гірських робіт за рахунок коригування даних про розташування пікетів.

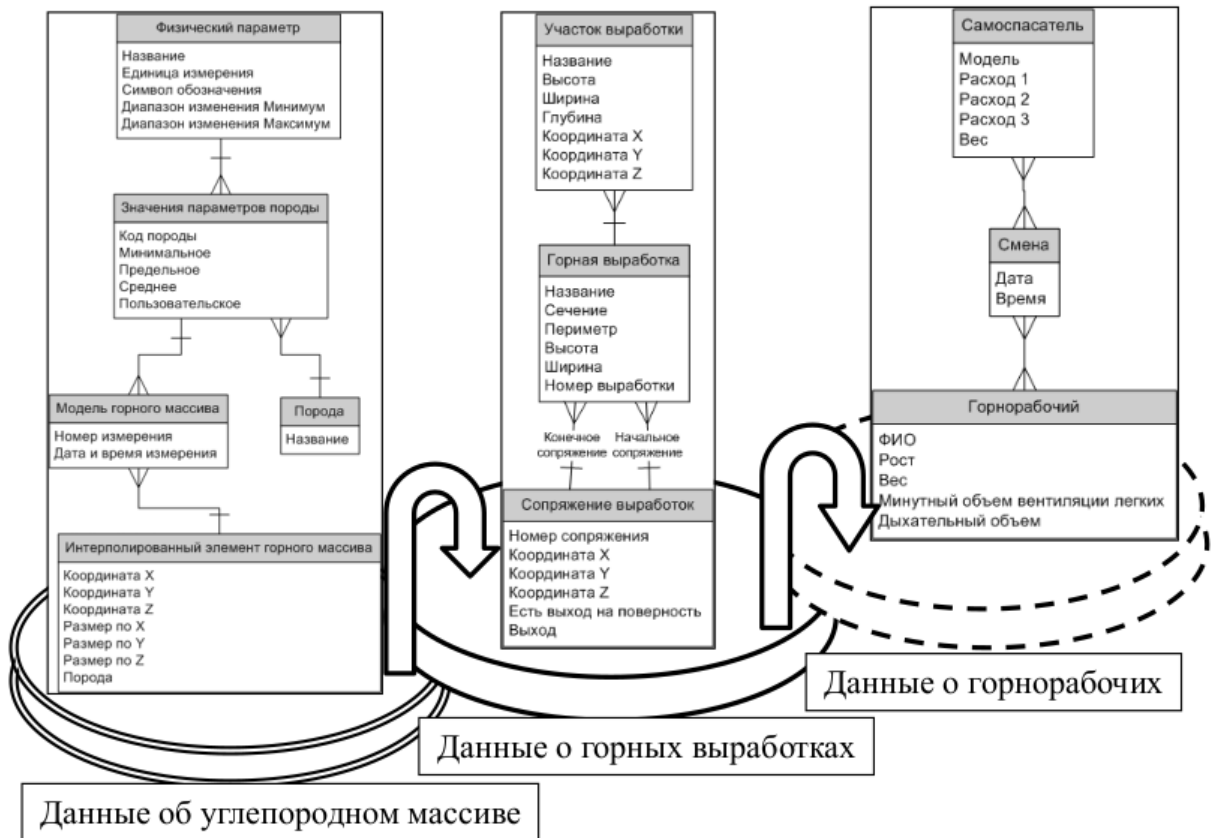


Рис.5 - Вітрина сховища даних про вугільній шахті

При побудові сховища даних виникає необхідність в обробці тимчасових даних, для чого потрібне використання ефективного методу аналізу даних, що дозволяє працювати з декількома тимчасовим зрізами і підтримувати актуальний стан моделі в окремій суті. В даному випадку, доцільно використовувати OLAP-технологію, яка дозволяє агрегувати просторові-атрибутивні відомості і представити їх у вигляді багатовимірного гіперкуба даних. Оскільки результати запиту (агрегати) будуть необхідні на стадії проведення аналізу, їх необхідно зберігати в окремих Табл.х сховища даних. Це збільшить швидкодію роботи за рахунок збільшення обсягу займаного місця, що в цілому збільшить ефективність роботи системи. Таким чином, доцільно застосовувати гібридну технологію OLAP (HOLAP), яка використовує реляційні таблиці для зберігання базових даних і багатовимірні таблиці для агрегатів.

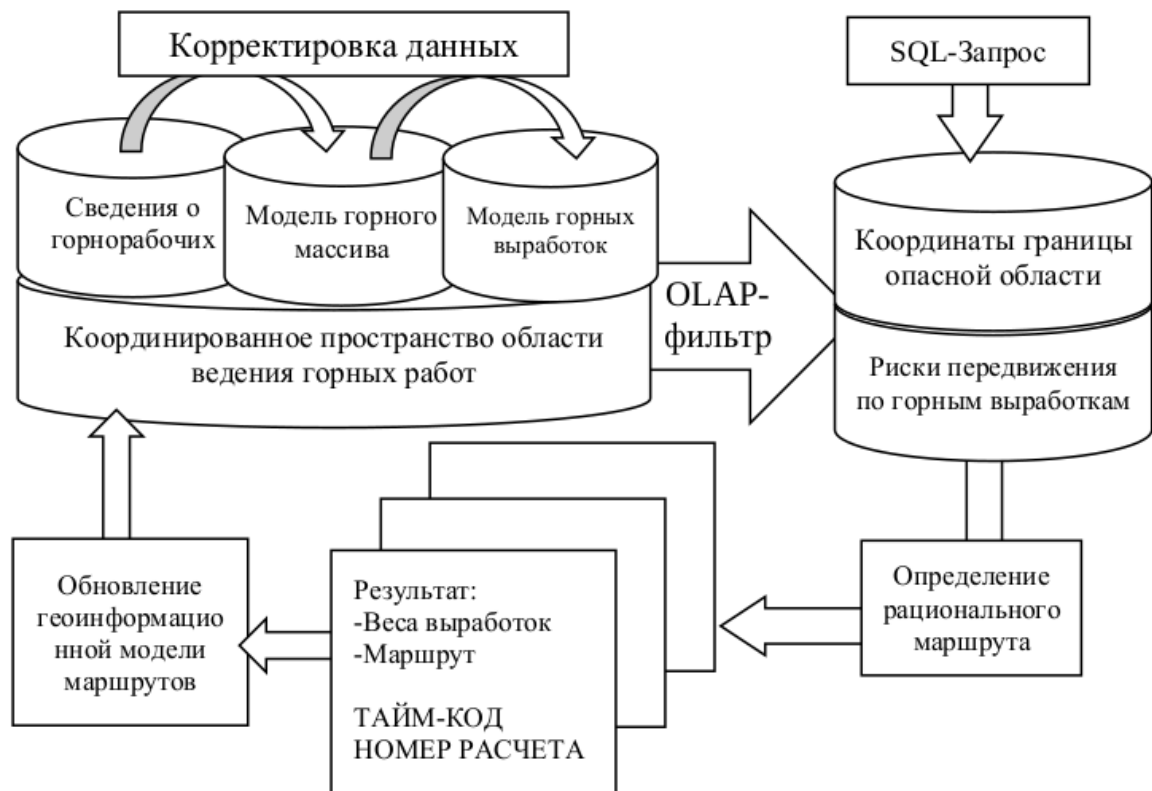


Рис.6 – Модель тимчасового сховища даних маршрутів евакуації

З кожним агрегатом, відповідно до тимчасового технологією зберігання даних, зберігається тайм-код і номер розрахунку - це забезпечить можливість механізмам СУБД зіставляти агрегати між собою для побудови актуалізованої моделі. Сховища даних, завдяки реалізованій технології HОLAP, забезпечать можливість створення вітрин даних, кожна з яких представляє собою зріз даних по OLAP-гіперкуби, що містять оновлені відомості для побудови маршруту.

Після того як сформоване сховище даних починається другий етап - інтерполяція геологорозвідувальних свердловин. Метою цього етапу є побудова тривимірної моделі вуглепородного масиву на основі масиву розвідувальних даних (рис.7).

Геологічні розвідувальні роботи не дозволяють отримати повні відомості про вуглепородному масиві: по-перше, вартість докладної розвідки висока, а по-друге, навіть у разі докладної розвідки розташування пластів породи між розвідувальними свердловинами буде невідомо.

Для заповнення відсутніх атрибутівних даних доцільно використання просторової інтерполяції. В якості методу для інтерполяції геометрії пластів

був обраний метод зворотних зважених відстаней (IDW). Ідея цього методу полягає в зменшенні ваги в міру збільшення відстані від невідомої крапки:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot Z(S_i), \quad (2.1)$$

де $\hat{Z}$ - шукане значення для точки S_0 ;

λ_i - ваги, присвоєні кожній опорній точці, з числа тих, які будуть використані в обчисленнях. Ці ваги зменшуються з відстанню;

$Z(S_i)$ - відоме значення в точці S_i ;

N - число опорних точок, що знаходяться в околиці шуканої точки і використовуваних в обчисленнях.

Ваги визначаються за такою формулою:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad (2.2)$$

де: d_{i0} - це відстань між шуканою точкою S_0 , і i -тої опорною точкою, S_i .

Зі збільшенням відстані вага зменшується за рахунок коефіцієнта p .

Параметр ступеня p впливає на присвоєння ваг опорних точках; це означає, що в міру того, як збільшується відстань між опорними точками і шуканою точкою, вплив (або вага), яке опорна точка буде надавати на потрібну точку, зменшується по експоненті.

Сума ваг опорних точок, які будуть використані при виконанні інтерполяції, повинна дорівнювати 1:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (2.3)$$

Оптимальне значення p визначається шляхом мінімізації середньоквадратичної помилки обчислень (RMSPE). Значення середньоквадратичної помилки є статистичною величиною і розраховується при перехресній перевірці. При перехресній перевірці кожна опорна точка виключається з обчислень і порівнюється з проінтерполірованим значенням для цього місця розташування.

Для підвищення точності тривимірної моделі інтерполюються і фізико-механічні властивості: замість усереднення значень коефіцієнта Пуассона і модуля пружності для всього пласта здійснюється усереднення по найближчих виробках. Відповідно для коефіцієнта Пуассона:

$$\nu_k(\vec{r}) = \frac{\sum_i^{n_k} \nu_i \lambda_i}{n_k}. \quad (2.4)$$

Для модуля пружності:

$$E_k(\vec{r}) = \frac{\sum_i^{n_k} E_i \lambda_i}{n_k}, \quad (2.5)$$

де $\vec{r}$ – радіус вектор,

n – кількість найближчих розвідувальних свердловин від інтерпольованої елемента k .

Додатково при моделюванні застосовується ряд правил і припущень:

- простір між розвідувальними свердловинами займає порода, тобто нехтується ймовірність наявності тектонічних порушень в пласті;
- моделюються пласти вважаються пологими, тобто кут падіння пласта не може перевищувати 30 градусів;
- прошарку менше десяти сантиметрів не враховуються;
- порода вважається однорідної і ізотропного.

В результаті формується тривимірна модель углепородного пласта, отримана за допомогою інтерполяції геологорозвідувальних свердловин (рис.7).

На третьому етапі здійснюється побудова дискретної моделі гірничих виробок. Обробляються вузлові дані (координати) і дані про сполученні гірських виробок (початковий і кінцевий вузол вироблення).

Гірничі виробки структуруються і перетворюються в вид неорієнтованого зваженого графа. Для зручності роботи з графом доцільно його візуалізувати (рис. 8). Для візуалізації дискретної моделі був застосований алгоритм

розгортання графів Ейджеса. Вершини графа G розглядаються як сталеві кулі, з'єднані пружинами.

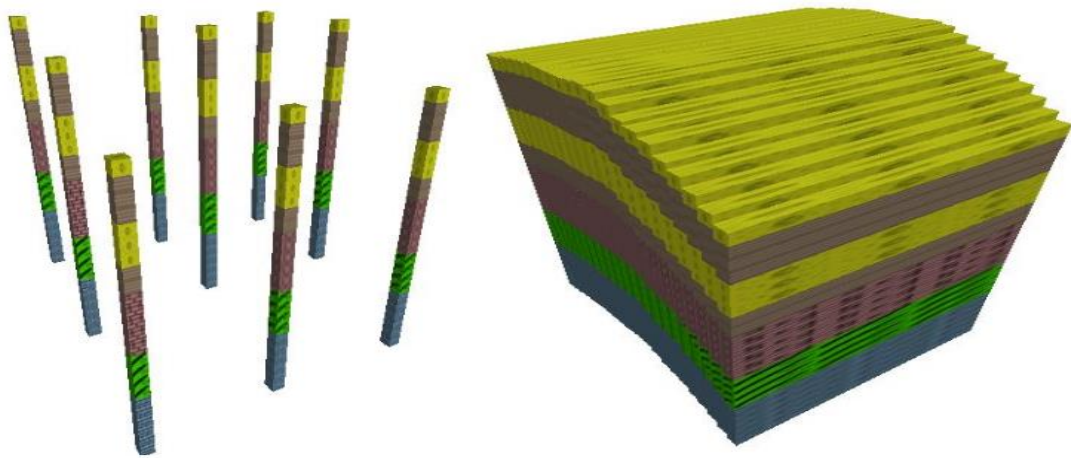


Рис.7 - Інтерполяція розвідувальних даних

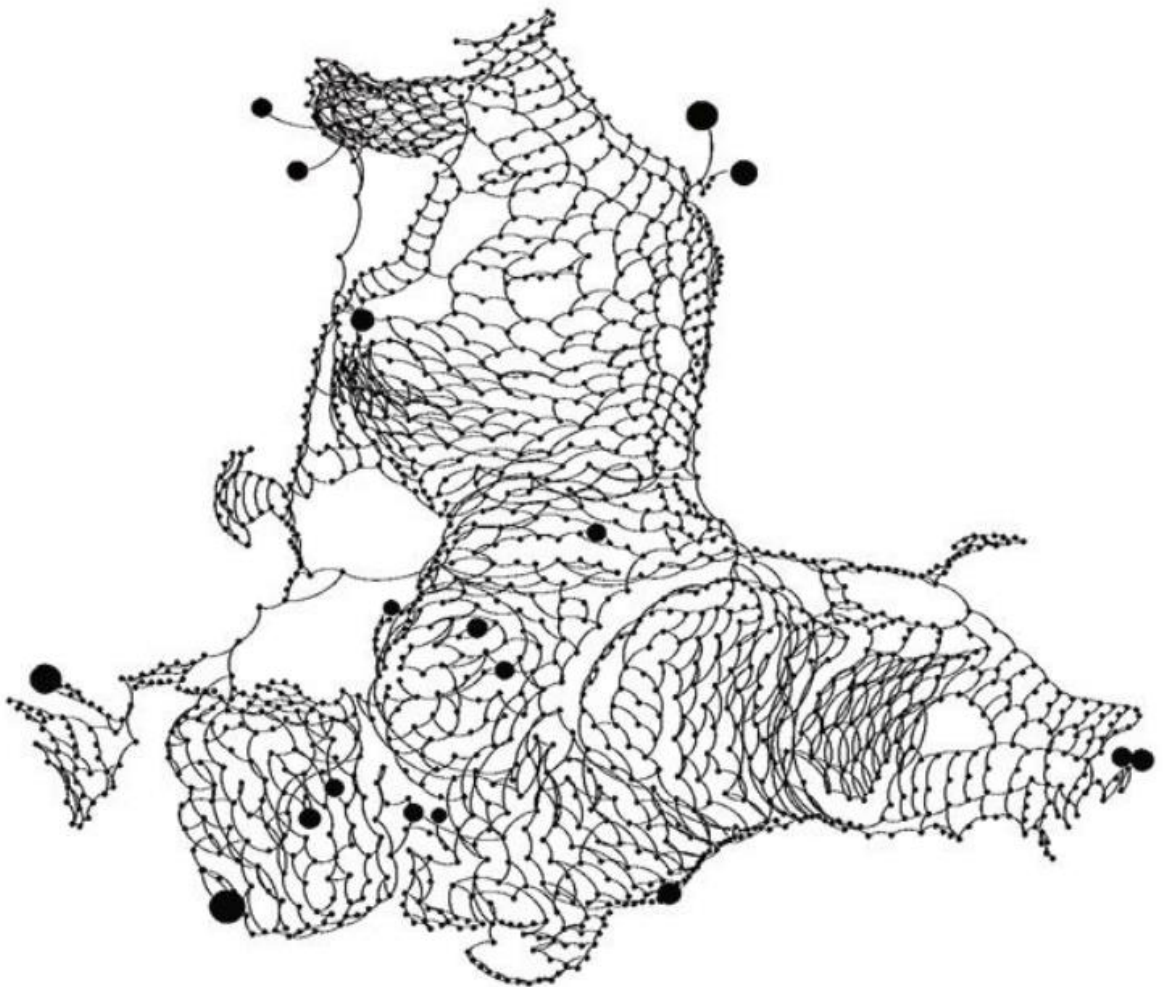


Рис.8 - Візуалізація дискретної моделі виробок

Позиція кожної вершини описується вектором p

$$f_{\text{пруж}}(p_u, p_v) = c_{\text{пруж}} \log \frac{\|p_u - p_v\|}{l} \overrightarrow{p_u \cdot p_v}, \quad (2.6)$$

де l – «ідеальна довжина» пружини.

У моделі вважається, що на кожну пару вершин, пов'язаних ребром діє сила пружини, а на кожну пару несуміжних вершин діє сила відштовхування.

$$f_{\text{отталк}}(p_u, p_v) = \frac{c_{\text{отталк}}}{\|p_u - p_v\|^2} \overrightarrow{p_u \cdot p_v}, \quad (2.7)$$

$c_{\text{пруж}}$, $c_{\text{отталк}}$ - настроювані коефіцієнти.

Після побудови просторово-атрибутивної моделі гірничих виробок необхідно провести аналіз напружено-деформованого аналізу для визначення зон з граничним напруженням.

2.3 Кінцево-елементна модель ослабленого масиву

У теоретичному плані гірська геомеханіка ґрунтується на принципах механіки деформованого твердого тіла. Тому при вирішенні задачі деформування гірських порід використовуються основні співвідношення лінійної теорії пружності.

Постановка завдання визначення ПДВ масиву гірських порід

Для вирішення просторової задачі деформування вуглепородного масиву в околиці сполучень гірських вироблень сформулюємо пряму задачу теорії пружності: за заданими умовами на поверхні тіла (задані поверхневі сили або переміщення граничної поверхні тіла) визначити тензори напружень і деформацій в будь-якій точці тіла і поле переміщень граничних і внутрішніх точок.

Позначимо T_a - тензор напружень, T_ε - тензор деформацій:

$$T_\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{Bmatrix}, T_\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x & 0.5\gamma_{xy} & 0.5\gamma_{xz} \\ 0.5\gamma_{xy} & \varepsilon_y & 0.5\gamma_{yz} \\ 0.5\gamma_{xz} & 0.5\gamma_{yz} & \varepsilon_z \end{Bmatrix}. \quad (2.8)$$

Позначимо Div - дивергенцію векторного поля a в точці x, y, z , ∇ - оператор диференціювання по координатах x, y, z :

$$\text{Div } a = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z}, \quad \nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}. \quad (2.9)$$

Розглянемо нескінченно малий об'ємний елемент. Для вирішення поставленого завдання застосовуються три групи рівнянь механіки суцільного середовища :

- статичні - рівняння рівноваги

$$\text{div } T_\sigma + P = 0 \quad (2.10)$$

де $\text{div } T_\sigma$ - дивергенція векторного поля T_σ ;

P - розподілені (об'ємні) сили.

Рівняння рівноваги (2.10) повинні виконуватися в будь-якій внутрішній точці тіла. Крім того, необхідно врахувати умови рівноваги на кордоні тіла

$$U|_\Gamma = U_0 \quad (2.11)$$

Де U - переміщення на кордоні тіла (Γ);

- геометричні - рівняння спільності і безперервності деформацій:

$$T_\varepsilon = \nabla U \quad (2.12)$$

- фізичні - рівняння, що зв'язують компоненти напруги і деформацій, відповідні зміни форми

$$T_\sigma = D T_\varepsilon \quad (2.13)$$

де D - матриця пружності, в якій фізичні властивості тіла задаються двома пружними характеристиками постійними у всіх точках ізотропного тіла: модулем поздовжньої або поперечної пружності μ коефіцієнтом поперечного розширення ν . В разі анізотропного тіла пружні характеристики, змінюються при переході від однієї точки до іншої, є функціями координат точки [34].

Існують наступні аналітичні методи вирішення наведених груп рівнянь:

- метод переміщень - за невідомих приймаються переміщення:

$$u = f_1(x, y, z), v = f_2(x, y, z), w = f_3(x, y, z). \quad (2.14)$$

Для того, щоб знайти значення u, v, w необхідно в фізичні рівняння підставити геометричні співвідношення та потім отримані вирази підставити в рівняння рівноваги. В результаті чого матимемо:

$$\psi_1(u, v, w) = 0, \psi_2(u, v, w) = 0, \psi_3(u, v, w) = 0. \quad (2.15)$$

метод сил - за невідомих приймаються напруги:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \Phi_1(x, y, z), \sigma_y = \Phi_2(x, y, z), \sigma_z = \Phi_3(x, y, z), \\ \tau_{xy} &= \Phi_4(x, y, z), \tau_{yz} = \Phi_5(x, y, z), \tau_{zx} = \Phi_6(x, y, z). \end{aligned} \quad (2.16)$$

Для знаходження рішення використовуються рівняння нерозривності деформацій. За допомогою статичних і геометричних рівнянь можна отримати рівняння в формі:

$$F_1(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}) = 0, \dots, F_6(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}) = 0 \quad (2.17)$$

- змішаний метод - за невідомих приймаються деякі переміщення і деякі напруги.

У даній роботі використовувався метод переміщень. Точне рішення прямої задачі полягає в безпосередньому інтегруванні рівнянь (2.15). Основні труднощі полягають в точному задоволенні рішення (2.14) граничним умовам (2.11). Тому для знаходження рішення з заданим ступенем точності можна використовувати наближені методи.

Застосування методу скінченних елементів для розрахунку ПДВ вуглепородного масиву

Найбільш адаптивним до умов даного завдання є метод кінцевих елементів, який дозволяє описувати об'єкти складної конфігурації шляхом накладення нерівномірної сітки, а також враховувати слоистість нелінійного масиву гірських порід. Крім того, МСЕ характеризується хорошими чисельними характеристиками матриць, так як отримується в процесі

вирішення матриця системи лінійних алгебраїчних рівнянь є розрядженою матрицею стрічкового типу, що істотно прискорює процедуру вирішення системи рівнянь і зменшує обсяг необхідної оперативної пам'яті.

Метод скінченних елементів (МСЕ) є ефективним чисельним методом для вирішення широкого кола крайових задач механіки суцільного середовища [32]. Слід зазначити такі можливості МСЕ, як розрахунок ПДВ тел з декількох матеріалів з нерегулярними кордонами, згущення сітки в місцях очікуваної концентрації напруг, облік різних граничних умов. Крім того, МСЕ досить просто можна адаптувати до складної форми системи пересічних гірничих виробок шляхом відповідного розбиття.

МСЕ заснований на заміні досліджуваного об'єкта сукупністю кінцевого числа дискретних елементів, пов'язаних між собою у вузлах. У вузлах елементів визначаються залежно між зусиллями і переміщеннями. Потім складається і вирішується система алгебраїчних рівнянь, і визначаються компоненти напружено-деформованого стану об'єкта.

Для вирішення просторової задачі визначення ПДВ вуглепородного масиву використовується диференціальні рівняння рівноваги, співвідношення, що зв'язують деформації з переміщеннями і рівняння стану матеріалу. Крім того, для будь-якого тіла, що має кінцеві розміри, системи рівнянь доповнюються граничними умовами.

Для диференціальних рівнянь, що зв'язують деформації з переміщеннями (2.12), при вирішенні завдання МСЕ необхідно враховувати, що рух тіла виділяється як тверде ціле. Вирази для деформацій не містять такого руху, однак воно фігурує в переміщеннях. Отже, при визначенні деформацій шляхом диференціювання переміщень з співвідношень виключається рух тіла як твердого цілого.

Так як звичайно-елементна модель будується на основі поставлених априорі функцій переміщення, то кількість незалежних параметрів, за допомогою яких описується деформований стан в елементі, менша за кількість параметрів, які задають переміщення на число ступенів свободи елемента як твердого тіла.

З іншого боку, в тривимірних задачах шість компонент деформації виражаються через три компоненти переміщення. Отже, ні в одному з цих випадків рівняння (2.12) не мають єдиного рішення.

Необхідні додаткові рівняння, які можна вивести з умови спільності, з урахуванням того, що компоненти переміщення повинні бути однозначними безперервними функціями. Для цього досить послідовно продиференціювати U_{xy} по x і по y , U_{yx} по y і по x , U_{xz} по x і по z , що призведе до системи з шести рівнянь виду.

$$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2}. \quad (2.18)$$

Рівняння стану для матеріалу (2.13), які в даному випадку відносяться лише до механічних характеристик матеріалу, задаються шляхом зазначення повного набору коефіцієнтів, що пов'язують кожен компоненту напруги з усіма компонентами деформацій. Потім, з міркувань симетрії і обліку властивостей матеріалу число коефіцієнтів зменшують таким чином, щоб вони відповідали відповідним механічним характеристикам середовища. Для побудови залежностей складається матриця жорсткості матеріалу $[D]$. Важливою властивістю матриці жорсткості матеріалу є її симетричність.

На другому етапі задаються навантаження, джерела, характеристики матеріалів і інші величини, які дозволяють обчислити елементарні матриці. Потім з елементарних матриць будується глобальна матриця жорсткості. Граничні умови задаються по утворюючим фігури і враховуються при складанні глобальної матриці. 1. Функції зміщення. На рис. 9 зображений тетраедральний елемент $iklr$ з координатами x , y і z . 2. Зміщення в точці визначається за допомогою трьох компонентів зсуву u , v і w в напрямку трьох координат x , y і z .

$$f = \{u, v, w\}^T \quad (2.19)$$

Лінійні зміни описуються за допомогою чотирьох вузлових величин (рис. 9).

Прирівнюючи величини зсуву в вузлах, отримуємо 4 рівняння:

$$\begin{aligned}
u_1 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1 + \alpha_4 z_1 \\
u_2 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2 + \alpha_4 z_2 \\
u_3 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_3 + \alpha_3 y_3 + \alpha_4 z_3 \\
u_4 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_4 + \alpha_3 y_4 + \alpha_4 z_4
\end{aligned} \tag{2.20}$$

Звідси можна знайти a_1, a_2, a_3, a_4 . Це рішення може бути записано за допомогою визначника.

$$u = \{(a_i + b_i x + c_i y + d_i z)u_i + (a_k + b_k x + c_k y + d_k z)u_k + (a_l + b_l x + c_l y + d_l z)u_l + (a_p + b_p x + c_p y + d_p z)u_p\} / (6V), \tag{2.21}$$

де

$$V = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i & z_i \\ 1 & x_k & y_k & z_k \\ 1 & x_l & y_l & z_l \\ 1 & x_p & y_p & z_p \end{vmatrix} \tag{2.22}$$

Величина V являє собою обсяг тетраедра. Розкриваючи відповідно визначники в формі їх алгебраїчних доповнень, де інші постійні визначаються за допомогою щеліческой перестановки індексів в послідовності i, k, l, p отримуємо:

$$\begin{aligned}
a_i &= \det \begin{vmatrix} x_k & y_k & z_k \\ x_l & y_l & z_l \\ x_p & y_p & z_p \end{vmatrix}, \quad b_i = -\det \begin{vmatrix} 1 & y_k & z_k \\ 1 & y_l & z_l \\ 1 & y_p & z_p \end{vmatrix}, \\
c_i &= \det \begin{vmatrix} x_k & 1 & z_k \\ x_l & 1 & z_l \\ x_p & 1 & z_p \end{vmatrix}, \quad d_i = \det \begin{vmatrix} x_k & y_k & 1 \\ x_l & y_l & 1 \\ x_p & y_p & 1 \end{vmatrix}.
\end{aligned} \tag{2.23}$$

Послідовність найменування вузлів i, k, l, p слід правилу «правої руки». Відповідно до нього перші три вузли отримують індекси в напрямку проти годинникової стрілки, якщо вести відлік від останнього вузла.

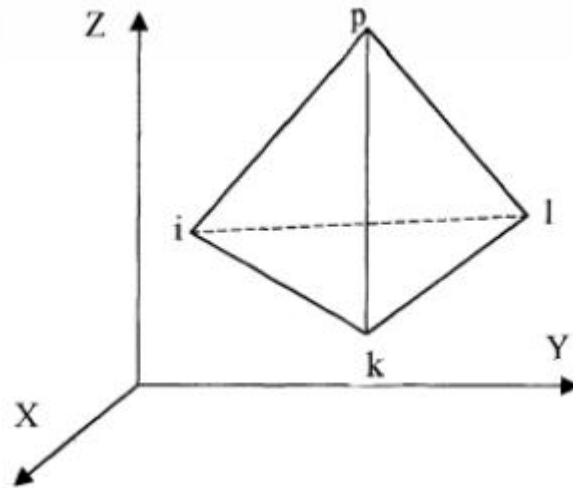


Рис.9 - Просторовий елемент у формі тетраедра

Зсув елемента знаходимо за допомогою дванадцяти компонентів зміщення:

$$\{\delta\} = \{\delta_i \delta_k \delta_l \delta_p\}^T \quad (2.24)$$

$$\text{где } \{\delta_i\} = \{u_i v_i w_i\}^T$$

$$\{\delta_k\} = \{u_k v_k w_k\}^T$$

$$\{\delta_l\} = \{u_l v_l w_l\}^T$$

$$\{\delta_p\} = \{u_p v_p w_p\}^T$$

Зсув довільної точки записується в такий спосіб:

$$\{f\} = [EN_i, EN_k, EN_l, EN_p]\{\delta\}, \quad (2.25)$$

де E - Зсув довільної точки записується в такий спосіб: є одинична матриця 3x3, а скаляри визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} N_i &= (a_i + b_i x + c_i y + d_i z)/6V \\ N_k &= (a_k + b_k x + c_k y + d_k z)/6V \\ N_l &= (a_l + b_l x + c_l y + d_l z)/6V \\ N_p &= (a_p + b_p x + c_p y + d_p z)/6V \end{aligned} \quad (2.26)$$

Використовувані функції зсуву в цьому випадку задовольняють вимогам безперервності на зовнішній поверхні між різними елементами. Це є прямим наслідком лінійного характеру зміни зміщення.

2. Матриця деформації. У тривимірному випадку для повного вирішення досить розглянути 6 компонентів деформації. Матриця деформації, слідуючи стандартним позначенням, може бути визначена так:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial v / \partial y \\ \partial w / \partial z \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} \quad (2.27)$$

За допомогою рівнянь (2.19) - (2.22) можна встановити зв'язок між компонентами зсувів і деформації:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{\delta\} = [B_i \ B_k \ B_l \ B_p]\{\delta\}, \quad (2.28)$$

$$\text{где } [B_i] = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} b_i & 0 & 0 \\ 0 & c_i & 0 \\ 0 & 0 & d_i \\ c_i & b_i & 0 \\ 0 & d_i & c_i \\ d_i & 0 & b_i \end{bmatrix}. \quad (2.29)$$

Інші матриці виходять таким же чином, міняючи місцями потрібні індекси. Початкові деформації записані в звичайній формі як вектор з шістьма компонентами.

3. Матриця жорсткості матеріалу. У повністю анізотропном стані матриця $[B]$, що виражає відношення шести компонентів напруги до компонентів деформації, може містити 21 незалежну постійну. Для ізотропного матеріалу матриця $[D]$ записується за допомогою постійних E - модуль деформації і ν - коефіцієнт Пуассона. У загальному випадку маємо:

$$\{\sigma\} = \{\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{xy} \ \tau_{yz} \ \tau_{xz}\}^T = [D](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}). \quad (2.30)$$

Матриця жорсткості напруги і навантаження. Матриці жорсткості елементів можуть бути явно проінтегровані, так як компоненти напруги і деформації в елементі постійні і, отже, можуть бути винесені за знак інтеграла.

Таким чином, матриця жорсткості елемента визначається як:

$$[k] = \int_V [B]^T [D] [B] dV = [B]^T [D] [B] \int_V dV = [B]^T [D] [B] V, (2.31)$$

V - обсяг елементарного тетраедра.

Вузлові сили, що виникають в результаті початкової деформації, визначаються в такий спосіб:

$$\{F\}_{\varepsilon 0} = -[B]^T [D] \{\varepsilon_0\} V (2.32)$$

Розподілені масові сили знову можна уявити в функції їх компонентів X , Y , Z або в функції потенціалу сили. Причому, якщо масові сили постійні, то вузлові компоненти загальної рівнодіючої сили виявляться розподіленими на чотири рівні частини.

Глобальна матриця жорсткості. Глобальна матриця жорсткості $[K]$ виходить підсумовуванням матриць жорсткості елементів $[k]$:

$$[K] = \sum [k] (2.33)$$

Напруги і деформації. Деформації через вузлові переміщення обчислюються наступним чином:

$$\{\varepsilon\} = [B] \{U\} (2.34)$$

Напруження в елементах обчислюються за законом Гука:

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\} - [D] \{\varepsilon_0\} (2.35)$$

З урахуванням формули (2.34) напруги можуть бути виражені через вузлові переміщення:

$$\{\sigma\} = [D] [B] \{U\} - [D] \{\varepsilon_0\} (2.35)$$

— За результатами пружного рішення можна виконати аналіз просторового ПДВ вуглепородного масиву і обчислити січні характеристики, що зв'язують повні напруги і деформації.

— Програмний комплекс, який використовується при моделюванні дозволяє розраховувати напружено деформований стан вуглепородного масиву з урахуванням положення секції механізованого кріплення по довжині

виїмкового стовпа з метою вивчення виникнення зон підвищеного гірського тиску для запобігання аварійних і надзвичайних ситуацій в очисних вибоях вугільних шахт. Послідовність роботи компонентів програмного комплексу представлена на рис.10 і включає в себе:

- створення структурної моделі для МСЕ;
- завантаження вихідних даних відповідно до структурної моделі;
- перенумерація вузлів для оптимізації розрахунків;
- формування локальних матриць напрямки і величини сил;
- збірка глобальної матриці сил;
- складання СЛАР, підготовка до вирішення МСЕ;
- рішення СЛАР, знаходження коренів;
- висновок результатів в файл stress.lua.

Програми комплексу розроблені на мові C++ в середовищі Borland Builder і підтримують відкритий код, що забезпечує простоту його супроводу і розвитку. За базу даних програмного комплексу використовується система структурованих текстових файлів.

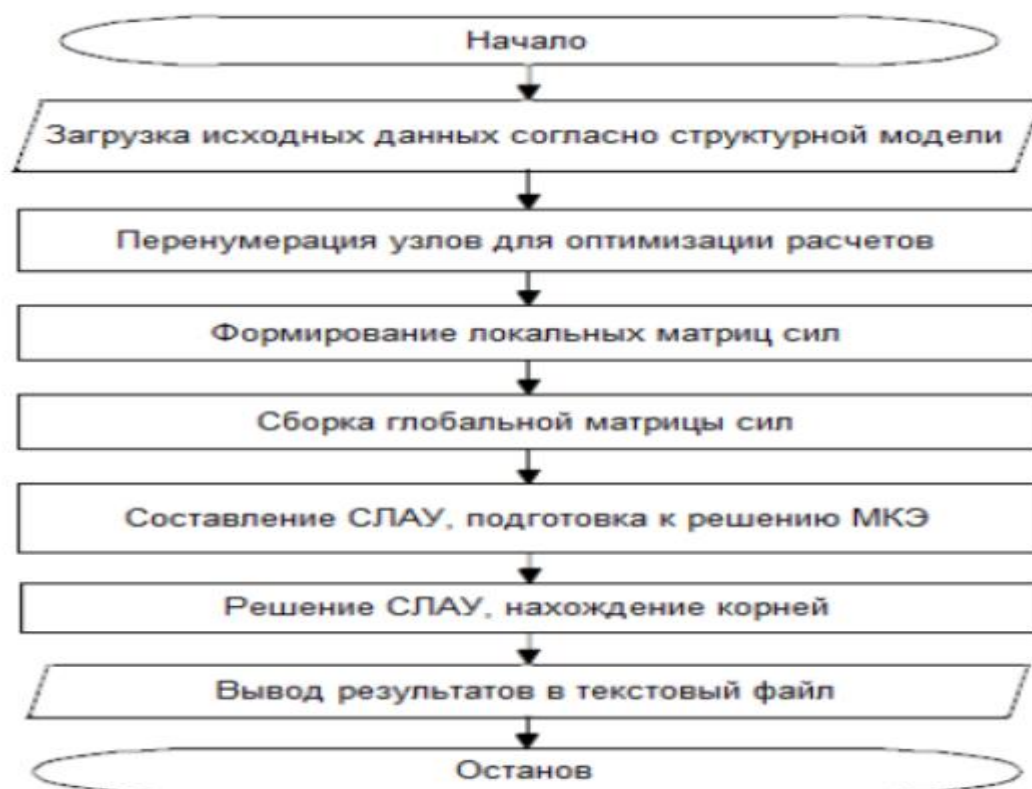


Рис.10 - Алгоритм роботи програмного комплексу

Комплекс «Композит НК» містить наступні компоненти:

- палітра системи візуального програмування;
- інтерпретатор мови «Ядро»;
- процесор підсистеми візуального програмування;
- програма формування звітів;
- довідкова підсистема підтримки відкритого коду;
- дані на мові «Ядро» для формування кінцево-елементної моделі сітчастої анізотропної конструкції регулярної структури.

Комплекс «Композит НК» надає кошти як для проведення типових розрахунків, не пов'язаних з розширенням або модифікацією програмного коду, так і для вирішення завдань підвищеної складності, що вимагають зміни відкритого коду: додавання візуальних панелей і (або) реалізації функціональних об'єктів на мові C++ .

Рішення типових задач, алгоритми яких передбачені в складі комплексу «Композит НК», полягає в підготовці тексту вихідних даних на вхідній мові «Ядро», їх трансляції в форму текстових таблиць, проведення розрахунку та формуванні звітів, що містять результати, для подальшої обробки звітів стандартними засобами машинної наукової графіки.

2.4 Знаходження областей небезпечної напруги в околицях гірських виробок

Для аналізу вуглепородного масиву, був використана методика розрахунку параметрів нестационарного стану вуглепородного масиву в околиці очисного забою. В основу цієї методики лежить розрахунок напружено-деформованого стану методом кінцевих елементів.

Однією зі складових методу скінченних елементів є підготовча процедура створення триангуляційної мережі, яка виконується в напіваавтоматичному режимі за допомогою сіткового редактора. В результаті створюється матрична модель жорсткості елементів, яка входить до складу програмного комплексу «Композит-НК» для розрахунку ПДВ стану вуглепородного масиву. В якості вихідних даних використовуються такі показники як модуль пружності матеріалу і коефіцієнт Пуассона. Принцип відкритої архітектури, що

реалізується в інформаційній системі, дозволяє замінити логіку, що описує поведінку масиву на іншу, найбільш адекватну для конкретного вуглепородного масиву. Для сполучення з іншими частинами програмного комплексу «Композит-НК» використовує набір структурованих файлів.

Рішення типових задач, алгоритми яких передбачені в складі комплексу «Композит НК», полягає в підготовці тексту вихідних даних на вхідній мові «Ядро», їх трансляції в форму текстових таблиць, проведення розрахунку та формуванні звітів, що містять результати, для подальшої обробки звітів стандартними засобами машинної наукової графіки.

Вихідні дані для проведення типового розрахунку представляють собою набір таблиць з числовими даними, що описують розрахункову модель: її топологію, геометрію, внутрішню структуру, характеристики матеріалів, кінематику і впливу.

На даний момент дані про модель можуть бути підготовлені тільки безпосереднім створенням текстових файлів і трансляцією даних, написаних на спеціалізованій мові «Ядро». Цей спосіб не зручний в зв'язку з трудомісткістю і неочевидністю представлення даних. У зв'язку з цим було прийнято рішення про створення тривимірного графічного редактора для генерації вихідних файлів. Таблиці вихідних даних про моделі для комплексу «Композит НК» перераховані в таблиці 4.

Для побудови тривимірної моделі було запропоновано використовувати сучасні інформаційні технології в області тривимірного моделювання.

Вихідні дані ПК "Композит НК"

Табл. 4

№	Наименование	Имя файла
1.	Коды перемещений	param.txt
2.	Координаты узлов	coord.txt
3.	Коды закреплений	ng.txt
4.	Ориентация	orient.txt
5.	Узловые силы	q.txt
6.	Начальные перемещения	u.txt
7.	Типы элементов	typelt.txt
8.	Топология	top.txt
9.	Местные оси	cm.txt
10.	Сечения и армирование	SecantData.txt
11.	Эксцентриситеты	excentr.txt
12.	Распределенные нагрузки	QVolumeMCK.txt
13.	Характеристики материалов	matdata.txt

Після проведення порівняльного аналізу існуючих візуалізаторів [64] було прийнято рішення використовувати пакет Unity3D.

На основі програмного пакету тривимірного моделювання була розроблена система, що дозволяє в тривимірному просторі задати координати вузлів і встановити відповідність між вузлами і елементами (рис. 11). Для цього були розроблені маніпулятори - куб і сфера. Куб характеризує вузол елемента. Відповідно, кожному вузлу зіставляється екземпляр класу, що описує характеристики вузла, які повинні знаходитися в файлах для побудови вихідної моделі: значення ступенів свободи (переміщень); закріплень; орієнтація осей; значення зосереджених сил і моментів сил, прикладених до вузлів; значення заданих переміщень вузлів. Сфера - це маніпулятор, який описує кінцевий елемент. За допомогою елементів графічного елементу можна задати вузли, що належать цьому елементу (топологію), вказати напрямок локальних осей елемента, эксцентриситети і дані про перетині.

В результаті формуються 13 файлів, який можна використовувати в якості вихідних даних для програмного комплексу «Композит-НК».

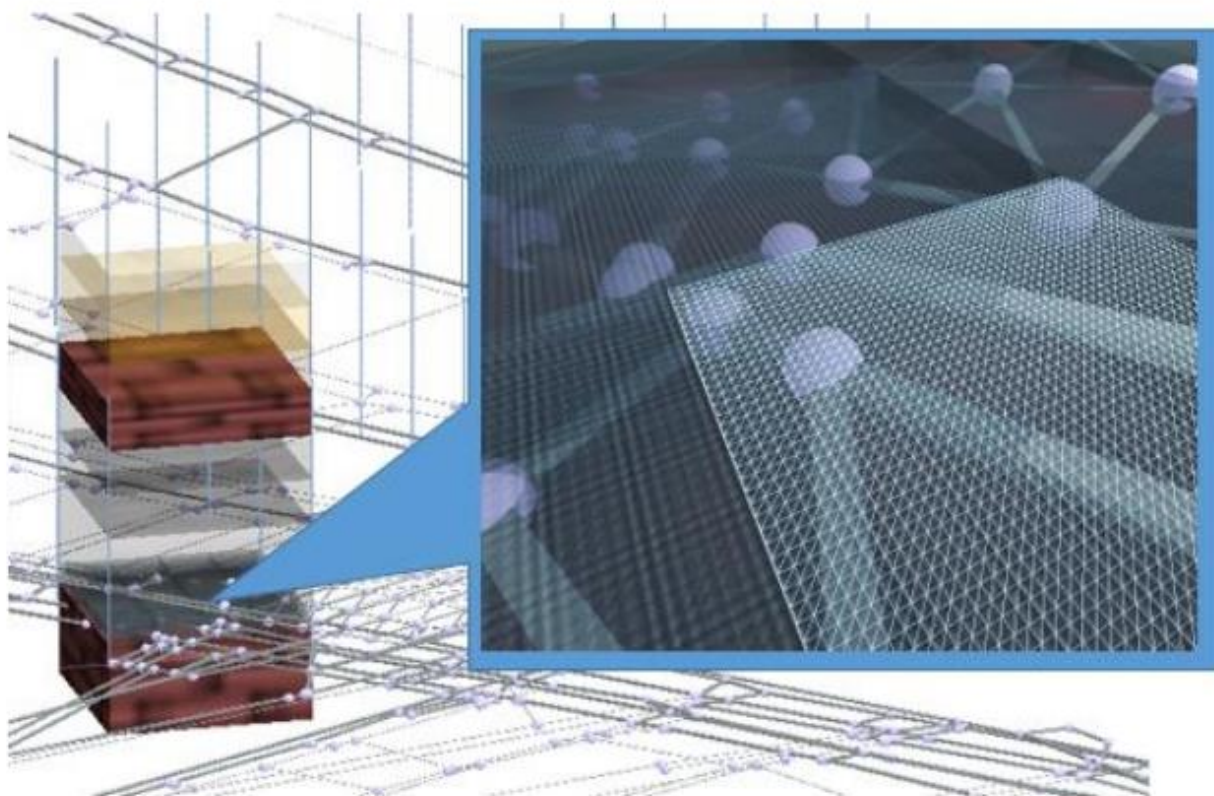


Рис.11 – Приклад розбиття вугільного пласта на кінцеві елементи

В результаті роботи програмного комплексу «Композит-НК» формуються масиви даних, що описують напруги в кінцевих елементах породного масиву покрівлі в очисній виробці. В основі розрахункової частини лежить метод кінцевих елементів.

Отримані в результаті відомості описують значення показників зміщення і напруги в гірському континуумі. Для аналізу і візуалізації досліджуваної області гірського масиву, використовуються пояснення з інтерпретацією отриманих результатів. Наприклад, в разі, якщо напруга в породі перевищило критичне значення - це говорить про появу тріщин в покрівлі пласта. Реалізований в методі спосіб представлення даних у вигляді тривимірного комп'ютерного зображення дозволяє ефективно оцінити умови безпеки ведення очисних робіт.

У програмі існує можливість зміни ракурсу і вільного пересування по сцені з побудованої тривимірною моделлю, що дозволяє користувачеві з'ясувати всі необхідні відомості про будь-яких ділянках вуглепородного масиву, представленого в моделі.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих математичних моделей в галузі гірничої справи показав, що для оцінки безпеки ведення гірських робіт в аспекті напружено-деформованого стану вуглепородного масиву застосовується широкий спектр різних аналітичних алгоритмів, вибір яких залежить від умов ведення робіт на конкретному вугільному підприємстві.

Найбільш зручним для вирішення задачі розрахунку напружено - деформованого стану вуглепородного масиву представляється метод кінцевих елементів, що дозволяє детально описати неоднорідну структуру гірського масиву. У теоретичному плані гірська геомеханіка ґрунтується на принципах механіки деформованого твердого тіла, тому при вирішенні задачі деформування гірських порід використовуються основні співвідношення лінійної теорії пружності.

У зв'язку з необхідністю в високого ступеня гнучкості математичного апарату, запропонована архітектура гірської географічної інформаційної системи з відкритими інтерфейсами для взаємодії з математичним апаратом. Для прикладу, в якості каркаса для побудови математичних моделей обраний програмний комплекс «Композит-НК», що дає можливість побудувати необхідну конфігурацію математичного апарату для аналізу досліджуваної моделі.

Пропоноване математичне забезпечення комп'ютерного моделювання процесу евакуації дозволяє здійснювати моніторинг напружено деформованого стану вуглепородного масиву і оцінювати рівень безпеки.

3 РОЗРОБКА ТА ОПИС МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ЕВАКУАЦІЇ ГІРНИЧИХ РОБІТНИКІВ, РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗНАХОДЖЕННЯ НАЙКОРОТШОГО МАРШРУТУ

3.1 Методика побудови моделі евакуації гірників

Порівняльний аналіз інформаційних систем показав, що системи не пристосовані для оперативного знаходження маршрутів і коригування маршрутів в умовах небезпечної геомеханічної ситуації і не розраховують час виходу на поверхню. У зв'язку з цим, доцільно створення власного програмного продукту для забезпечення питань мінімізації наслідків надзвичайних подій, засноване на методиці аналізу геомеханічного стану гірського масиву з метою виведення людей на поверхню.

Для створення методики було проведено вивчення існуючих технологій і алгоритмів, що використовуються в сучасних інформаційних системах забезпечення безпечної роботи на шахтах вугільних підприємств. Результат порівняння виявив, що всі системи використовують аналіз геомеханічного стану гірського масиву, що отримується на підставі даних, отриманих від спеціалізованих датчиків, що відповідають за моніторинг будь-яких властивостей: температура, тиск, сейсмічне стан, склад повітря і т.д. Оскільки процедура збору даних вирішена спочатку на кожному підприємстві, основне питання стоїть в рішенні завдання побудови тривимірної моделі, заснованої на актуальних даних, одержуваних від датчиків спільно з даними про геологічну розвідку. Це дозволить не тільки побудувати модель підземної частини гірничодобувного підприємства з високим ступенем адекватності, а й виробляти імітаційне моделювання, змінюючи бажані характеристики для отримання різних ситуацій, що в свою чергу дозволить прогнозувати зміни зон, небезпечних з точки зору геомеханічного стану породи. Для представлення результатів аналізу з високим ступенем ергономічності когнітивного сприйняття відомостей, доцільно застосовувати засоби побудови тривимірних комп'ютерних зображень. Це спрощує навігацію і змін властивостей і у окремих частин моделі (гірський масиви, вироблення і т. Д). Крім цього, в розглянутих системах застосовують геоінформаційні методи: встановлюється

зв'язок між атрибутивними даними і просторовими. Це необхідно для відстеження небезпечних зон і координації персоналу, що знаходиться всередині шахти. Однак для цих цілей, як правило, використовуються модулі GPS навігації, які не враховують кут падіння і простягання пласта. Це призводить до виникнення спотворення просторових даних, що в свою чергу, відбивається на розрахунках часу виходу з шахти.

У зв'язку з цим, для побудови моделі шахти необхідно проаналізувати дані геологічної розвідки і побудувати на їх підставі модель вуглепородного масиву. Потім на підставі даних про гірських виробках побудувати модель підземної частини гірського підприємства і поєднати з моделлю вуглепородного масиву. Після цього проаналізувати стан вуглепородного масиву і побудувати шлях виходу на поверхню, минаючи небезпечні ділянки або змінювати його в режимі реального часу, якщо на шляху виходу виникли непереборні перешкоди.

Основна ідея методики представляється у вигляді алгоритму з декількох послідовних кроків.

Побудова моделі шахти

На першому етапі здійснюється побудова моделі шахти, яка складається з трьох частин: побудова вуглепородного масиву, побудова структури підземної частини гірського підприємства. Цей етап складається з трьох послідовних частин.

Наповнення бази даних

Першим, підготовчим етапом побудови моделі є структуризація і систематизація даних. Оскільки заздалегідь відомо, що база даних буде поєднувати собі великий обсяг як вихідних, так і отриманих в результаті аналізу даних, виникає необхідність у використанні спеціальних технологій зберігання і обробки даних. Для найбільш ефективного побудови в даному випадку доцільно використовувати технологію «сховища даних». Однак перш ніж організовувати масиви даних в сховища необхідно визначити вид моделі даних, найбільший інтерес з яких (для даного дослідження) представляють наступні:

- просторові - бази даних, в якій підтримується можливість зберігання просторових атрибутів об'єктів;
- темпоральні або тимчасові - бази даних, в яких підтримується можливість зберігання хронологічній складової;
- накопичувальні - бази даних, в яких обумовлюється механізм зміни даних, при якому попередні дані про стан моделі не видаляються, а зберігаються з міткою версії.

Для проведеного дослідження необхідно використовувати метод зберігання даних заснований на комбінованому підході. Просторові дані необхідно зберігати в зашифрованому вигляді, так як відомості про розташування розвідувальних свердловин на підприємстві, а також розташування родовища корисних копалин є державною таємницею. Після проектування бази даних, відомості про розвідувальних свердловинах і гірничих виробках передаються в базу даних.

Побудова моделі вуглепородного масиву

На підставі відомості про розвідувальних геологічних даних будується модель гірського масиву. Дані про розвідувальних свердловинах інтерполюються, що дозволяє не усереднювати значення ключовим фізичними характеристиками, необхідним для дослідження (коефіцієнт пружності, модуль Пуассона) для всього пласта, а оцінити кожную область пласта за середнім значенням, отриманих за результатами лабораторного дослідження сусідніх розвідувальних свердловин.

Побудова моделі гірничих виробок

Після побудови вуглепородного масиву в базу даних передаються відомості кожної гірничій виробці: координати вузлів, периметр, перетин, розміри вироблення і інші додаткові відомості необхідні для побудови маршруту.

Візуалізація моделі

Для зручності роботи, побудована модель візуалізується у вигляді тривимірного комп'ютерного зображення. Це дозволяє налаштовувати

властивості кожного елемента моделі, домагаючись прийнятного рівня адекватності.

Аналіз напружено-деформованого стану

На цьому етапі здійснюються обчислення, необхідні для оцінки безпеки маршрутів евакуації.

Розрахунок ПДВ в вуглепородного масиву за допомогою «Композит-НК»

Основа методу скінченних елементів є підготовча процедура створення сітки, яка виконується в напівавтоматичному режимі за допомогою сіткового редактора. В результаті створюється матрична модель, яка є основою для ПК «Композит». Дані про модель експортуються в «Композит-НК», де розраховуються значення зсуву і напруги для кожного кінцевого елемента.

Аналіз отриманого ПДВ вуглепородного масиву

Після того як отримані значення ПДВ гірського масиву вони знову експортуються в базу даних. Це необхідно для виявлення небезпечних зон. Небезпека зони визначається за допомогою застосування OLAP-технології обробки даних за рахунок порівняння значення напруги з довідковим значенням граничного напруження для даної породи. про просторовий аналіз даних.

Завдяки аналізу тривимірної моделі на цьому етапі визначаються вироблення, пересування по яким в разі евакуації небезпечно або не бажано. знаходження маршруту

Побудова дискретної моделі гірничих виробок. Тривимірна модель гірських виробок перетворюється в неорієнтований зважений граф. Оскільки кінцева модель буде представлятися в вигляді двовимірного графічного зображення необхідно застосування алгоритмів «розгортання» графа для більш зручної роботи при мінімізації втрати інформативності.

Знаходження гілок, що потрапляють в зону небезпечного ПДВ. Відомості про рівень безпеки гірничих виробок переносяться на двовимірний граф. Ця підготовча процедура необхідна для побудови оптимального маршруту.

Знаходження оптимального маршруту

Граф аналізується за допомогою алгоритму Дейкстри, в результаті чого знаходиться оптимальний маршрут виходу на поверхню із забою. Існує можливість вказати кілька «початкових точок» для завчасного збереження маршрутів на випадок виникнення різних нештатних ситуацій. Розрахунок часу виходу

Обчислюється необхідний час виходу на поверхню за розрахованим маршрутом. Воно співвідноситься з часом, яке можуть забезпечити засоби індивідуального захисту. Налаштування швидкісних коефіцієнтів.

Зважаються всі гілки графа, вказуються значення швидкості пересування гірників для кожної виробки. Усунення просторового спотворення.

У касках шахтарів знаходяться GPS датчики, однак при використанні стандартних датчиків GPS-навігації виникає просторове спотворення, обумовлене кутом падіння вугільного пласта. Пропонується два способи вирішення проблеми спотворення: монокоординатний і полікоординатний.

Обчислення часу евакуації

Залежно від обраної методики та обраних настроювальних коефіцієнтів обчислюється час виходу співробітника на поверхню. У разі якщо час виходу за найкоротшим маршрутом перевищує часу витрати ресурсу саморятувальника, пропонується встановити додаткові пункти ВГК на шляху руху на поверхню. Моделювання руху співробітників.

Цей етап необхідний для моделювання виникнення нештатної ситуації в процесі руху співробітників до виходу на поверхню для знаходження альтернативного маршруту.

Аналіз часу, що залишився виходу з шахти на підставі реальної швидкості руху

На підставі умов оточення в гірських виробках, що створилися внаслідок виникнення надзвичайно ситуації, швидкість пересування співробітників в шахті може не відповідати значенням, що відповідає руху по виробленню. Цей параметр обчислюється персонально для кожного співробітника, на підставі чого обчислюється час його виходу на поверхню.

Знаходження оптимальних маршрутів в разі блокування шляху

Якщо під час виходу з маршруту з'явилося перешкоду (наприклад, руйнування або блокування у проведенні), то шлях перераховується з урахуванням обходу перешкоди.

3.2 Спосіб усунення просторового викривлення

При використанні стандартних датчиків GPS-навігації виникає просторове спотворення, обумовлене кутом падіння вугільного пласта.

Частково ці проблеми вирішуються існуючими ГІС. Для отримання більш повного вирішення пропонується кілька способів подолання проблеми спотворення. Перший спосіб - монокоординатний - полягає в перетворенні просторових даних, шляхом перенесення проєкції з площини паралельної поверхні землі на площину, паралельну простирання гірничих виробок в пласті. Це дозволить користуватися однією і тією ж системою координат для позначення простору як усередині шахти, так і на поверхні Землі. Цей спосіб зручний з точки зору використання однакових одиниць виміру в рамках єдиного простору, однак при необхідності знаходження відстані (наприклад, для обчислення часу виходу з шахти) перед основними обчисленнями (відстань між двома точками) буде потрібно робити додаткові обчислення для перетворення кожної точки, що бере участь в маршруті. Варто також відзначити, що кут може бути тривимірним, тобто додатково до кута падіння може з'явитися необхідність в обліку кута щодо простягання пласта, що також ускладнює розрахунки.

Другий спосіб - полікоординатний - полягає в побудові нової осі координат в площині простягання пласта. У цьому випадку формується "підземна карта" - новий простір зі своєю точкою початку координат і одиницями виміру. В цьому випадку для вимірювання відстані всередині гірських виробок не має на увазі додаткових перетворень, що істотно збільшить швидкість розрахунку. Недоліком даного способу є необхідність створення інтерфейсу між глобальними географічними координатами і координатами простору шахти. Цей інтерфейс являє собою вираз $S' = f(S)$, де S - це

географічні координати поверхні, а S' - координати області на підземній карті. Функція f може перебувати трьома способами:

Аппроксимирующий, аналітичний - в разі якщо існує можливість згладити площину пласта за допомогою тривимірної функції. В даному випадку залежність між операндами буде функціональною.

Адаптивний, інтелектуальний - в разі, якщо тривимірну функцію підібрати складно, або в принципі неможливо через складної конфігурації пласта доцільно застосовувати технологію навчання на базі архітектури штучної нейронної мережі. Через нейронну мережу пропускаються дані про конфігурацію пласта і відповідні координатам підземної кати - географічні координати. В результаті вийде вираз виду:

$$S(x, y, z)' = (w_1 \cdot S(x), w_2 \cdot S(y), w_3 \cdot S(z)), \quad (3.1)$$

де w_1, w_2, w_3 - підлаштовуватися, "адаптуються" коефіцієнти. У цьому випадку залежність буде стохастичною і мати методичну похибку.

Ще одна проблема, яка виникає в разі застосування полікоординатного способу, полягає в неоднорідному простягання пласта щодо поверхні. У дуже рідкісних випадках площину буде відповідати всьому простиранню пласта. Пропонується три варіанти вирішення цієї проблеми:

У разі якщо відхилення не велика - пропонується будувати «медіанне простір» - усереднюються площину, аппроксимируючу розташування пласта в просторі.

У разі якщо відхилення деяких ділянок таке, що медіанне простір не буде задовольняти бажаної точності, пропонується будувати локальні простору - розбивати площину пласта на кілька ділянок з монотонним просторовим поведінкою.

Аналітичне побудова криволінійного простору. Побудувати математичну модель пласта і описати його частини через математичні функції. Це дозволить підвищити точність обчислення відстані і часу доступу до певної точки в шахті, однак в аспекті побудови тривимірного комп'ютерного зображення для візуалізації дане рішення буде зводитися до першого або другого.

Кожен спосіб вирішення проблеми зіставлення географічних координат з локальними координатами шахти має свої переваги і недоліки. У разі, якщо не потрібно обчислювати відстані всередині гірських виробок, пласт має монотонну конфігурацію, існує необхідність в побудові зон на географічній карті, відповідних підземним зонам - рекомендується використовувати монокоординарний спосіб. У разі, якщо необхідно постійно обчислювати відстані або обсяги підземного простору, конфігурація пласта складна, а що виникає при розрахунках похибка прийнятна - рекомендується використовувати другий спосіб. У загальному випадку рекомендується використовувати комбінований метод - це дозволить вирішувати велику область завдань аналізу простору з необхідним рівнем якості.

3.3 Алгоритм знаходження маршруту евакуації

Існуючі алгоритми дозволяють визначити маршрути виходу на поверхню на етапі проектування гірничотехнічних систем, однак не дозволяють в оперативному режимі коригувати маршрут в разі виникнення нештатної ситуації, не облікованої у плані ліквідації аварій. Більшість застосовуваних алгоритмів не враховують при розрахунку індивідуальних особливостей гірників для оцінки часу проходження по знайденому маршруту.

У зв'язку з цим запропонована адаптація алгоритму (рис.12) розрахунку довжини маршруту і часу евакуації за даними засобів позиціонування шахтаря з урахуванням характеристик виробок, стану евакуйованого людини і ресурсу індивідуальних засобів захисту.

Ваги графа обчислюються на основі п'яти показників: довжина вироблення, швидкість руху повітря, показник концентрації метану, показник концентрації шкідливих газів і показник температури повітря.

В якості ваги вироблення використовується нормалізована для, що обчислюється як відношення значення поточного відстані вироблення до максимальної довжині виробки:

$$w_{p_i}(s_i) = \frac{s_i}{\max_{k=1..n}(s_k)} . \quad (3.2)$$

Вага, що описує швидкість руху повітря обчислюється на основі наказу по екологічному, технологічному і атомному нагляду наказ від 11 грудня 2013 року про затвердження норм і правил у сфері промислової безпеки «правила безпеки при веденні гірських робіт і переробки твердих корисних копалин.

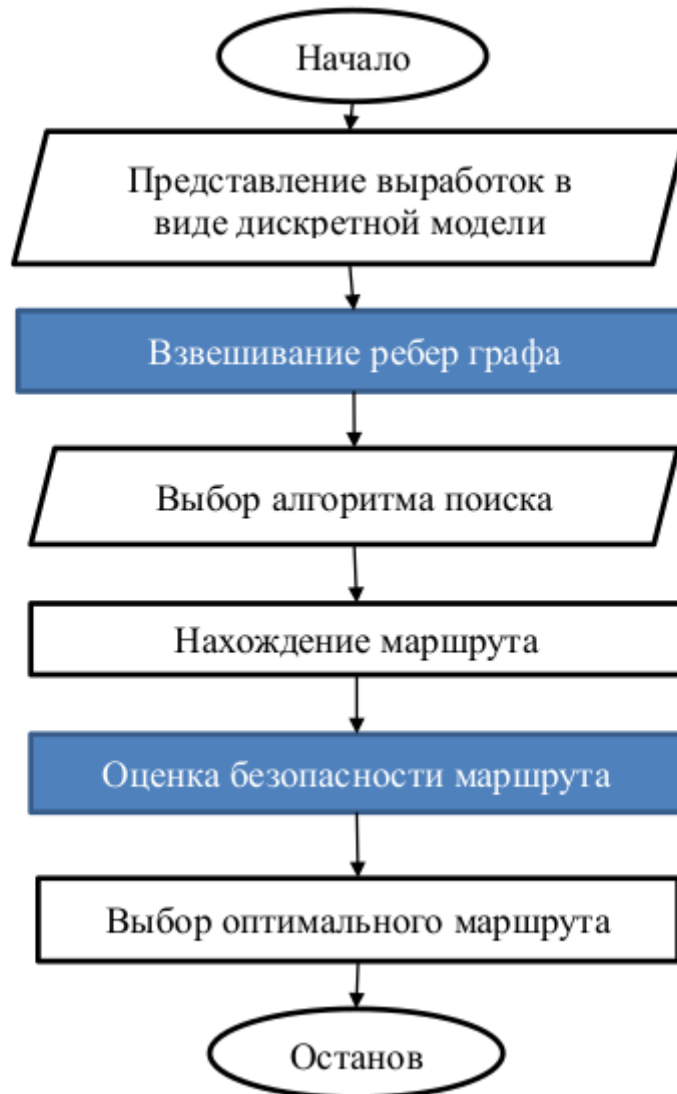


Рис.12- Алгоритм визначення оптимального шляху евакуації

Мінімальна швидкість повітря (м / с) в гірничих виробках визначається за формулою:

$$V_{i\min} = \frac{0.1 \cdot P_i}{S_{\text{сеч}_i}} \quad (3.3)$$

де $S_{\text{сеч}_i}$ - площа поперечного перерізу виробки, м^2 , P_i - периметр вироблення, м.

Максимальна швидкість не повинна перевищувати наступних норм:

- в очисних і підготовчих виробках - 4 м/с;
- в квершлагах, вентиляційних та головних відкотних штреках, капітальних ухилах – 8 – м/с;
- в квершлагах, вентиляційних та головного відкатних штреках, капітальних ухилу - 6 м/с;
- в повітряних мостах (кросинги) і головних вентиляційних штреках - 10 м/с;
- в стовбурах, за якими проводяться спуск і підйом людей і вантажів - 15 м/с.

Після знаходження мінімального і максимального значення швидкості руху повітря для кожної виробки чого складається функція приналежності для кожної виробки:

$$w_{c_i}(V_i) = \begin{cases} \frac{V_i - V_{min}}{V_{max} - V_{min}}, & V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \\ 1, & V_i > V_{max} \\ 0, & V_i < V_{min} \end{cases} \quad (3.4).$$

Відповідно, вага, що описує концентрацію шкідливих газів (КВМ) в повітрі розраховується як:

$$w_{вг_i}(КВГ_i) = \begin{cases} \frac{КВГ_i - КВГ_{min}}{КВГ_{max} - КВГ_{min}}, & КВГ_{min} \leq КВГ_i \leq КВГ_{max} \\ 1, & КВГ_i > КВГ_{max} \\ 0, & КВГ_i < КВГ_{min} \end{cases} \quad (3.5),$$

вага, що описує концентрацію метану (КМ) в повітрі:

$$w_{м_i}(КМ_i) = \begin{cases} \frac{КМ_i - КМ_{min}}{КМ_{max} - КМ_{min}}, & КМ_{min} \leq КМ_i \leq КМ_{max} \\ 1, & КМ_i > КМ_{max} \\ 0, & КМ_i < КМ_{min} \end{cases} \quad (3.6).$$

Згідно з санітарними вимогами, правил безпеки у вугільних шахтах, єдиними правилами безпеки при розробці рудних, нерудних і розсипних родовищ корисних копалин підземним способом встановлюється максимальна температура повітря +26 ° С при відносній вологості його до 90% і + 25 ° С при

відносній вологості його більш 90%. Допустимі значення температури повітря в гірничих виробках показані в табл.5.

З урахуванням цієї таблиці вагу, що описує кліматичні умови на підставі даних про температуру, вологість і поточної швидкості руху повітря розраховується наступним чином:

$$w_{T_i}(T_i) = \begin{cases} \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, & T_{\min} \leq T_i \leq T_{\max} \\ 1, & T_i > T_{\max} \\ 0, & T_i < T_{\min} \end{cases} \quad (3.7)$$

Загальна вага вироблення обчислюється як максимальне значення розрахованих ваг:

$$w_i = \max(w_{p_i}, w_{c_i}, w_{T_i}, w_{вг_i}, w_{м_i}). \quad (3.8)$$

Допустимі значення температури повітря в гірничих виробках.

Табл. 5

Скорость движения воздуха, м/с	Допустимая температура, °С, при относительной влажности, %		
	60-75	76-90	свыше 90
0,25	16-24	18-23	18-22
0,5	18-25	19-24	19-23
1	19-26	20-25	20-24
2 и более	20-26	22-26	22-26

Обчислення значення ваги вироблення використовується пошуковими алгоритмами для знаходження безпечного шляху. Після цього необхідний оцінити оптимальність знайденого шляху за допомогою коефіцієнта рівня ризику.

3.4 Обчислення рівня ризику пересування по маршруту евакуації

Для оцінки рівня ризику пересування по маршруту (Кб) застосовується спосіб розрахунку, заснований на обчисленні відносини часу, необхідного гірнику для пересування по маршруту (t_b) і часу, на яку розраховані індивідуальні засоби захисту (t_{c3}).

$$k_6 = \frac{t_3}{t_{cs}}. \quad (3.9)$$

Час, необхідний гірнику для виходу на поверхню по n виробках в маршруті розраховується за формулою:

$$t_3 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i \cdot W_i}{v_i} \right), \quad (3.10)$$

де S_i - відстань кожної виробки в маршруті,

$V_{уч}$ - швидкість пересування людини,

w_i - вага вироблення.

Максимально можливий час роботи саморятувальника, залежить від швидкості вентиляції легенів. спочатку розраховується (ДО):

$$ДО = (h - 110) \cdot 8, \quad (3.11)$$

де h - зростання гірника, см.

На основі цього значення обчислюється хвилинний обсяг вентиляції легенів (МОД):

$$МОД = ДО \cdot ЧД, \quad (3.12)$$

де ЧД - кількість подихів в хвилину в стані фізіологічного спокою.

$$t_{cs}(МОД) = \begin{cases} t_n, МОД \leq МОД_n \\ t_n - (t_n - t_c) \cdot \left(\frac{МОД - МОД_n}{МОД_c - МОД_n} \right), МОД_n < МОД < МОД_c \\ t_c, МОД = МОД_c \\ t_c - (t_c - t_T) \cdot \left(\frac{МОД - МОД_c}{МОД_T - МОД_c} \right), МОД_c < МОД < МОД_T \\ t_T, МОД \geq МОД_T \end{cases} \quad (3.13)$$

де $МОД_n$ – легенева вентиляція в стані спокою;

t_n – час роботи саморятувальника, розраховане на $МОД_n$;

$МОД_c$ – легенева вентиляція під час навантажень середньої тяжкості;

t_c – час роботи саморятувальника, розраховане на $МОД_c$;

$МОД_T$ – легенева вентиляція під час важких навантажень;

t_T – час роботи саморятувальника, розраховане на $МОД_T$.

Ці величини залежать від моделі саморятувальника. У разі, якщо на шахті використовується кілька типів, необхідно закріплювати за кожним співробітником певну модель.

Одержуваний в результаті коефіцієнт порятунку інтерпретується наступним чином: якщо значення коефіцієнта перевищує одиницю, це говорить про те, що у співробітника є запас часу. Якщо, ж коефіцієнт менше одиниці, то це говорить про брак часу на поверхню. В цьому випадку, програма намагається знайти маршрут, що включає в себе проходження через Камери Аварійного подачі повітря (КАВС) - для отримання додаткового ресурсу саморятувальника, або перечекування аварії. Відповідно, оптимальним буде маршрут з мінімальним значенням коефіцієнта безпеки.

Після поновлення топології графа, значення ваг для раніше проаналізованих гілок не перераховуються. Відомості про раніше розрахованих маршрутах також зберігаються в тимчасове сховище даних і використовуються при подальших розрахунках. Така реалізація чисельного методу дозволяє зменшити час визначення маршруту після поновлення моделі на 76% в порівнянні з первинним розрахунком. Зменшення кількості ребер в графі після знаходження областей небезпечної напруги і після етапу обчислення ваг дозволили скоротити розмір графа при первинному розрахунку на 12%. З урахуванням автоматизованого характеру складання ПЛА, який передбачає необхідність участі людини, загальний час на розробку однієї позиції в частині складання маршрутів евакуації скорочується на 20-25%. Таким чином, обґрунтовано наступне наукове положення: маршрут евакуації персоналу, найбільш раціональний з безпеки, визначається в результаті логічних і розрахункових операцій з геоданих, що проводяться по створеному алгоритму, що враховує оцінку витрат ресурсу саморятувальника і рівень ризику пересування по гірничих виробках, що відрізняється урахуванням відомостей про концентрацію метану і шкідливих газів в гірських виробках, а також швидкості, напрямку руху, температури і вологості повітря.

ВИСНОВКИ

Запропоновано алгоритм вирішення задачі знаходження оптимального маршруту виходу на поверхню для евакуації гірників.

Обрані для вирішення пошукові алгоритми були адаптовані для умов гірського підприємства за рахунок обчислення ваг кожної виробки маршруту в умовах існуючих нормативних документів.

Розроблено алгоритм обчислення часу для виходу на поверхню з урахуванням спотворення просторових даних, що виникають при наявності кута нахилу і кривизни підземних виробок

Запропоновано чисельний метод рішення задачі пошуку оптимального маршруту виходу на поверхню за допомогою обчислення коефіцієнта безпеки, що враховує індивідуальні фізичні дані гірників і значення ресурсу засобів індивідуального захисту. Запропоновано рекомендації щодо підвищення рівня безпеки ведення очисних робіт в разі неприпустимого значення коефіцієнта безпеки для найкоротших маршрутів.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ ЕВАКУАЦІЇ

4.1 Спосіб зберігання і аналізу просторово - атрибутивних даних

Комп'ютерне моделювання геомеханічних ситуацій з урахуванням положення секції механізованого кріплення по довжині виїмкового стовпа, можливо на основі дослідження і прогнозування динамічних процесів руйнування гірських порід в околиці очисного забою. У зв'язку з цим, виникає необхідність у моніторингу та управлінні технологічними процесами, які породжують великі масиви даних, обсяг яких обумовлений декількома складовими.

По-перше, необхідно враховувати як можна більше факторів (згідно з оцінкою впливу кожного з них) для побудови адекватної моделі. Найчастіше це збільшує атрибутивну складову інформаційної моделі, оскільки необхідні характеристики відносяться до різних сфер роботи вугільного підприємства: проблем безпеки, економічної ефективності, геологічної специфіки і т.д. Різноманітність в структурах даних, одиницях виміру і складна співвідносність даних породжує необхідність в розробці додаткових способів зберігання і обробки даних.

По-друге, при веденні робіт на шахтах вугільних підприємств географічна протяжність може вимірюватися сотнями і навіть тисячами кілометрів, причому як в ширину, так і в глибину. Це збільшує просторову складову інформаційної моделі. Більш того, відомості про просторі можуть бути представлені в різному вигляді: відносні координати і географічні координати або параметричні значення глибин і висотних відміток, з яких обчислюються просторові характеристики. Від способу зберігання просторових даних залежить методика побудови геометричної моделі гірського масиву або гірничих виробок вугледобувного підприємства.

По-третє, для динамічного моделювання процесів виїмки вугілля необхідно зберігати кілька статичних станів моделі, забезпечуючи кожен частину інформаційної моделі темпоральних атрибутів. Тільки на основі побудованого в результаті моделювання хронологічного ряду представляється можливим здійснювати прогноз стану моделі. Таким чином, і без того об'ємний

масив даних збільшується пропорційно кількості зафіксованих статичних станів моделі.

На основі вищесказаного можна побудувати математичну модель, що описує в загальному випадку простір даних вугледобувного підприємства U :

$$U = \{X, Y, Z, L, t\}dt \quad (4.1)$$

де $\{X, Y, Z\}$ – безліч координат тривимірного простору;

L – атрибутивна складова, буквально описує безліч відомостей про досліджуваної предметної області;

t – хронологічна складова, яка описувала простір часу, яке лежить в основі моніторингу та прогнозування даних.

Кожна компонента простору описана безперервної величиною. Сукупна кількість елементів цього простору залежить від діапазону зміни по кожній з компонент системи: змінюється розмір досліджуваного простору, час спостереження, а зі збільшенням часу змінюються атрибутивні характеристики. Відповідно, змінюється і обсяг даних, необхідний для обробки. Для того щоб зафіксувати цей простір доцільно провести квантування - розбити «поверхню» цього простору на дискрети, більш зручні для аналізу і екстраполяції.

Однак навіть після дискретизації обсяг даних для обробки все ще залишається досить значним, що говорить про необхідність вирішення завдання управління великими обсягами різнорідних даних. Для рішення цього завдання пропонується спосіб маніпулювання даними, за допомогою інформаційної моделі системи, що складається з трьох частин: систематизації, аналізу та зберігання. Структура інформаційної моделі даних для реалізації запропонованого способу представлена на рис.13.

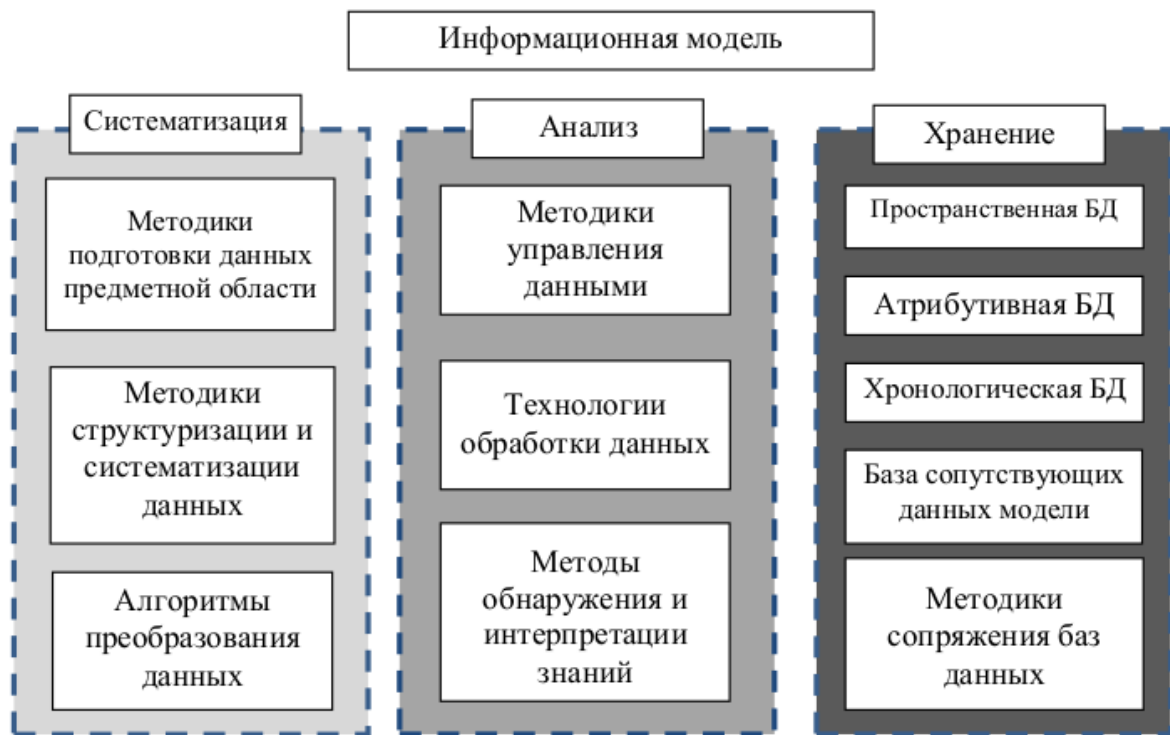


Рис.13 – Структура інформаційної моделі даних для системи вугледобувного підприємства

Систематизация відомостей предметної області

Перед початком роботи кожної інформаційної системи задіюються механізми систематизації даних - підготовки відомостей для використання всередині програмних модулів. Завдання полягає в систематизації масиву даних. Отримана в результаті систематизації структура даних повинна мати достатній рівень абстрактності і гнучкості, але при цьому конкретно описувати модель всередині предметної області. В даному випадку, мова йде про структуруванні геологічних даних, отриманих на основі аналізу зразків гірських порід. Кожна свердловина має низку характеристик: географічні координати, висотна відмітка гирла, глибина свердловини. Фіксуються дані про глибину залягання і потужності кожного пласта. Існують різні способи структурування цих відомостей.

Наприклад, можна зберігати висотну позначку покрівлі і ґрунту кожного шару. Або, глибинну позначку початку залягання кожного пласта і потужність. Однак оскільки в майбутньому необхідно здійснювати тривимірну інтерполяцію даних для отримання з дискретних даних (свердловин)

безперервної моделі вуглепородного масиву було прийнято рішення зберігати дані в такий спосіб: зберігається висотна координата середини кожного пласта в керна і потужність пласта.

Додатково реалізувати в моделі даних обчислюються властивості, за допомогою яких з потужності пласта і координати середини розраховується координати меж кожного пласта в свердловині.

Технологія аналізу і обробки даних

Аналіз даних завжди проводиться з метою вилучення корисної інформації та прийняття рішень. У зв'язку з цим, перш ніж вибирати спосіб обробки необхідно визначити кінцеву мету аналізу. В даному випадку в якості мети можна вибрати проектування гірничих виробок і оцінку напруженого стану в незайманому масиві. Складність проектування гірничих виробок полягає в їх просторовому розташуванні - очисні виробки повинні знаходитися паралельно пласту. У разі горизонтальних виробок необхідно враховувати наявність кутів по падінню і по простяганню пласта для полегшення транспортування і забезпечення стоку води до водозбірника, відповідно необхідний спосіб для оцінки просторового позиціонування вироблення.

Вивчення напружено-деформованого стану вуглепородного масиву необхідно для оцінки безпеки ведення гірничих робіт. Однак крім рівня напруги гірських порід, існують і інші чинники, що впливають на безпеку: фізичні (температура, вологість, рівень шуму і вібрації), хімічні (дратівливі, сенсibiliзуючі, канцерогенні), біологічні (мікро і мікроорганізми) і психологічні. Адекватно оцінити психологічні та біологічні фактори безпеки досить складно, а часто і зовсім неможливо. У свою чергу, фізичні і хімічні властивості цілком піддаються оцінці за допомогою спеціалізованого апаратного забезпечення. Однак після збору всього масиву даних з усіх досліджуваних ділянок дуже важко проаналізувати отримані відомості в сукупності. Для цього необхідно використовувати спеціальні методи обробки: OLAP і Data Mining.

Технологія OLAP дозволяє співвіднести різноманітні дані, надавши користувачу повну картину безпеки на обраному ділянці. Однією з проблем, що

виникають при порівнянні та відображенні показників різних чинників полягає в одиницях виміру. Для вирішення цієї проблеми пропонується на рівні СУБД організувати механізми переходу від абсолютних шкал до відносним. Це дозволить не тільки оцінити ступінь небезпеки кожного виїмкової ділянки, а й виявити причини виникнення надзвичайних ситуацій. Механізм аналізу Data Mining дозволяє провести кластеризацію, виділяючи групи факторів, спільно впливають на загальний рівень безпеки в досліджуваному секторі, а також вивчити динаміку зміни стану цього сектора і скласти можливий прогноз.

Найчастіше в якості результату роботи OLAP розуміється тільки таблично-текстова форма подання. Однак візуалізувати результати OLAP можливо за допомогою технологій побудови анаморфозного зображення. Приклад такої візуалізації представлений на рис. 14. На даному зображенні дискрети представляють собою прямокутні «плити», а значення їх атрибутивної характеристики представлено геометричній висотою. Кожен атрибут позначений окремим кольором - синім, червоним або жовтим. Додатково була проведена процедура кластеризації, за допомогою якої були сформовані безперервні зони «домінування» атрибута в певному просторовому секторі.

Великий обсяг з висуває підвищені вимоги до носіїв інформації: обсягом і швидкості роботи жорсткого диска. У зв'язку з цим, доцільно використання клієнт-серверної архітектури.

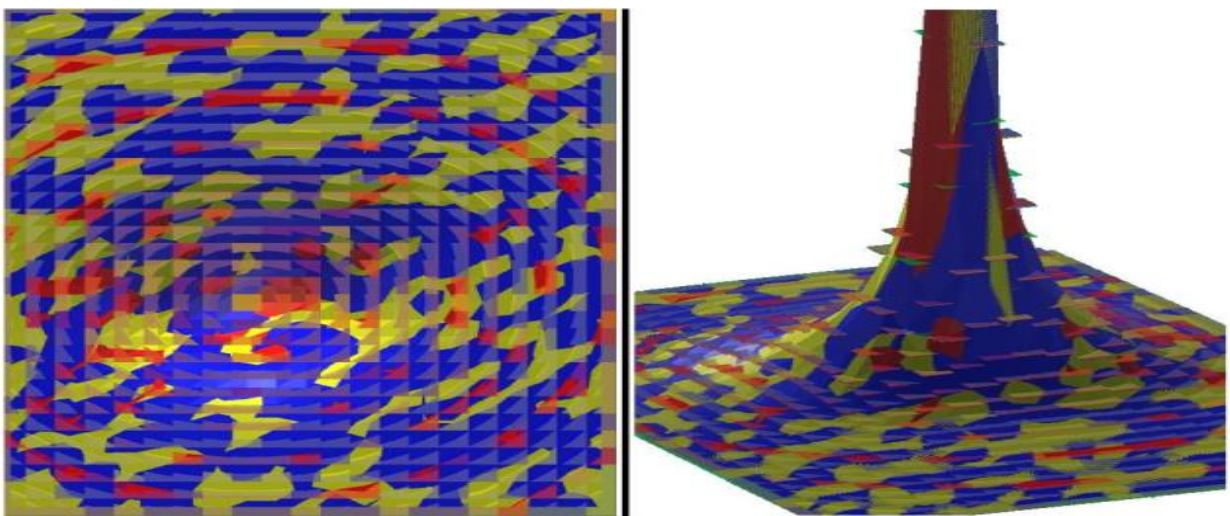


Рис.14 - Візуалізація OLAP у вигляді анаморфозного зображення

4.2 Технологія побудови ізоповерхонь для візуалізації зон небезпечної напруги

Побудова ізоповерхонь

Двовимірні ізолінії, отримані в спеціалізованих пакетах (наприклад, Surfer) не дають повної картини, так як відображають тільки одне бічне розтин. Тривимірні анаморфози отримані в після обробки результатів розрахунку ПДВ не дають наочного зображення. У зв'язку з цим було прийнято рішення розробити спосіб створення тривимірних ізолиній і ізоповерхонь із застосуванням ГІС-технологій.

На першому етапі необхідно побудувати тривимірну ізолінію відповідно до вуглепородного масиву згідно з результатами аналізу ПДВ. Ізолінія будується за допомогою лінії Безьє, яка з'єднує центри елементів (вокселів у вигляді куба) з однаковим значенням напруги в дискретний. Напруга всередині дискрети вважається однаковим. Результат побудови трьох ізолиній показаний на рис.16.

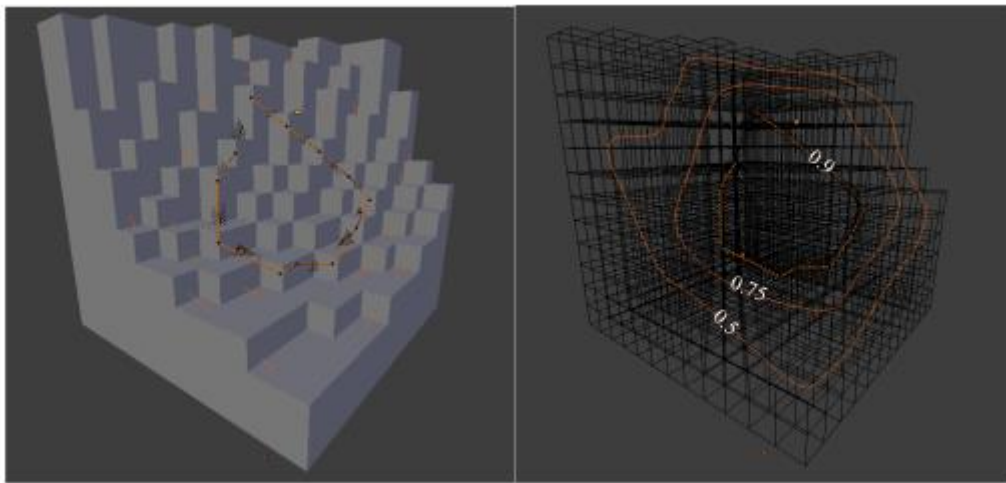


Рис.16 - Побудова ізолиній на тривимірній моделі вуглепородного масиву

Тривимірна модель ізолінії дає можливість побудови ізоповерхні - це якась поверхню, тиск на кордоні якої буде завжди однаковим. Оскільки ізолиній кілька ця поверхня матиме «цибулинних» або «шарувату» структуру.

Чим ближче до «ядру» моделі, тим більше тиск. Відповідно на зовнішніх шарах тиск буде практично відсутнім. Для побудови поверхні був розроблений метод трьох видів (рис.17). Три отримані виду складаються в тривимірне

зображення. Поверхня створюється шляхом ортогонального перенесення ізоліній до перетину в середині моделюючого куба. Отриману ізоповерхню можна інтерпретувати як об'ємну анаморфозу, що описує напружено-деформований стан вуглепородного масиву.

Однак ці значення напруги не прив'язані до просторовим характеристикам, що ускладнює дослідження місця можливого обвалення. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано використання глибинних перетинів - на заданій глибині вуглепородного масиву урізається перетин знайдених ізоповерхонь (рис.18).

В результаті розтину на мапі з'являються плоскі ізолінії, що означають ореоли небезпеки обвалення породи. Це дозволить створити атрибутивно-географічну, яка не тільки наочно показує ступінь небезпеки на зазначеній глибині шахти, але і вкаже географічні координати аварійного стану.

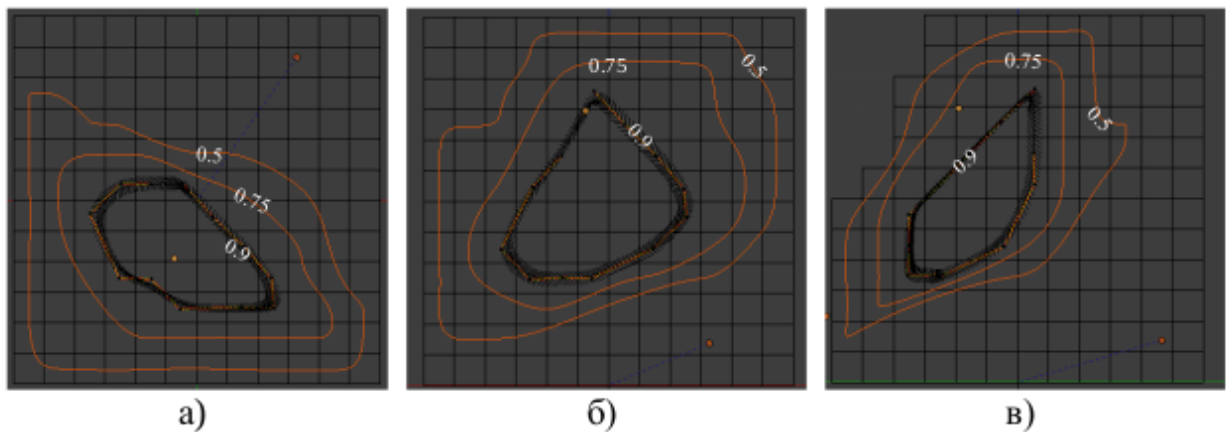


Рис.17 - Три види моделі: а - вид зверху, б - вид спереду, в - вид ззаду

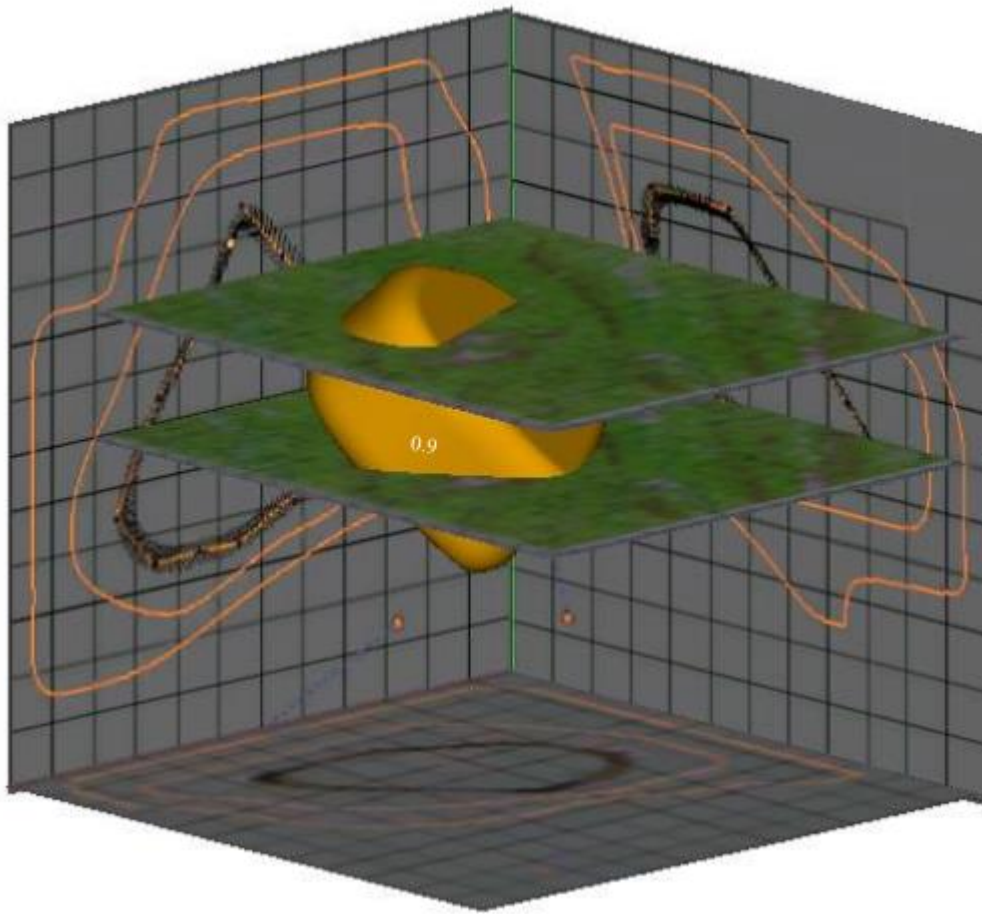


Рис.18 - Отримання перетинів ізоповерхні

Вибір способу візуалізації обумовлюється математичним представленням абстрактної моделі, яку можна описати в дискретної або безперервної геометричній формі. Варто зазначити, що вибір способу геометричного моделювання не залежить від виду вихідних даних. У випадку з розв'язуваної завданням, вихідними даними є дискрети, що представляють собою атрибутивно-просторові вектора, які можна описати наступною математичною моделлю:

$$\langle X, Z, A \rangle, \quad (4.2)$$

де X – просторовий атрибут, що описує географічну широту;

Z - просторовий атрибут, що описує географічну довготу

A – смисловий атрибут, що описує значення характеристики в координаті (X, Z) .

Після збору необхідних даних, масив векторів розміщується в CSV-файлі. Вибір CSV файлу обумовлений декількома причинами:

- формат простий в структуруванні і не вимагає розробки спеціальної об'єктної моделі; портативність - можливість підготувати файли незалежно від системи, для якої призначені файли CSV;
- кросплатформенність - створення CSV файлів не пред'являє вимог про специфічну операційній системі
- програмно-апаратна незалежність - не вимагає спеціалізованого серверного програмного і апаратного забезпечення для роботи.

У разі дискретного геометричного моделювання заготовлюється «префаб» - шаблон для візуалізації дискрети: налаштовуються габарити і геометрія. Висота розташування цієї дискрети в просторі описує значення атрибутивної характеристики.

У разі побудови безперервної геометричній моделі необхідно розрахувати полігони - елементарні багатокутники, з яких буде складатися безперервна поверхня, що описує розподіл атрибута по поверхні. Тривимірна модель складається з двох частин - вершин і трикутників, які в свою чергу, складаються в меш - сітковий структуру для візуалізації полігональних моделей. Необхідно коректно помістити масив точок в трикутники - вони повинні бути перераховані за годинниковою стрілкою щодо вектора, що визначає напрямок «вгору» ортогонально площині трикутника. Ця процедура здійснюється для кожного полігону. Вершини з'єднуються між собою за допомогою лінійної інтерполяції (рис.19). Після того як обчислені всі багатокутники, вони будуть розміщені в батьківський контейнер для об'єктів, який фактично, являє собою поверхню для візуалізації розподілу характеристики. Вказується шейдер і задається код кольору в просторі RGB.

Після того як побудована тривимірна геометрична модель починається процес візуалізації. Оскільки описано два варіанти побудови моделі, способів візуалізації теж два.

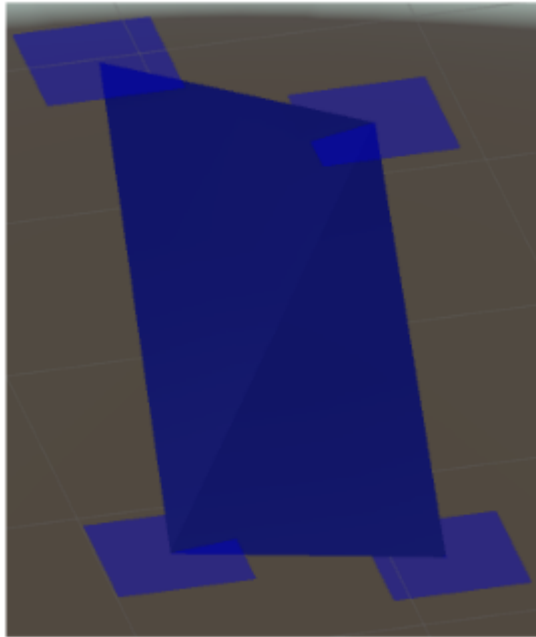


Рис.19 - Лінійна інтерполяція дискрети

Однак в обох випадках додається підкладка - растрове зображення карти з високою роздільною здатністю.

Для візуалізації дискретної моделі на сцені інсталюється префаб. Широта і довгота відповідає просторовій характеристиці, а висота розташування об'єкта відповідає нормалізовано значенням атрибута. У кожного префаб додатково налаштовується канал прозорості - це необхідно для того, щоб можливо було бачити карту.

Для візуалізації безперервної моделі будується комбінований меш з полігонів, що належать одному параметру. Кожен меш забарвлюється в свій колір для ідентифікації типу параметра.

В цьому випадку, прозорість налаштовується для географічної карти. Результат візуалізації безперервної моделі представлений на рис.21. Ще однією важливою умовою інтерполяції є використання камери з ортогональною системою координат, в той час як у випадку з дискретною моделлю можна використовувати перспективне спотворення.

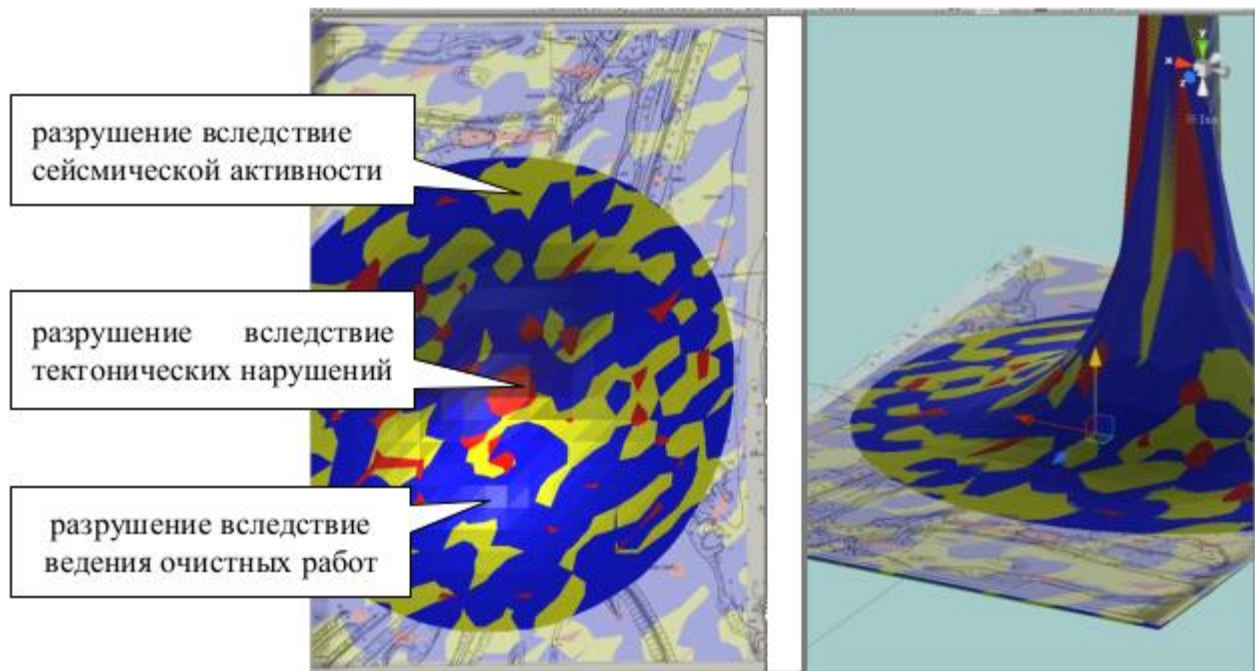


Рис.21 - Результат візуалізації з використанням безперервної моделі

Ортогональна камера допоможе позбутися від візуальних «артефактів», які відбуваються через розташування двох поверхонь в зневажливо малій відстані один від одного.

Пропонований спосіб візуалізації дозволяє підвищити наочність представлення напруги, а також спростить районування та нормування геомеханічного впливу.

4.3 Експериментальне дослідження на тестовому прикладі

Пошук найкоротшого шляху складається з двох етапів: обчислення маршруту на етапі побудови моделі і обчислення маршруту в процесі ведення аварійно-рятувальних робіт. Концептуально обидва етапи виконуються на підставі одних і тих же кроків, однак існує відмінність, що полягає у використанні алгоритму знаходження найкоротшого шляху. Оскільки на етапі моделювання існує можливість витратити більше часу на вивчення маршрутів, то використовується алгоритм Дейкстри - цей алгоритм має велику обчислювальну складність, однак завжди гарантовано знаходить найкоротший шлях.

Перш ніж здійснювати розрахунок найкоротшого шляху необхідно перетворити відомості про гірничих виробках в дискретну модель, яка була в спрощеному вигляді неорієнтований зважений граф . Для цього на етапі збору

даних здійснюється перетворення проектувальних даних про шахту в структурований вигляд, що розділяє відомості про виробках на дві частини: дані про вузли та дані про гілках (рис.23). Під вузлом в даному випадку розуміється початок і кінець вироблення. У декількох виробок може бути один вузол, що говорить про їх сполученні. Вузол містить наступні дані: координати в форматі (x,y,7), ідентифікаційний номер вузла, а також мітку. Мітка вузла може набувати таких значень:

- вихід - вузол є одним з виходів, через який співробітники шахти виходять на поверхню;
- поверхневий - вузол має вихід на поверхню, проте не є стандартним виходом для співробітників, наприклад, вихід на поверхню вентиляційної виробки;
- сполучення - мітка повідомляє про те, що вузол не має сполучення з поверхнею землі, але є сполученням декількох виробок;
- тупик - мітка повідомляє про те, що вузол є кінцем однієї гілки і не має інших сполучень.

Гілка є дані про вироблення - номер початкового і кінцевого вузла, назва вироблення, перетин (в квадратних метрах), периметр висота і ширина. Довжина вироблення розраховується як відстань між вузлами, однак в разі, якщо похибка, що виникає в зв'язку з великою кривизною вироблення, вище допустимої існує можливість вказати значення вручну. Після того як дані структуровані вони записуються в файл формату CSV.

Текстові файли дозволяють прискорити процес знаходження маршруту за рахунок зменшення кількості звернень до дискового простору. Бази даних не використовуються з тієї ж причини - час підключення і створення вибірки для обробки займе більше часу в порівнянні з потоковим зчитуванням текстового файлу в оперативну пам'ять.

Перед початком знаходження найкоротшого шляху необхідно вказати вироблення, що потрапили в небезпечну зону. Для цього застосовуються геоінформаційні методи, що дозволяють співвіднести координати простору зони з підвищеною напругою (рис.24).

Після цього відбувається аналіз даних: які вироблення потрапили в небезпечну зону. Ці вироблення позначаються як небезпечні. При розрахунку маршруту вони не будуть враховуватися. За фактом в кінцевому вигляді при зчитуванні файлу з гілками і вузлами небезпечні вироблення завантажуватися не будуть, що зменшує розмір кінцевого графа і збільшує швидкість аналізу.

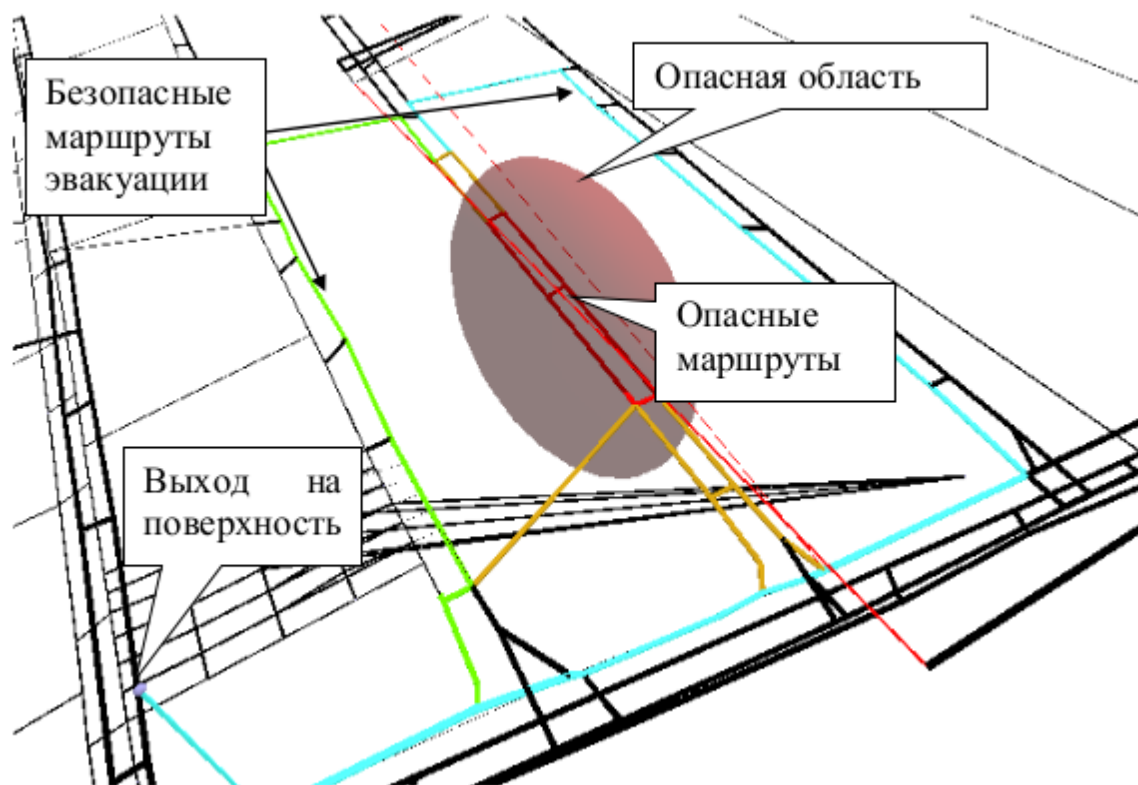


Рис.24 – Комп'ютерна візуалізація суміщення тривимірної моделі небезпечної зони з тривимірною моделлю гірничої виробки

Моделювання відбувається в спеціально підготовленому пакеті програм розроблених з використанням Unity3d. Вироблення побудовані на основі просторово-атрибутивних відомостей зі сховища даних. Додатково реалізований експорт відомостей з файлів Microsoft Excel. Програмно забезпечується коректний просторовий кут і розташування виробок в вуглепородному масиві. Приклад побудови шару гірських виробок представлений на рис. 26.

Реалізована можливість створення зрізу по будь-якій площині, відображення конкретних верств і переміщення моделі в просторі. Відображаються атрибутивні характеристики дискрети. Змодельована система

допоможе користувачеві докладніше розглянути гірничу виробку і готує весь необхідний базовий матеріал для подальших робіт з гірським масивом [89]. Вироблення візуалізується схематично у вигляді каркаса (рис.27), дискретні елементи породи у вигляді шестигранників, зображення поєднане з географічною картою.

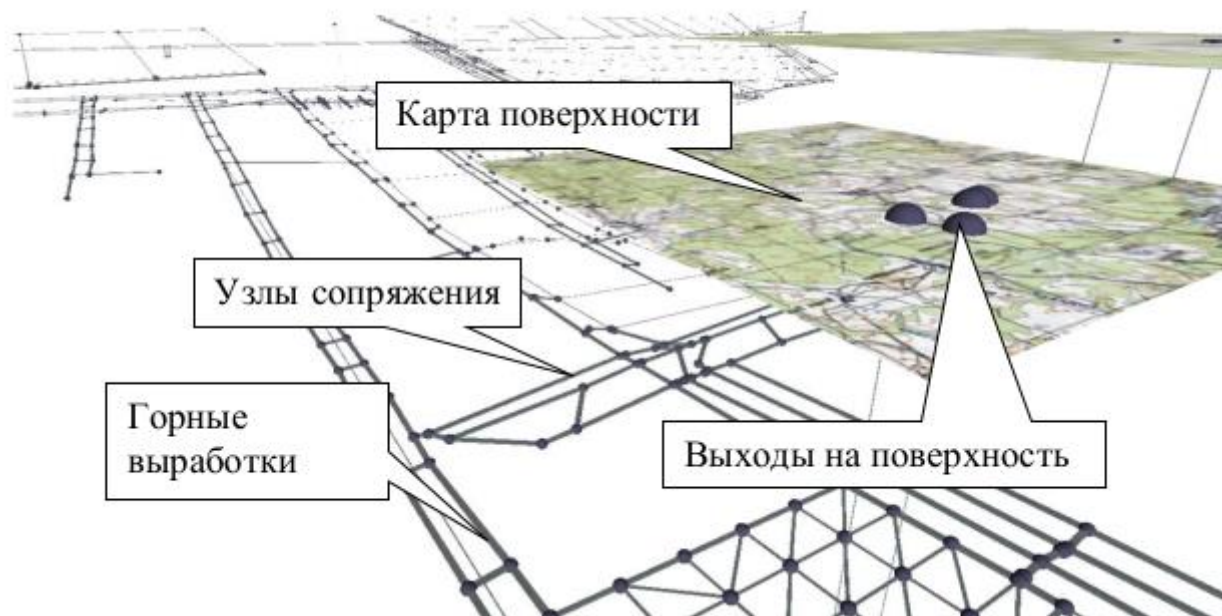


Рис.26 - Візуалізація тривимірної моделі гірничих виробок

Це дозволяє докладніше вивчити околиці виробок і отримати загальне уявлення про характер змін, які можуть відбутися в разі просування очисного комплексу, а також про масштаб і співвідношення розмірів підземної частини вугільного підприємства з розмірами гірського масиву і, зокрема, з висотою вугільного пласта.

Завдяки ергономічній навігації «польоту» в тривимірному просторі можна вільно переміщатися по шахті. При виборі будь-якого елементу повідомляються всі відомі відомості про об'єкт.

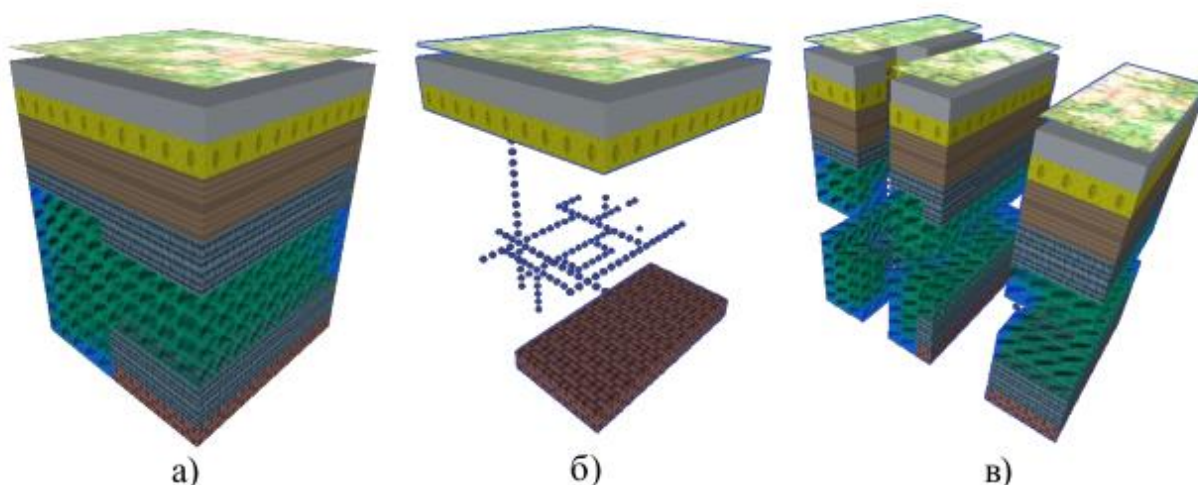


Рис. 27 - Виїмкова ділянка (а) - цілком б) технологія шарів в) технологія зрізів)

В інформаційній системі передбачений інтерактивний режим взаємодії. Для знаходження найкоротшого шляху між двома вузлами досить послідовно клацнути по ним лівою кнопкою миші, утримуючи клавішу «shift» на клавіатурі (рис.28).

У разі виявлення обвалення на одному з маршрутів існує можливість позначити вироблення як аварійну в ручному режимі. Для цього потрібно клацнути лівою клавішею миші на гілці або вузлі і натиснути клавішу «delete» на клавіатурі. Після цього всі маршрути, в які були задіяні віддалені гілки або вузли будуть послідовно перераховані. Ця методика роботи дозволить здійснювати інформаційну підтримку під час ведення аварійно-рятувальних робіт, а також скорочує час прийняття рішення в разі виникнення нештатної ситуації.

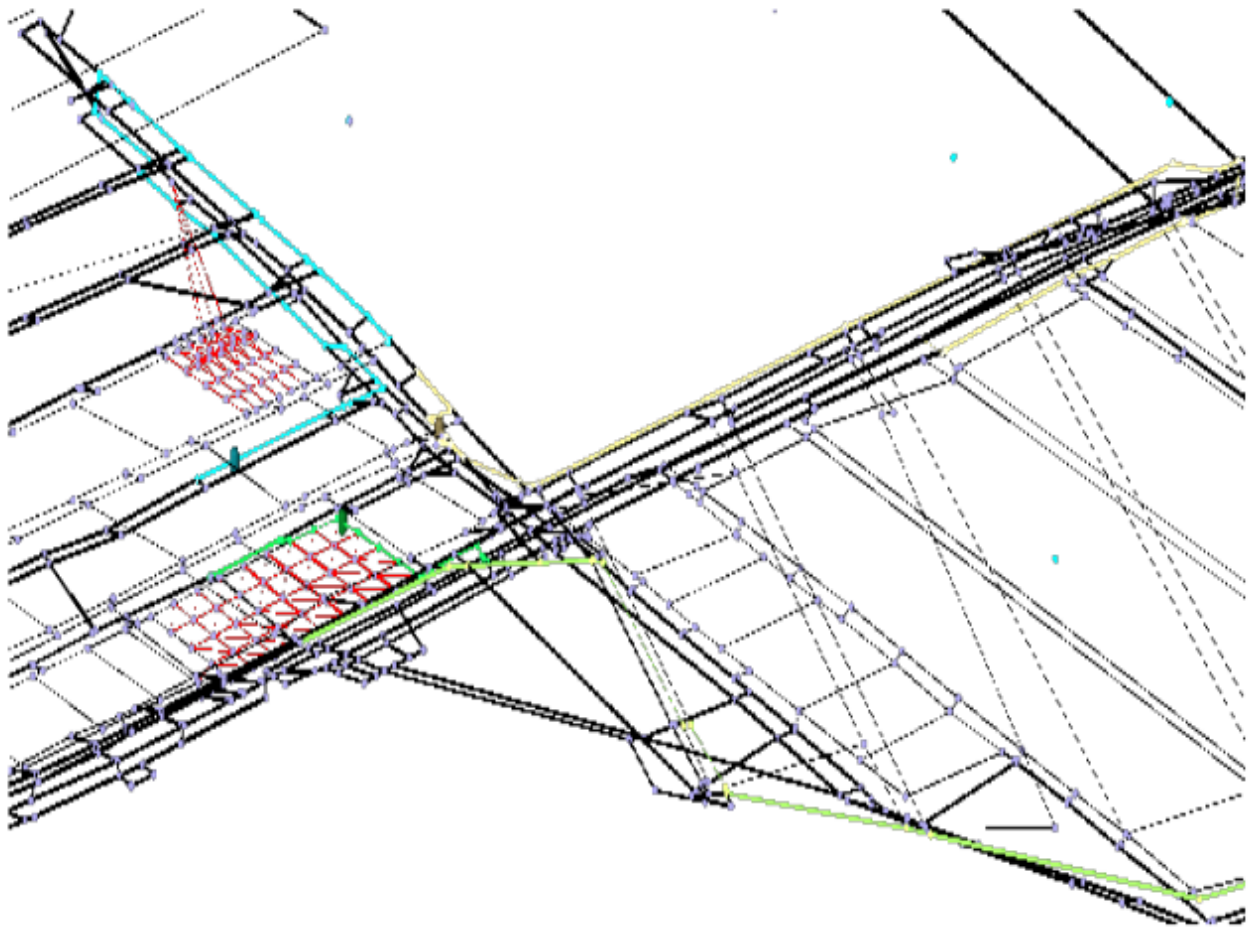


Рис.28 - Візуалізація раціональних маршрутів

Фізико-механічні властивості гірських порід пласта тестової ділянки.

Табл. 6

Показатели	Горизонт -300(абс.)		
	Основная кровля (песчаник)	Непосредственная кровля (песчаник)	Непосредственная почва (алевролит)
1	2	3	4
Водно-физические свойства горны пород			
Плотность, г/см ³	2,70	2,70	2,68
Объемная масса, г/см ³	2,53	2,51	2,52
Общая пористость, %	6,43	7,23	5,48
Водопоглощение, %	2,12	2,2	2,31
Влажность, %	0,74	0,80	1,16
Набухание, %	0,46	0,15	0,23
Механические свойства горны пород			
Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	64,2	63,7	48,9
Предел прочности при одноосном растяжении, МПа	7,6	7,6	4,7
Угол внутреннего трения, град.	37	38	42
Коэффициент крепости по Протодяконову	6	6	6
Средний коэффициент абразивности	1,80	1,20	0,58
Упругие свойства			
Скорость упругих волн, м/сек :			
Продольной	3640	3662	3707
Поперечной	2147	2222	2122
Модуль Юнга, Ех10 ⁻¹⁰ ПА	2,91	2,96	2,86
Модуль сдвига, Ех10 ⁻¹⁰ ПА	1,19	1,23	1,15
Коэффициент Пуассона	0,24	0,21	0,25

Час підготовки відомостей, необхідних для розрахунку заходів плану ліквідації аварій склало 5 робочих днів і визначалося кількістю вихідних даних. Оскільки всі необхідні матеріали, представлені у вигляді креслень і таблиць,

були в наявності, то потрібно тільки здійснити їх перенесення в сховище даних в установленому форматі. При проведенні розрахунків в плані ліквідації аварій періодично проводилися консультації зі співробітниками зі штату пиловентиляційної служби, в зв'язку з чим час розрахунку і час підготовки можна вважати достовірним.

Дослідження показало, що тимчасові витрати на обчислення одного маршруту евакуації за пропонованою методикою, після внесення всіх необхідних даних від моменту початку роботи з програмним комплексом до отримання результату, придатного для використання в позиції ПЛА, становить 7-9 хвилин. Всього в плані міститься 57 позицій. Середній час на складання однієї позиції плану ліквідації аварії за методикою, використовуваної на шахті, становить 2-3 години з яких близько 40 хвилин потрібно головному інженеру для складання маршруту.

Таким чином, загальна економія часу від використання розробленої методики становить від 17% до 26% на позицію, тобто приблизно 21% на розробку всього плану ліквідації аварії. При цьому, було виявлено 5 позицій, що містять принципово нові рішення, що пов'язано з урахуванням напружено-деформованого стану вуглепородного масиву, яка не враховувалася попередньо (рис.29).

Порівняння маршрутів позицій в ПЛА, складених вручну з маршрутами, визначеними за допомогою програмного комплексу показує, що в більш ніж 90% випадків вони вибирають маршрути були аналогічні. В інших випадках, тобто коли маршрути, які генеруються програмою, не збігалися з вибраними головним інженером шахти, це викликалося двоякою причиною. Приблизно в 7% випадках неправильно була виявлена помилка в підготовлених вихідних даних, тобто сформована геоінформаційна модель шахти при аварії не відповідала реальному об'єкту.

В інших випадках розбіжність рекомендацій обумовлювалося помилками складання або неврахованих факторами безпеки.

Таким чином, ступінь збіжності результатів, отриманих при складанні маршрутів евакуації в оперативній частині плану ліквідації аварій в класичній

методиці, прийнятої керівництвом шахти, і результатів, отриманих з використанням запропонованої методики, досить висока. При цьому в запропонованій методиці були враховані показники, що характеризують геомеханічне стан вуглепородного масиву, що дозволяє збільшити достовірність отриманих результатів.

Покращено спосіб представлення даних, за допомогою візуалізації результатів визначення маршруту у вигляді тривимірного комп'ютерного зображення. Головному інженеру шахти надається можливість моделювання Аварин ситуацій, в тому числі що відбуваються паралельно (на різних ділянках, при відпрацюванні різних пластів) для складання альтернативних варіантів маршруту евакуації гірників.

При коригуванні даних про гірських пікетах, в результаті відпрацювання вугільних пластів, не потрібно оновлювати дані всієї комп'ютерної моделі, тому що вони є основою для подальших обчислень.

Якщо при повторному обчислення маршруту евакуації працівників, буде виявлено, що його частина збігається з однією з попередніх ітерацій поновлення геоінформаційної моделі, а гілки, задіяні в цьому маршруті, не зазнали змін, то замість перерахунку кожній гілці буде використовуватися результат попередніх обчислень для цього сегмента.

Такий підхід дозволяє зменшити час обчислення маршруту для актуалізованої моделі шахти на величину від 53% до 99% (в разі повного збігу маршруту), тобто в середньому на 76% за весь життєвий цикл програмного комплексу.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішена актуальна науково-практична задача забезпечення інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень при розробці та введенні в дію плану ліквідації аварій на гірничому підприємстві, з урахуванням мінливих геомеханічних ситуацій, для обґрунтування безпеки маршрутів евакуації гірників з метою запобігання і зменшення наслідків НС.

1. Розроблено геоінформаційна модель вибору маршруту евакуації на основі періодично оновлюваних просторово-певних даних про напружено-деформований стан вуглепородного масиву, геометрії гірських виробок і фізичних даних для складання позицій плану ліквідації аварій вугільних шахт.

2. Розроблено методику вибору і обґрунтування оптимального маршруту евакуації гірників, що враховує відомості про концентрацію метану і шкідливих газів, швидкості, напрямку руху, температури і вологості повітря в гірничих виробках.

3. Розроблено спосіб коригування маршрутів евакуації з вугільних шахт, що дозволяє моделювати ситуації обмеження можливості пересування по гірничій виробці з наступним перерахунком всіх порушених маршрутів евакуації.

4. Розроблено алгоритм обчислення оптимального маршруту евакуації, який використовує кумулятивні результати попередніх ітерацій аналізу атрибутивно-просторових даних про вугільній шахті по мірі відновлення топології гірських виробок, що дозволяє скоротити обсяг обчислень на 76% в порівнянні з первинним розрахунком.

5. Розроблено спосіб оцінки, що обґрунтовує безпеку обраного шляху виходу на поверхню за допомогою обчислення відносини часу евакуації до часу ресурсу саморятувальника, що дозволяє обчислити ризик евакуації індивідуально для кожного гірника.

6. Розроблено програмне забезпечення для проведення геомодельовання маршрутів евакуації гірників, що надає інформаційну підтримку при складанні позицій плану ліквідації аварій вугільних шахт.

7. У розробленому програмному забезпеченні реалізовано відкритий програмний інтерфейс, що дозволяє використовувати зовнішні джерела даних для зменшення часу впровадження в експлуатацію на вугільному підприємстві за рахунок пропуску етапу первинного збору та структуризації даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. - [Дійсний від 22.03.2010]. – Офіційне видання. – Київ: Основа, 2010. – 430с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
2. Ильинский Э.Г., Диденко Н.С., Козаченко В.В. Передвижные спасательные пункты для включения в резервные самоспасатели. Уголь Украины. 1976. 10. С. 43-44.
3. Потемкин В.Я., Козлов Е.А., Кокоулин И.Е. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках. Киев: Техника, 1991. 125с.
4. Черепов А.А., Ерусланов А.П., Ярош А.С. [и др.]. Концепция создания пунктов коллективного спасения персонала при аварийной ситуации. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: научно-технический журнал. 2015. 2. С. 6-15.
5. Система і технічні засоби саморяткування гірників. Вибір типу саморятівника і місць розташування засобів колективного захисту органів дихання в гірничих виробках. СОУ 10.1.00174102-018:2011. Чинний від 2012.01.01. Київ, 2011. 28с.
6. Система саморяткування гірників. Загальні вимоги: СОУ 10.1-00174102-002-2004. Чинний від 2005-01-07. Донецьк, 2006. 24с.
7. Стационарні камери-сховища рятувальні шахтні. Загальні технічні вимоги: СОУ 10.1.202020852.002:2006. Чинний від 2007-15-10. Київ, 2007. 15с.
8. Звягильский Е.Л., Булат А.Ф., Ефремов И.А. [и др.]. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования. Донецк-Днепропетровск: Норд-Компьютер, 2003. 215с.
9. Ильинский Э.Г., Солдатенков А.Г., Коган Ю.А., Мазаненко В.П. Комбинированная система самоспасения на шахтах Минуглепрома СССР. Ведение горноспасательных работ и предупреждение аварий. Донецк, 1984. С. 42-45.

10. Ильинский Э.Г. Энергетическая оценка аварийных маршрутов шахт и обоснование необходимости пунктов ПСП. Способы и средства ведения горноспасательных работ и предупреждения аварий в шахтах. Донецк, 1977. 14. С. 37-40.
11. Голик А.С., Зубарева В.А., Апальков А.С. Современные средства жизнеобеспечения подземного персонала шахт в аварийных условиях. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: научно-технический журнал. Раздел «Пожарная и промышленная безопасность». 2015. 3. С. 61-64.
12. Правила безпеки на вугільних шахтах. – Краматорськ: ВІТ, 2002.
13. Сидоренко В. К. Технічне креслення – Львів: Оріяна-Нова, 2000.