

На основі графічних та аналітичних залежностей отримані показники, які дозволяють визначити шляхи підвищення продуктивності автосамоскидів в умовах розробки Стрижавського родовища мігматитів, а саме:

- при підвищенні якості кар'єрних доріг – швидкість автосамоскидів зростає на 2 км/год, а відповідно зростає і їх продуктивність до 150-180т/добу ;

- на основі отриманих даних продуктивність автосамоскидів зі збільшенням відстані транспортування на 100 м знижується приблизно на 20-30 т/добу (на один автосамоскид);

- підвищення продуктивності автосамоскидів за рахунок маневрування, обраної схеми подачі автосамоскиду під завантаження забезпечується при використанні тупікової та кільцевої схем при подачі автосамоскиду під завантаження. Біля приймального бункеру дробарки застосовується тупікова схема. Їх використання дозволяє збільшити продуктивність всіх автосамоскидів на 2 т за добу.

Список літератури

1. Дриженко А.Ю Кар'єрні технрлогічні гірничотранспортні системи: моногр. – Д.:Державний ВНЗ "НГУ", 2011.-542с.
2. Малишева Н.А., Сиренко В.Н. Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов. –М.: "Недра", 1977. - 392с.
3. Біліченко М.Я Транспорт на гірничих підприємствах – Д: Державний ВНЗ "НГУ", 2005 -636с.

*Рекомендовано до публікації, д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 10.04.2015*

УДК 622.831:622.142.5

© Р.О. Дичковський

ДО ПИТАННЯ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ ДАНИХ І ФОРМУВАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ГІРСЬКИМ ТИСКОМ У ЛАВІ

Представлены способы геометризации данных для воспроизведения литологического строения горного массива по плоскостям контактов слоев горных пород. Предложен математический механизм определения нагрузок на секции механизированной крепи и управления горным давлением для формирования имитационных моделей в горном производстве.

Наведено способи геометризації даних для відображення літологічної будови гірського масиву за площинами контактів шарів гірських порід. Запропоновано математичний механізм визначення навантажень на секції механізованого кріплення та керування гірським тиском для формування імітаційних моделей гірничого виробництва.

Methods of geometrization data for lithological structure display in planes of rock seams contact are presented. The mathematical mechanism for determining the loads on the section of mechanized support and management of mining pressure to create simulation models in mining are suggested.

Вступ. Виїмкова дільниця є основним структурним підрозділом шахти, оскільки саме в її межах відбувається експлуатація вугільних запасів. Ефективність цього структурного підрозділу визначає кількість відбитого вугілля від масиву. Його переміщення по шахті пов'язане із великим і складним комплексом супутніх технологічних операцій та організаційних факторів, що мають взаємний вплив і, у кінцевому результаті, визначають собівартість отриманої продукції. Їх поєднання в єдину систему провадиться на етапі проектування гірничодобувного підприємства.

Відповідно до вихідних даних, якими слугують гірничо-геологічна характеристика масиву й якісні та кількісні показники вугільних пластів, вибирається техніка для руйнування вугілля та системи керування гірським тиском. За обмежуючими факторами (глибина розробки, наявність водоносних горизонтів, геологічної порушеності масиву, метановиділення тощо) вносяться необхідні корективи до процесу ведення робіт.

Надалі провадиться формування самої системи розробки, параметрів виїмкових дільниць, механізації очисних і підготовчих робіт, дільничного та магістрального транспорту й інших супутніх технологічних процесів. Важливим елементом є встановлення допустимих меж застосування того чи іншого техніко-технологічного рішення для забезпечення економічно доцільних рамок усього проекту. З цією метою до оцінки кінцевих рішень аналізу піддається максимально можлива кількість варіантів механізації очисних робіт.

Виходячи із положень, наведених у роботі [1], саме створення імітаційної моделі з відтворення основних елементів гірничо-геологічної будови та техніко-технологічного забезпечення очисних робіт є ефективним механізмом для візуального відображення взаємодії усіх елементів у системі «гірничодобувне обладнання – гірський масив». Схема розрахунку варіантів, що являє собою графічне зображення взаємозв'язку вихідних даних і змінних величин у вигляді речових чи математичних символів, функцій переходу, втілюється у прикладні комп'ютерні програмні продукти і вводиться до електронної системи шахти. На основі сумісності окремих технологічних систем і організаційних рішень персоналу вносяться необхідні коректування у процес видобування вугілля, у першу чергу, керування гірським тиском за допомогою зміни силових параметрів механізованого кріплення.

На заключному етапі аналізуються основні розрахункові варіанти для уточнення змінних параметрів, здійснюється геометризація технологічних схем у вигляді математичних залежностей відповідно до напружено-деформованого стану гірського масиву. На їх основі приймаються рішення щодо ефективних технологічних схем виконання очисних робіт і керування гірським тиском у міру посування очисного вибою вздовж виїмкового стовпа.

На основі економічних показників здійснюється формалізація (адаптація) окремих видів робіт технологічного ланцюга та визначення остаточної вартості виходячи від ризиків впровадження інноваційного проекту. Для обчислень важливо формувати системи, які є логічно побудованими і простими до сприйняття. Саме з метою створення системи геометризації даних вихідних величин

у вигляді Grid-систем, з подальшою побудовою тривимірних геометричних фігур та візуалізацією на електронних чи паперових носіях, є вкрай важливим і необхідним.

Кінцевими об'єктами такого відображення є чотири параметри, які досліджуватимуться у подальшому: площі контактів кожної літологічної різниці, міцнісні характеристики гірського масиву, силові параметри механізованого кріплення та коефіцієнт літологічної будови.

Мета статті. На основі геометризації даних і формування імітаційних моделей удосконалити механізм оцінки напружено-деформованого стану гірського масиву для встановлення силових параметрів механізованого кріплення при відпрацюванні стовпів в ефективно доцільних межах.

Аналітично-дослідне визначення навантажень на секції механізованого кріплення. У формуванні навантажень на секції механізованого кріплення закладено складний процес релаксації напружень масиву у результаті чого виникають переміщення гірських порід, які своєю масою тиснуть на перекриття секцій. Керування гірським тиском проводиться шляхом задавання необхідної реакції у стояках подачею необхідного тиску робочої рідини у систему. Таким чином відбувається корегування комплексу складних процесів, що виникають при формуванні техніко-технологічної та гірничо-геологічної ситуації на виїмковому стовпі.

Для забезпечення ефективної роботи гірничодобувної техніки механізованих комплексів привнесені навантаження на секції механізованого кріплення від бічних порід (Q_n) мають бути нижчими за відповідні реакції секцій механізованого кріплення (Q_k). У загальному вигляді це можна записати нерівністю:

$$Q_n \leq Q_k.$$

Навантаження на секції механізованого кріплення є функцією міцнісних характеристик надвугільної товщі та геометричних розмірів, а реакції секцій механізованого кріплення можна записати у вигляді аналогічних приведених величин:

$$Q_n = f(\sigma_{jn}, \tau_{jn}, P_{jn}) \leq Q_k = f(\sigma_{jk}, \tau_{jk}, P_{jk}),$$

де $\sigma_{jn}, \tau_{jn}, \sigma_{jk}, \tau_{jk}$ – характеристики гірського масиву і відповідних силових параметрів стояків механізованого кріплення; P_{jn}, P_{jk} – геометричні розміри окремих породних шарів літологічної різниці.

Відповідно відношення привнесених навантажень до силових параметрів механізованого кріплення показуватиме ступінь завантаженості секцій механізованого кріплення. Врахувавши варіативність зміни літологічної будови та ймовірності проявів окремих визначальних чинників напруженості (K_1, K_2), що характеризують якісну зміну породовмісної товщі за площею виїмкового стовпа, отримаємо відношення:

$$n = \frac{Q_n}{Q_k} = \frac{f(\sigma_{jn}, \tau_{jn}, P_{jn})}{f(\sigma_{jk}, \tau_{jk}, P_{jk})} \cdot K_1 \cdot K_2.$$

ристики, що визначатимуть поведінку гірського масиву при виведенні його зі статичної рівноваги очисними роботами. В іншому випадку деформація обох шарів приймалася однаковою.

Площі за перерізами дільничних штреків, що оконтурюють виїмкову дільницю за шарами літологічної різниці, визначаються за виразами:

$$P_{ki} = \int_0^{L_i} (y_{in} - y_{(in-1)}) dL,$$

$$P_{kj} = \int_0^{L_j} (y_{jn} - y_{(jn-1)}) dL,$$

де L_i, L_j – відповідно довжина оконтурюючих дільничних виробок, м; $y_{in}, y_{in-1}, y_{jn}, y_{jn-1}$ – відповідно функціональні залежності зміни літологічної різниці за перерізами дільничних штреків; n_i – кількість прийнятих до дослідження шарів літологічної різниці.

Навантаження на секції механізованого кріплення залежить від маси навислих порід покрівлі, що формується у результаті розвантаження напружень у масиві гірських порід. При встановленні абсолютних значень цих величин і, відповідно, необхідних силових параметрів секцій механізованого кріплення автором аналітичним способом були встановлені необхідні математичні залежності та проведені подальші коректування отриманих результатів шляхом шахтних експериментальних вимірів.

За встановленими параметрами літологічної будови розглянутих ділянок виїмкових стовпів [1] була прийнята до розгляду розрахункова схема щодо визначення навантажень на кріплення очисного вибою (рис. 1). Коректування отриманих результатів здійснювалося шляхом практичного встановлення тиску робочої рідини у секціях механізованого кріплення та внесенням відповідних доповнень в отримані математичні залежності за допомогою емпіричних коефіцієнтів. Дана розрахункова схема враховує наявність слабометаморфізованих порід у покрівлі вугільного пласта і відповідає типу покрівлі середньої стійкості (Б2 (Б3), А2).

При формуванні напружено–деформованого стану гірського масиву важливою складовою є швидкість руху гірничодобувних машин та, відповідно, величина посування очисного вибою. Значною мірою від цих параметрів також залежить величина нависання порід покрівлі та крок посадки основної та безпосередньої покрівлі. Чим довший крок посадки покрівлі, тим більші навантаження припадають на секції механізованого кріплення.

Загальновідомо, що навантаження на секції механізованого кріплення визначається виходячи із маси навислих порід покрівлі над робочим простором очисного вибою. Даний параметр може бути встановлений із наступного виразу:

$$Q_n = \frac{2(h_n \cdot l_n \cdot \gamma_n \cdot \text{tg} \psi_n + h_o \cdot \gamma_o \cdot l_o \cdot \text{tg} \psi_o + h_c \cdot \gamma_c \cdot l_o \cdot \text{tg} \psi_c) l_n \cdot \beta}{S_{кр} \cdot n_{кр}}, \text{ МПа (тс/м}^2\text{)},$$

де $h_{нб}$, h_o , h_c , $l_{нб}$, l_o , $\gamma_{нб}$, γ_o , γ_c , $\psi_{нб}$, ψ_o , $\psi_{нр}$ – потужності, кроки посадки, об’ємні маси та кути повних зрушень порід відповідно: безпосередньої покрівлі, основної покрівлі та шару слабких вміщуючих порід; l_l – довжина лави, м; β – емпіричний коефіцієнт жорсткості системи; $S_{кр}$ – площа перекриття секцій механізованого кріплення; $n_{кр}$ – кількість секцій механізованого кріплення по довжині лави.

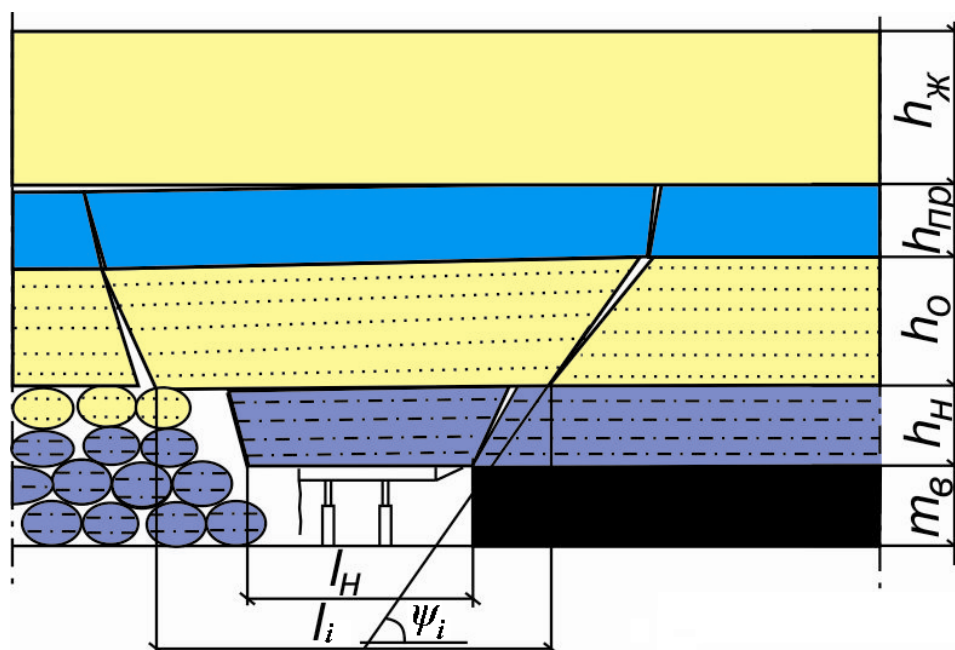


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення параметрів напружено-деформованого стану: $m_в$ – виймана потужність пласта, м; $h_н$ – потужність безпосередньої покрівлі, м; h_o – потужність основної покрівлі, м; $h_{нр}$ – потужність слабких порід, м; $h_{жс}$ – потужність шару жорсткості, м; $l_{нб}$ – крок посадки безпосередньої покрівлі, м; l_i – крок посадки основної покрівлі, м; ψ_i – кути граничних зрушень порід

Оскільки деформаційні характеристики верхніх слабких порід покрівлі нижчі за відповідні показники основної покрівлі, тому їх деформування відбуватиметься аналогічно даному першому шару жорсткості. Можна суттєво спростити математичний механізм встановлення навантажень на секції механізованого кріплення. До цього також спонукає той факт, що на досліджуваних ділянках шахтних полів потужність безпосередньої покрівлі у середньому не перевищує 0,7 м, а максимальний крок її обвалення складає 0,6 м, тому в окремих випадках масу цих порід можна додатково врахувати способом варіації емпіричного коефіцієнта жорсткості системи β_i та збільшенням коефіцієнта максимальних зрушень порід ψ_i на шар верхніх слабких порід покрівлі.

У цьому випадку навантаження на i -ту ділянку виїмкового стовпа матиме вигляд:

$$Q_i = \frac{2 \cdot h_i \cdot \gamma_i \cdot l_i \cdot \text{tg} \psi_i \cdot l_l \cdot \beta_i}{S_{кр} \cdot n_{кр}}, \text{ МПа (тс/м}^2\text{)}.$$

Складові параметри даної залежності можуть бути встановлені за наступними виразами:

$$h_i = \frac{h_n + h_o + h_c}{k_h}, \text{ м};$$

$$\gamma_i = \frac{\gamma_n + \gamma_o + \gamma_c}{k_h}, \text{ Т/М}^2;$$

$$l_i = \frac{l_n + 2l_o}{k_h}, \text{ м};$$

$$\text{tg} \psi_i = \frac{\text{tg} \psi_n + \text{tg} \psi_o + \text{tg} \psi_c}{k_h},$$

де k_h – сумарна кількість прийнятих до аналізу шарів літологічної різниці (у нашому випадку 3).

Коефіцієнт жорсткості системи можна отримати з виразу:

$$\beta_i = \beta \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де β – коефіцієнт жорсткості гірського масиву для умов ведення очисних робіт найбільш доцільно визначати за допомогою математичного механізму, запропонованого у роботі [2].

Відповідно коефіцієнт літологічної будови є відношенням добутку геометричних та фізико-механічних параметрів, що визначають навантаження на секції кріплення ($l_i, l_n, \psi_i, \beta_i, h_i, \gamma_i$) до відповідних приведених величин ($l_{кпр}, l_n, \psi_{кпр}, \beta_{кпр}, h_{кпр}, \gamma_{кпр}$), за якими вибираються силові параметри механізованих комплексів для виймання запасів в окремих гірничо-геологічних умовах. Відповідно отримаємо залежність:

$$n = \frac{h_i \cdot \gamma_i \cdot l_i \cdot \text{tg} \psi_i \cdot \beta_i}{h_{кпр} \cdot \gamma_{кпр} \cdot l_{кпр} \cdot \text{tg} \psi_{кпр} \cdot \beta_{кпр}}.$$

Для встановлення придатності даного коефіцієнта до використання як інструменту корегування силових параметрів механізованого комплексу вздовж виїмкових стовпів були проведені шахтні експериментальні дослідження. Причому виміри провадилися у вибоях, які були оснащені як «старою» технікою, так і механізованими комплексами нового технічного рівня. Важливим елементом є візуалізація процесів гірничодобувної діяльності, тому у роботі приділяється увага геометризації об'єктів дослідження і розробці способів виведення інформації для подальшого аналізу й обробки.

Геометризація параметрів імітаційних систем. Значним стримуючим фактором ведення гірничодобувних робіт, зокрема впровадження гірничодобувної техніки нового технічного рівня, є низька поінформованість щодо змін гірничого-геологічної та структурної будови виїмкових дільниць. Це призводить до нестандартних та аварійних ситуацій, що знижує стабільність роботи техні-

ки, зниженню безпеки обслуговуючого персоналу при виконанні технологічних процесів і, у кінцевому результаті, до підвищення собівартості видобутого вугілля та зниження його конкурентоспроможності на ринку.

Високомеханізоване виймання однозначно вимагає безперервного виймання вугілля, що пов'язано із завчасним корегуванням силових параметрів, у першу чергу механізованого кріплення в зонах змінної природної та техногенної напруженості. Правильність задавання гірничо-маркшейдерської документації та її відображення візуальними комп'ютерними системами дає можливість завчасної адаптації технічного забезпечення комплексів до створеної технологічної ситуації.

Відомим способом геометризації родовищ є відображення площин контактів, у першу чергу корисної копалини, за допомогою ізоліній просторового розташування. Розвиток сучасних способів візуалізації дає можливість суттєво розширити способи уявлення та форми усіх складових літологічної будови досліджуваних областей. Система імітації мусить максимально об'єктивно відображати рівень гірничо-геометричної вивченості пласта. Вони також мають можливість коригувати загальну картину гірничодобувних робіт у разі отримання додаткових даних із свердловин дорозвідки чи при зустрічі видобувними роботами нових аномальних формувань.

У технічній літературі представлені способи задавання геометризації об'єктів дослідження висвітлені досить на низькому рівні, а формування таких систем для умов гірничодобувної діяльності практично відсутні і, свого часу, застосувалися при задаванні карт маркшейдерської зйомки [3, 4]. Тому автор статті для побудови математичної моделі вносить певні корективи, що стосуються, у першу чергу, задавання системи координат відтворюваних геометричних тіл. Як приклад розглянемо певний об'єкт геометризації P , окремі елементи якого у просторі будуть задаватися у Декартовій системі координат як $P_{(i, j, n)}$. Причому (i, j, n) відповідно показують його просторове розташування за осями X , Y та Z . За даний об'єкт прийнято згадані вище чотири параметри. Прив'язка натурних значень досліджуваної області щодо їх розташування в імітаційному їх відтворенні здійснюватиметься через наступну залежність у системі Декартових координат:

$$\begin{aligned} X_1 &= x_1 \pm x_0, & Y_1 &= y_1 \pm y_0, & Z_1 &= z_1 \pm z_0 \\ X_2 &= x_2 \pm x_1, & Y_2 &= y_2 \pm y_1, & Z_2 &= z_2 \pm z_1, \\ X_i &= x_i \pm x_{i-1}, & Y_j &= y_j \pm y_{j-1}, & Z_n &= z_n \pm z_{n-1} \end{aligned}$$

де $X_1, X_2, \dots, X_i, Y_1, Y_2, \dots, Y_j, Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ – координати об'єкта в новій (досліджуваній) системі координат; $x_1, x_2, x_{i-1}, \dots, y_1, y_2, \dots, y_j, z_1, z_2, \dots, z_n$ – реальні координати досліджуваного об'єкта; x_0, y_0, z_0 – координати початку відліку нової системи координат.

Кожному елементу досліджуваного об'єкта в точці випробування з координатами x, y, z площині XOY відповідає значення $P_{(i, j)}$; площинам XOZ та YOZ – $P_{(i, n)}$ і $P_{(j, n)}$. Для усіх етапів досліджень вибираємо прямокутну систему координат з таким початком відліку, щоб значення координат всіх точок випробування мали

додатні значення. Надалі ці координати можуть бути перетворені в будь – яку іншу систему за вищенаведеними формулами залежно від мети дослідження.

На всіх етапах аналізу досліджувані об'єкти будемо розглядати як відображення точки за трьома поверхнями $P = P(M)$ або як функцію координат $P_{(i,j)}$; $P_{(i,n)}$; $P_{(j,n)}$. Графіком функції двох змінних виступає деяка поверхня, яка побудована за наявними точками.

Загальна картина відображення точок аналізованих величин і, відповідно, можливого розповсюдження кривих та поверхонь наведена на рис. 2.

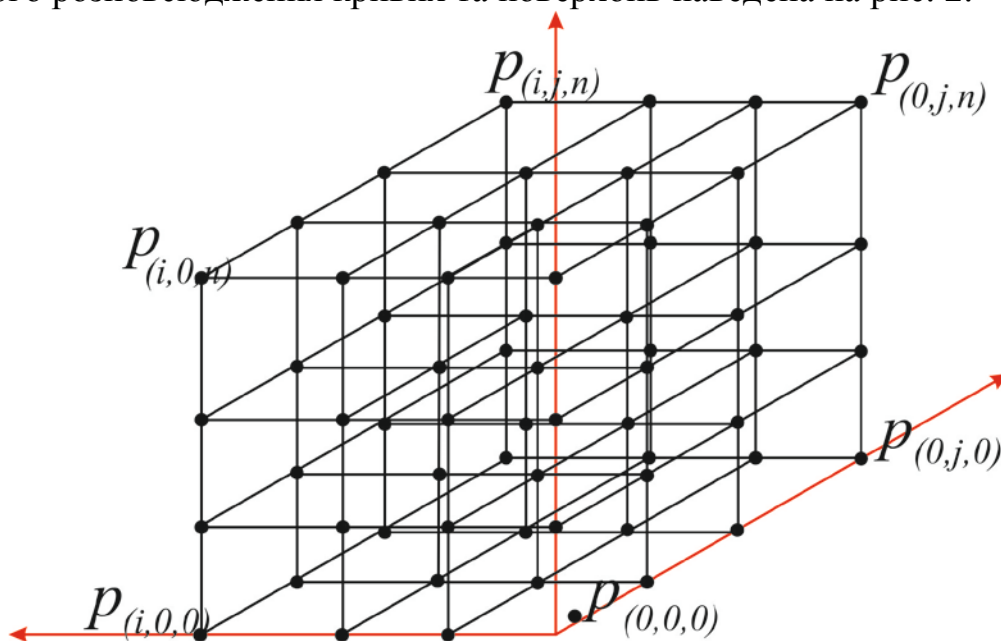


Рис. 2. Просторове відображення точок апроксимації для досліджуваних об'єктів

Надалі можна застосувати запропоновану методику [3] щодо апроксимації результатів імітаційного відображення. З використанням двовимірного регресійного аналізу при задовільному значенні коефіцієнта кореляції R^2 отримані поверхні можуть бути апроксимовані в просторі значенням $P_{(i,j,n)} = 0$, з певним коефіцієнтом кореляції r можна отримати аналітичний вираз для функції $P = P_{(i,j,n)}$. Отже досліджувана величина P є безперервною функцією координат. Тоді властивості та характер зміни цієї функції можуть бути досліджені засобами математичного аналізу.

Якщо у кожній точці M простору (або його частини) визначена деяка скалярна величина u , яка залежить від розташування точки, то можна сказати, що задано скалярне поле $u = u(M)$ або $u = u(x, y, z)$, або $u = u(\vec{r})$, де $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{n}$ – радіус - вектор точки $M(x, y, z)$. Таким чином, у відношенні властивостей досліджуваних характеристик маємо скалярне поле $P = P_{(i,j,n)}$, задане на частині площини, обмеженої, у нашому випадку, межами виїмкової ділянки. Загальний алгоритм геометризації досліджуваних об'єктів наведено на рис. 3.

Математичним уявленням зміни форми у довільному напрямку досить детально наведено у роботі [3]. Таким чином, у кожній точці можна визначити зміну

форми досліджуваного об'єкта. Загальна система імітаційного відтворення для конкретних гірничо-геологічних умов дає можливість цілісного уявлення складових у системі «техніко-технологічна ситуація – оточуючі гірські породи».



Рис. 3. Алгоритм формування імітаційної системи геометризації дослідних об'єктів гірничого виробництва

З практичної точки зору проводиться візуалізація кожної літологічної різниці порід у тривимірному просторі: вздовж очисного вибою (вісь X), виїмкового стовпа (вісь Y) та вглиб масиву (вісь Z). На наступному етапі встановлюються основні характерні зони прояву напружено-деформованого стану. У процесі виймання вугілля відбуваються зміни у гірському масиві, які досить легко відтворюються за допомогою імітаційних моделей. Вони є дієвим механізмом для прийняття рішень із ведення гірничих робіт і керування гірським тиском.

Висновки. Імітаційне (симуляційне) моделювання є досить дієвим, гнучким та динамічним методом зображення складних систем, що є невід'ємною частиною при відображенні складних процесів гірничого виробництва. Створення комп'ютерних імітаційних моделей всього комплексу шахти або її окремих структурних одиниць дає можливість ефективно управляти гірничим підприємством, своєчасно вносити корективи до системи видобування вугілля й керування гірським тиском.

Запропонований коефіцієнт літологічної будови n є одним із визначальних при встановленні геометричних параметрів очисної дільниці та слугує показником для ефективного керування гірським тиском при висококомеханізованому вийманні тонких та надтонких вугільних пластів. Він також дає можливість встановлювати геометричні параметри очисного вибою до економічно доцільних розмірів зі зниженням витрат на підготовку стовпів, вносити удосконалення до технології керування гірським тиском за критеріями геолого-структурної будови.

Список літератури

1. Дичковський Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах / Р.О. Дичковський. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 262 с.
2. Савостьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород / А.В. Савостьянов, В.Г. Клочков. – К.: УМК ВО, 1992. – 190 с.
3. Берестнева О. Г. Анализ структуры многомерных данных методом локальной геометрии / О.Г. Берестнева, Е.А. Муратова, А. Е. Янковская // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2003. – № 3. – С. 19 – 23.
4. Скворцов А.В. Алгоритмы анализа триангуляционной модели поверхности / А.В. Скворцов // Вестник Том. гос. ун-та. – 2002. – № 275. – С. 95 – 98.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.
Надійшла до редакції 16.03.2015*