

УДК 622. 281.74

А.В. Гладкий, студ.
О.В. Солодянкін, к.т.н., доц.
О.О. Ткач, к.т.н., доц.
Національний гірничий університет

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБОК ГЕОМЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ НА БАЗІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Визначені актуальні завдання геомеханіки стосовно закриття, реконструкції і будівництва шахт. Наведений стислий аналіз етапів розвитку уявлень про процеси, що відбуваються в породному масиві при веденні гірських робіт. Викладені основні принципи методу дискретних елементів і моделювання породного масиву з його допомогою.

Для забезпечення продуктивної, ефективної і безпечної роботи вугільних шахт, досягнення їхньої рентабельності, зниження собівартості вугілля необхідна і в даний час здійснюється реструктуризація вугільної промисловості, що включає закриття старих, особливо збиткових і небезпечних шахт, реконструкцію сучасних і будівництво нових високопродуктивних шахт у перспективних для розробки районах Донбасу.

Проведення реструктуризації шахт галузі – довгострокова і складна програма, реалізація якої потребує дуже великих фінансових, матеріальних і трудових витрат. У зв'язку з цим, найважливішою умовою для виконання програми є розробка обґрунтованої стратегії, критеріїв і методології прийняття оптимальних технічних рішень у проектах реконструкції діючих, будівництва нових і закриття старих шахт.

Основою прийняття економічно доцільних рішень є детальна оцінка геомеханічного стану масиву гірських порід і його поведінки при техногенних процесах.

Система галузевих нормативно-технічних документів охоплює майже всі типи для вугільних шахт України умови, використовує сучасні досягнення в області гірничої геомеханіки, передбачає використання прогресивних технологій, способів та матеріалів й у цілому дозволяє обґрунтовано приймати раціональні технічні рішення із розкриття, підготування і відпрацювання вугільних пластів, здійснювати контроль, прогноз і вибирати відповідні засоби безпечного ведення гірничих робіт.

Слід, однак, зазначити необхідність подальшого розвитку нормативно-технічної бази як складової програми реструктуризації вугільної промисловості з таких причин.

По-перше, завдання надійного відпрацювання пластів на великій глибині й у складних гірничо-геологічних і техногенних умовах далека від успішного вирішення і потребує проведення повного комплексу робіт з обґрунтування нових і удосконалення діючих просторово-технологічних засобів керування гірничим тиском. Досвід будівництва та експлуатації глибоких шахт свідчить про те, що в таких умовах не тільки інтенсифікуються всі відомі прояви гірничого тиску, а й характер його розвитку суттєво відрізняється від відомого.

По-друге, в діючих нормативно-технічних документах відсутні або потребують подальшого розвитку й коригування деякі положення, що обумовлені новими специфічними вимогами під час закриття, реконструкції та будівництва нових шахт.

Про існуючі проблеми у відпрацюванні вугільних пластів на глибоких горизонтах та у складних гірничо-геологічних умовах свідчить те, що почастишали випадки завалення покрівлі в привибійних просторах лав і аварії видобувних комплексів. До того ж надмірно зросли витрати на ремонт і підтримання виробок з одночасним збільшенням частки застосування металевих кріплень (в першу чергу – важких профілів). Характерною ознакою великої глибини розробки є піднімання порід підшви виробок, що в деяких випадках сягає 60–80 % загального зміщення порід покрівлі та підшви.

Створення сучасних очисних механізованих комплексів, обґрунтування раціональних технологічних параметрів відпрацювання вийманих стовпів у сприятливих гірничо-геологічних умовах залягання забезпечують досить високі показники продуктивності праці, навантаження на очисний забій (до 6–8 тис. т на добу) і зниження вартості видобутку вугілля.

Численними дослідженнями обґрунтована як найбільш прогресивна безціликова технологія розробки вугільних пластів, особливо з повторним використанням виробок. Ця технологія забезпечує повне виймання підготовлених запасів вугілля, ефективне провітрювання підготовчих виробок і очисних вибоїв, надійний транспорт, обілля, устаткування, безпечні умови відпрацювання викидо- і ударонебезпечних пластів.

Але реалізація концепції високопродуктивного відпрацювання пластів із сучасним прохідницьким і очисним устаткуванням за безціликовою технологією в даний час стримується практикою кріплення виробок, орієнтованих на традиційне рамне металеве кріплення. Відсутність щільного контакту з

навролишніми породами, низький опір цього кріплення не забезпечують основної вимоги високопродуктивної роботи лав – безремонтного робочого стану підготовчих виробок протягом усього терміну служби. Велика трудо- і металосемність рамного кріплення (на 1 м виробки витрачається 0,5–1,2 т металу) є гальмом у досягненні необхідної швидкості проведення підготовчих виробок для відтворення видобутку вугілля у високопродуктивних лавах.

Вітчизняний і світовий досвід свідчить про те, що перспективним рішенням цього завдання є застосування високонесучих конструкцій, які максимально використовують несучу спроможність породного масиву. Найбільше цим умовам відповідає анкерне, набризкбетонне, анкер-набризкбетонне з регульованою несучою спроможністю, набризкбетонне кріплення в сполученні з металеву сіткою і рамами.

Ці види кріплення знайшли широке застосування в гірничорудній промисловості, гідротехнічному будівництві, при спорудженні тунелів як у нашій країні, так і за кордоном. Незважаючи на істотні переваги, у вітчизняній вугільній промисловості обсяги застосування цих видів кріплення незначні.

Тому зараз завдання зводиться до широкого використання анкерного кріплення в комбінації з полегшеним бетонним, набризкбетонним або металевим кріпленням – для капітальних виро-бок і використання анкерного кріплення в сполученні з металеву сіткою, підхватами і рамами – для підготовчих виробок.

Для рішення іншої актуальної для підготовчих виробок проблеми – боротьби із здиманням підшви – у даний час обгрунтовано і розроблено ряд засобів, що засновані на активному керуванні напруженим і механічним станом масиву навколо виробок (щілинне розвантаження, зміцнення і розміцнення порід). Для визначення їхньої ефективності, параметрів і області застосування необхідне проведення дослідно-промислових експериментів і досліджень в різноманітних умовах шахт.

Таким чином, враховуючи проблеми складних гірничо-геологічних умов та великих глибин розробки, основними завданнями стосовно до реструктуризації шахт є:

- розробка комплексу оперативних і надійних способів прогнозу й оцінки умов залягання, тектонічної порушеності, стійкості порід і небезпечності пластів за викидами, гірськими ударами, пожежами і проривами води і визначення заходів щодо ефективного і безпечного ведення гірничих робіт;

- обгрунтування раціонального порядку відпрацювання і підготовки пластів, технології, розташування підготовчих виробок та інших геомеханічних заходів, що забезпечують першочергове відпрацювання найбільш якісних і продуктивних пластів;

- обгрунтування і розробка нових ресурсозберігаючих засобів охорони і кріплення стовбурів, приствольних і магістральних виробок та їхніх сполучень, що дозволяють не застосовувати або значно зменшити обсяг застосування дорогого і трудомісткого метало-бетонного кріплення;

- обгрунтування і розробка нових ефективних і економічних способів кріплення, охорони і підтримки підготовчих виробок, що забезпечують високопродуктивну роботу лав із сучасними механізованими очисними комплексами;

- узагальнення та доведення до широкого використання випробуваних в шахтних умовах нових типів кріплення, засобів охорони виробок, способів зміцнення порід та підвищення несучої здатності традиційного кріплення.

Стосовно будівництва нових високопродуктивних шахт актуальним завданням (разом із зазначеними вище) є розробка методів і засобів вивчення напруженого стану гірничого масиву та ступеня його тектонічної порушеності, що мають на меті, по-перше, встановлення місця розташування, амплітуди і зони впливу геологічного порушення, механічних і структурних властивостей пластів і порід, що вміщують вугілля, гідрогеології товщі порід, і, по-друге, – забезпечення обгрунтованих рішень в проектах відробки шахтних полів, розкриття, підготування і відпрацювання пластів, керування гірничим тиском і охорони підземних і поверхневих об'єктів.

Під час закриття шахт основними завданнями, що потребують проведення детальних досліджень, є:

- обгрунтування технологій безпечної і рентабельної доробки запасів із мінімальними витратами на природоохоронні заходи;

- обгрунтування способів ліквідації гірничих виробок на шахтах, що забезпечують при невеликих витратах безпеку робіт, екологічний захист і нормальну експлуатацію діючих шахт і споруд на поверхні.

Рішення всіх зазначених вище завдань повинно бути засноване на адекватній геомеханічній моделі масиву гірських порід і розроблених на її основі методах і засобах керування масивом. Тільки в такий спосіб буде забезпечене раціональне, ефективне і безпечне ведення гірських робіт в період експлуатації надр і освоєння підземного простору в цілому.

У розвитку уявлень про механізм протікання процесів у породному масиві, методи їхнього вивчення, опису, що відбувався на тлі ускладнення умов розробки і, відповідно, підвищення вимог до прийнятих в проектах виробництва робіт рішень, можна виділити кілька етапів.

Перший із них характеризується рішенням вузьких завдань керування гірським тиском в очисних виробках охорони і підтримки підготовчих виробок, зрушень гірських порід та ін. Загальним для

розроблених у цей період засобів керування геомеханічним станом масиву був пасивний режим їх взаємодії з породним масивом з виходом на робочі параметри опору при значних деформаціях і втратою природної несучої здатності масиву. У цей період домінували емпіричні методи пізнання. Результати розрахунків відповідали лише умовам незначної глибини гірничих розробок із затухаючим характером деформування порід навколо виробок.

Другий етап – це етап розвитку геомеханічних моделей, що пов'язаний із розробкою активних засобів керування напружено-деформованим станом і фізико-механічними властивостями розвантаження та зміцнення масиву гірських порід та ін. На другому етапі великого розвитку набули аналітичні методи опису поведінки неоднорідного породного середовища в умовах множини одночасно діючих чинників. Паралельно з ними для з'ясування якісної картини протікання складних процесів гірничого виробництва розвивалися методи фізичного моделювання на еквівалентних матеріалах.

Необхідність підвищення точності рішень на даному етапі, призводило до значного ускладнення аналітичних розрахунків, до того ж такі рішення не забезпечували необхідної для інженерної практики надійності результатів.

Наступний етап досліджень геомеханічних процесів у масиві пов'язаний з розвитком та доступністю обчислювальної техніки та застосуванням чисельних методів вирішення просторових задач. Найбільш відомі та ефективні з чисельних методів – метод кінцевих елементів та метод граничних елементів. За останні роки завдяки використанню цих методів суттєво розширився клас задач, які вирішуються в механіці гірських порід.

Серед аналітичних методів чільне місце в моделюванні гірських масивів зайняв у наш час метод дискретних елементів. Цей метод, насправді, є добре відомим методом Ейлера, що застосований до дискретного середовища. Відмінність полягає тільки в деяких припущеннях, що в основному розглянуті в статті Кундейла та Стрейка [1]. Перше з них стверджує, що без суттєвого викривлення поведінки середовища в цілому можна замінити реальні його частки, які мають складну форму (зумовлену кристалічною структурою), ідеальними частками (зокрема, дисками або кулями), форма і розмір яких не змінюються під впливом навантажень. Незмінність форми вимагає іншого припущення щодо закону взаємозв'язку сили та деформації, яке можна сформулювати так: реальні деформації часток можна замінити удаваним взаємопроникненням куль. Автори статті [1] виокремлюють ще одне припущення (ідею [1]), на якому базується метод дискретних елементів, а саме: часовий крок може бути вибраний таким малим, що, доки він триває, порушення (дислокації) не можуть поширюватись ні на які кулі (диски), що не знаходяться в безпосередньому контакті із тією, що розглядається. Цим зумовлена зручна схема взаємодії куль: на кожному часовому кроці рівнодіюча сил, що прикладена до кожної окремої кулі, є визначеною виключно координатами центрів цієї кулі та кулі, що з нею в даний момент перетинаються. Це припущення безсумнівно важливе, але навряд чи може слугувати ознакою, що відокремлює метод дискретних елементів від методу Ейлера, бо в останньому воно теж займало важливе місце у випадку застосування його до пружних систем із дискретними масами. Не претендуючи на пріоритет вітчизняної науки щодо методу дискретних елементів у застосуванні до породного середовища, можна проте дійти висновку, що відсутність у ній досліджень породного середовища методом дискретних елементів ще не означає, що впровадження його треба починати спираючись виключно на іноземний досвід. Хоч останній є безумовно цінним, і навіть, можна сказати, основоположним, про що свідчить хоча б згадана стаття Кундейла та Стрейка [1], його природно можна доповнити вітчизняним досвідом, подібним до методу дискретних елементів математичного моделювання, хоча і в далеких з технічної точки зору галузях. Так, в Україні метод Ейлера з деякими ознаками методу дискретних елементів було застосовано, наприклад, в ракетобудуванні, непряме відображення цього можна знайти в статтях Приварнікова Ю.К., Маневича Л.І. та Нагорного Ю.І. [2, 3], в яких розглядається динамічна стійкість пружного стрижня під час дуже швидкого навантаження. У цих статтях стрижень змодельовано двома групами пружин: такими, що деформуються повздовжньо, і такими, що деформуються вигинанням, а також рядом зосереджених мас у вузлах з'єднання пружин. На рис. 1 представлена розрахункова схема такого стрижня. Сила навантаження має позначення $P(t)$.



Рис. 1. Динамічна модель пружного стрижня

Іншим прикладом може слугувати математична модель шахтної підіймальної установки, що описана в статтях О.О. Ткача [4, 5]. Підіймальна установка складається із копра, ведучого та копрових шківів, підіймальних посудин, головних та хвостових канатів і також змодельована множиною зосереджених

мас та невагомих пружин, що з'єднують ці маси (рис. 2). Можливість проковзування канатів на шківах, а також можливість поза пружної роботи випадкової перешкоди та її руйнування вносять у модель суттєву нелінійність. Важливо зауважити, що тертя частинок та порушення зв'язок, які їх з'єднують, вносять таку ж нелінійність у дискретно-елементну модель гірського масиву. Це дає підстави застосувати розроблений в статтях [2–5] математичний апарат та припущення, наведені в статті Кундейла та Стрейка [1] до гірничого породного середовища. На жаль, не можливо подати навіть мінімально необхідний матеріал в рамках однієї статті, тому обмежимося загальною схемою методу.

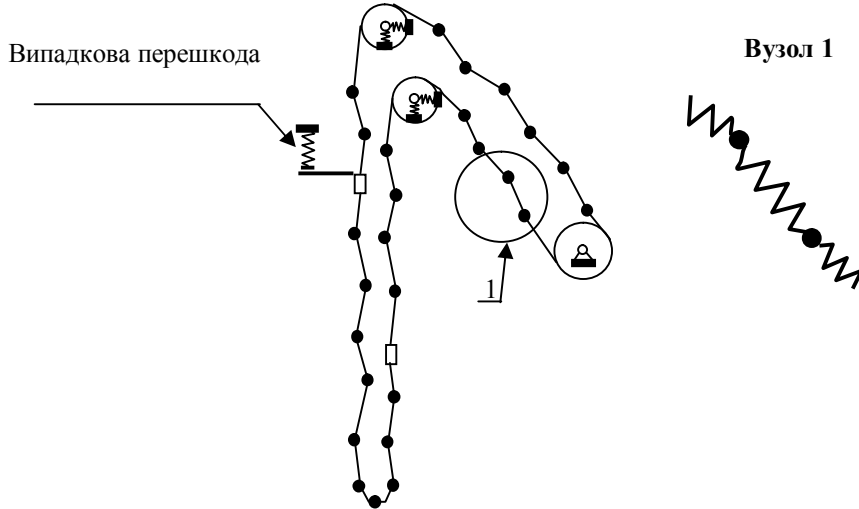


Рис. 2. Динамічна модель підіймальної установки

Отже породне середовище представлене в моделі, що пропонується, кулями різного радіу-са, які розміщені в обмеженому п'яття стінами у просторі. Взаємодія двох куль ілюстрована на рис. 3. Аналогічно взаємодіють кулі з стінами. Для більшої наочності та стислості, а також з урахуванням можливостей сучасного програмного забезпечення, модель краще будувати у векторному вигляді.

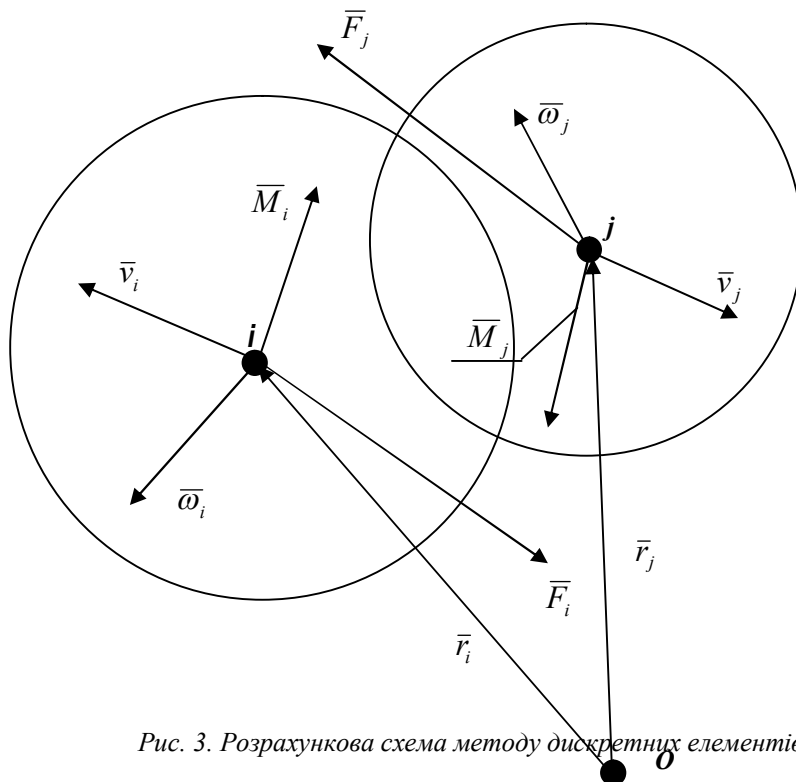


Рис. 3. Розрахункова схема методу дискретних елементів

Відзначимо два способи застосування методу Ейлера. Перший полягає в тому, що спочатку, виходячи з фізичних міркувань, складають систему диференціальних рівнянь та рівнянь початкових умов, а потім – розв'язують їх, застосовуючи формалізований метод Ейлера. Згідно з другим способом метод Ейлера застосовують не тільки для розв'язання поставленої задачі, а й для описання фізичного процесу, тобто для постановки самої задачі. Саме в такий спосіб ми скористаємося методом Ейлера,

точніше його модифікованим варіантом, і це дозволить подати в табличному вигляді як описання фізичного процесу, так і його обчислення (табл. 1).

Всі змінні, що обчислюються в таблиці, згідно з методом Ейлера вважаються сталими протягом кожного модельного кроку за часом і стрибком змінюються в кінці кроку. Для моди-фікованого методу Ейлера, як зазначалося, є характерним зсув на півкроку обчислень лінійної \bar{v} та кутової $\bar{\omega}$ швидкостей відносно обчислень радіусів-векторів центрів куль, прискорень, сил і моментів. Цей зсув реалізований у таблиці наявністю дрібних значень кроку. Така модифікація, як відомо, дозволяє на порядок підвищити точність обчислень без збільшення кількості обчислювальних кроків. Обчислення за таблицею відбуваються таким чином:

- враховуючи прискорення та швидкості, що задані у початкових умовах (мінус півкроку та нульовий крок), знаходять швидкості на першому півкроці;
- виходячи із швидкостей на першому півкроці та початкових умов, знаходять координати центрів куль, рівнодіючі сил та моментів, а потім – відповідні прискорення на першому кроці модельного часу;
- виходячи із швидкостей, що обчислені на першому півкроці, та прискорень – на першому кроці, знаходять швидкості на полуторному кроці, і т. і.

Звертає увагу відсутність у таблиці кутових координат куль (є тільки радіус-вектори їх центрів) – це наслідок припущення про незмінність форми кулі, що компенсується припущенням про взаємодію через взаємопроникнення. В результаті суттєво спрощується алгоритм обчислення.

Таблиця

Схема обчислення руху системи дискретних елементів

Етап	n	t	\bar{r}	\bar{v}	$\bar{\omega}$	\bar{F}	\bar{M}	\bar{a}	$\bar{\varepsilon}$	
Початкові умови	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\Delta t}{2}$	-	0	0	-	-	-	-	
	0	0	\bar{r}^0	-	-	\bar{F}^0	\bar{M}^0	\bar{a}^0	$\bar{\varepsilon}^0$	
Основний розрахунок	$\frac{1}{2}$	$\frac{\Delta t}{2}$	-	$\frac{1}{v^2}$	$\frac{1}{\omega^2}$	-	-	-	-	
	1	Δt	\bar{r}^1	-	-	\bar{F}^1	\bar{M}^1	\bar{a}^1	$\bar{\varepsilon}^1$	
	$1\frac{1}{2}$	$\frac{3\Delta t}{2}$	-	$\frac{-1}{v^2}$	$\frac{-1}{\omega^2}$	-	-	-	-	
	- - - - -									
	$\frac{2n-1}{2}$	$\frac{2n-1}{2}\Delta t$	-	$\frac{-2n-1}{v^2}$	$\frac{-2n-1}{\omega^2}$	-	-	-	-	
	n	$n\Delta t$	\bar{r}^n	-	-	\bar{F}^n	\bar{M}^n	\bar{a}^n	$\bar{\varepsilon}^n$	
	- - - - -									

У табл. 1 й на рис. 3 прийняті такі позначення:

n – номер кроку за модельним часом (дрібні значення номера n є характерною ознакою модифікованого методу Ейлера і дозволяють враховувати півкроку);

t – модельний відлік часу; від'ємне значення часу, як і номера кроку, введені виключно для поширення циклічного обчислення на початковий період; знак “мінус” слід сприймати формально, він означає, що йдеться про час (так само – крок) відрахований у минуле від моменту $t=0$;

\bar{r} (або \bar{r}^n , тут і далі $n = -\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}, 1, \dots$) – матриця-рядок, компонентами якої є радіуси-вектори центрів куль: $\bar{r} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_N)$ або $\bar{r}^n = (\bar{r}_1^n, \bar{r}_2^n, \dots, \bar{r}_N^n)$, де N – загальна кількість куль;

\bar{v} (або \bar{v}^n) – матриця-рядок, компонентами якої є вектори швидкості центрів куль: $\bar{v} = (\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_N)$ або $\bar{v}^n = (\bar{v}_1^n, \bar{v}_2^n, \dots, \bar{v}_N^n)$;

$\bar{\omega}$ (або $\bar{\omega}^n$) – матриця-рядок, компонентами якої є вектори кутових швидкостей куль: $\bar{\omega} = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_N)$ або $\bar{\omega}^n = (\bar{\omega}_1^n, \bar{\omega}_2^n, \dots, \bar{\omega}_N^n)$;

\bar{F} (або \bar{F}^n) – матриця-рядок, компонентами якої є вектори рівнодіючих всіх активних і пасивних сил (крім сил інерції) для кожної окремої кулі: $\bar{F} = (\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_N)$ або $\bar{F}^n = (\bar{F}_1^n, \bar{F}_2^n, \dots, \bar{F}_N^n)$;

\bar{M} (або \bar{M}^n) – матриця-рядок, компонентами якої є вектори моментів сил, що входять до матриці-рядка \bar{F} : $\bar{M} = (\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_N)$ або $\bar{M}^n = (\bar{M}_1^n, \bar{M}_2^n, \dots, \bar{M}_N^n)$;

\bar{a} (або \bar{a}^n) – матриця-рядок, компонентами якої є вектори прискорень центрів куль: $\bar{a} = (\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_N)$ або $\bar{a}^n = (\bar{a}_1^n, \bar{a}_2^n, \dots, \bar{a}_N^n)$;

$\bar{\varepsilon}$ (або $\bar{\varepsilon}^n$) – матриця-рядок, компонентами якої є вектори кутових прискорень центрів куль: $\bar{\varepsilon} = (\bar{\varepsilon}_1, \bar{\varepsilon}_2, \dots, \bar{\varepsilon}_N)$ або $\bar{\varepsilon}^n = (\bar{\varepsilon}_1^n, \bar{\varepsilon}_2^n, \dots, \bar{\varepsilon}_N^n)$.

Найскладнішим у такій обчислювальній моделі є визначення рівнодіючих сил, що діють на даний момент модельного часу на кожну кулю. Для i -ї кулі рівнодіюча сила складається із нормальних та зсувних сил пружно-пластичної взаємодії з сусідніми кулями й стінами і сил тертя в точках контакту з ними. Умови контакту між дискретними елементами можна описати рядом формальних параметрів, значення яких можна визначити з порівняльного аналізу результатів чисельних та фізичних експериментів.

Висновки

Від впровадження методу дискретних елементів у дослідження фізико-механічних процесів, що відбуваються в гірничих масивах Донбасу, очікується розробка нових способів прогнозування і оцінки стійкості породних оголень, ефективності застосування тих чи інших засобів керування геомеханічним станом масиву.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Cundall P.A., Strack D.L. A discrete numerical model for granular assemblies // *Geotechnique*. – 1979. – № 1. – С. 47–65.
2. Нагорный Ю.И., Приварников Ю.К. Об устойчивости стержней при динамическом нагружении // *Прикладная механика*. – 1966. – Том II. – Вып. 2. – С. 70–75.
3. Маневич Л.И., Приварников Ю.К. Нелинейные колебания и устойчивость стержней при динамическом нагружении // *Прикладная механика*. – 1966. – Том II. – Вып. 12. – С. 54–60.
4. Ткач А.А. Определение усилий в многоканатной подъемной установке // *Горная механика: Сб. научн. трудов. Донецк: НИИГМ им. М.М. Федорова*. – 1991. – Вып.1. – С. 102–109.
5. Ткач А.А. Влияние упругости укосного копра на величину экстренных усилий в канатах шахтной подъемной установки // *Горная механика: Сб. научн. трудов. Донецк: НИИГМ им. М.М. Федорова*. – 1991. – Вып.1. – С. 110–116.

ГЛАДКИЙ Антон Вікторович – студент факультету будівельних геотехнологій Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання;
- стійкість підземних виробок.

Тел. (0562) 45-85-69.

E-mail: gladky_anton@mail.ru

СОЛОДЯНКИН Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних геотехнологій і конструкцій Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- проблеми геомеханіки;

– стійкість підземних виробок.
Тел. (0562) 45-85-69.
E-mail: solodyank@mail.ru

ТКАЧ Олександр Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних геотехнологій і конструкцій Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:
– математичне моделювання;
– проблеми будівництва.
Тел. (0562) 45-85-69, 43-46-52.
E-mail: sgk@inbox.ru

Подано 15.10.2002

УДК 622. 281.74

О необходимости разработок геомеханических моделей на базе современных методов математического моделирования/А.В.Гладкий, А.В.Солодянкин, А.А.Ткач//Вісник ЖІТІ. – 2002. - № / Технічні науки. – С. : ил. – Библиогр.: 5 назв.

Определены актуальные задачи геомеханики применительно к закрытию, реконструкции и строительству шахт. Приведен краткий анализ этапов развития представлений о процессах, происходящих в породном массиве при ведении горных работ. Изложены основные принципы метода дискретных элементов и моделирования породного массива с его помощью.

УДК 622. 281.74

About necessity of development of geomechanical models on the basis of modern methods of mathematical modeling /A.V.Gladky, A.V.Solodyankin, A.A.Tkach//Вісник ЖІТІ. – 2002. - № / Технічні науки. – Р. : ill. – Refs.: 5 titles.

The actual tasks of the geomechanics with reference to closing, reconstruction and construction of mines are determined. The brief analysis of stages of development of performances about processes occurring in a rock mass at management of mining works is given. The basic principles of a method of discrete elements and modeling of a rock mass with his help are stated.