

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЧИСЛОВОТО МОДЕЛИРАНЕ ПРИ ИЗЗЕМВАНЕ НА ЗАПАСИТЕ ОТ ГРАНИЧНИЯ ЦЕЛИК В БЛОК 150 НА РУДНИК ЧЕЛОПЕЧ

Теменуга Георгиева¹, Иван Аврамов²

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София; t.georgieva@mgu.bg

² „Дънди Прешъс Металс Челопеч“ ЕАД, с. Челопеч, Софийска област; ivan.avramov@dundeprecious.com

РЕЗЮМЕ. Сред използваните в минната практика числени методи като мощен инструмент за изследване на състоянието на минния масив се явява методът на граничните елементи. За анализ на състоянието на граничния целик в блок 150 на рудник „Челопеч“ преди и по време на изземването му е приложен съвременен подход - числово моделиране. С помощта на специализирания минен софтуер Map3D е разработен 3D модел на целика и околния масив. Моделирани са всички етапи от неговото изземване, които са обособени в 26 минни стъпки. Този подход позволява да се предскаже с добра точност и надеждност, как ще реагира масивът на целика при извършване на минно-добивни работи в него. Извършеният анализ на резултатите дава възможно да се идентифицират местата с повишени напрежения, в които се създават условия за потенциална неустойчивост, както и да се оцени необходимостта от допълнително заздравяване на масива. Направена е оценка на степента на безопасност чрез сравняване на алтернативни технологични схеми, свързани с последователността на изземване на запасите и управлението на очакваните геомеханични проблеми при протичащите в масива процеси. Резултатите са използвани като основа за обсъждане на някои предварителни идеи и концепции, които биха могли да послужат за повишаване на безопасността и ефективността на всеки един от етапите на изземване на целика.

Ключови думи: числово моделиране, граничен целик, състояние на масива

APPLICATION OF NUMERICAL MODELING FOR CROWN PILLAR EXTRACTION IN BLOCK 150 OF CHELOPECH MINE

Temenuga Georgieva¹, Ivan Avramov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, t.georgieva@mgu.bg

² Dundee Precious Metals Chelopech, village of Chelopech, 2087, ivan.avramov@dundeprecious.com

ABSTRACT. The boundary element method is among the numerical methods used in mining practice and is a powerful tool for investigation of rock mass behaviour. A contemporary approach – numerical modeling is applied for analysis of the condition of the crown pillar in Block 150 in the Chelopech mine before and during the mining. Using the specialized mining software Map3D was developed three-dimensional model of the crown pillar and surrounding rock mass. The created model includes all mining stages, which are divided into 26 mining steps. This approach allows to predict with good accuracy and reliability, the response of the crown pillar during the mining works. The analysis of the results allows to identify the overstressed areas with potential instability, as well as to evaluate the need for additional ground support. An assessment of the safety rate has been made by comparing alternative technological methods considering the mining sequence and management of the expected geomechanical problems during the extraction of the rock mass. The results are used as a base to discuss some preliminary ideas and concepts that could be used to improve safety and effectiveness of each stage of crown pillar extraction.

Key words: numerical modeling, crown pillar, rock mass behaviour

Въведение

Моделирането на минен масив се различава значително от това във всеки друг тип среда, тъй като то трябва да отразява изменчивостта на природната средата, в която се извършват минните дейности. Твърде често данните, с които се разполага, са ограничени, непълни или липсват, което налага анализът и проектирането да се извършват със сравнително малко специфична информация за конкретния обект на изследване (моделиране). Природните фактори се изменят в широки граници и имат случаен характер, който следва задължително да се оцени при въвеждането им като входни параметри (Михайлов и Трапов 2001). От друга страна трябва да се има предвид, че якостните и деформационни свойства могат да се различават значително от действителните, тъй като те се определят чрез изследване на определен брой пробни тела,

чиито свойства се използват за целия масив. Всички тези обстоятелства имат пряко влияние върху процеса на моделиране и върху крайните резултати от решението на създадения модел. Това предполага при оценка на вероятността да настъпи разрушаване на масива, да се приложи математически вероятностен подход, чрез който да се отчете вероятностният характер на входните данни в модела, както и вероятността да настъпи дадено събитие, например загуба или запазване на устойчивостта. Имитационното моделиране и в частност методът Монте-Карло е един съвременен подход, който във всеки един момент може реално да оцени избрания риск при вземане на конкретни технически решения (Михайлов и Трапов, 2001). Подобно изследване в значителна степен би увеличило степента на достоверност на крайните изводи и очаквания, основаващи се на резултатите от числовото моделиране. Съгласно Wiles (2005) прецизността на всички прогнози

направени с помощта на числовото моделиране е строго ограничена от естествената изменчивост на геоложката среда.

Тези фактори имат най-голямо отражение върху надеждността на получените прогнози за поведението на масива и изменението на неговите свойства. Ето защо целта на приложението на числовото моделиране е да се добие представа за цялостното състояние (глобално и локално) на изследвания масив, а не да се навлиза в детайли по отношение на геометрията и на стойностите на изследваните характеристики в него. Разглеждането на всеки детайл от модела би довело до загуба на общата картина относно измененията на състоянието на изследвания минерален масив (камера, целик, минна изработка, етаж, подетаж, и др.).

За повишаване на надеждността и постигане на висока достоверността на резултатите от числовото моделиране, както и за получаването на по-надеждна прогноза относно възможните места и механизми на разрушаване на изследвания масив, е необходимо да се извършва непрекъснато калибриране на модела, предхождано от обратен анализ. Съгласно Grimmer (Grimmer et al, 2003) надеждността на самия обратен анализ е относителна и зависи от модела, от неговите параметри и ограничения. Удачен подход за извършването на този анализ е чрез използването на статистически методи за сравняване на разликите от много на брой отделни прогнози с тяхното общо поведение.

Тези задачи включва несъмнено и осъществяването на подходящ мониторинг, който да се осъществява чрез система за наблюдение, осигуряваща възможност за инструментални наблюдения и контрол на състоянието на масива в предварително определени характерни точки (Михайлов, 2007). Уредите трябва да уловят тренда на наблюдаваните характеристики, след което да определят нивата на предупреждение, като магнитуди на напрежения в скалите, амплитуди на движение, скорост на преместване и др. След започване на минните работи и отчитане на реалните данни от датчиците, геомеханичният модел трябва да се калибрира според инструменталните данни за преместванията в масива.

Настоящата публикация разглежда разработен геомеханичен модел на граничния целик в блок 150 на рудник Челопеч, в който запасите от целика се предвижда да бъдат иззети чрез прилагането на система с открито добивно пространство - камерна система с подетажно отбиване и последващо запълване на камерите. Изборът на тази система на разработване като най-ефективен и безопасен начин за условията на граничния целик е разгледан по-подробно от Георгиева (2015).

Цел и задачи

Целта на настоящата публикация е да опише създадените геомеханични модели изготвени преди изземване на добивните камери в граничния целик, на базата на който да се извърши прогноза, която да даде предварителна представа за поведението на околния масив, и да отговори на следните основни въпроси: (1) каква е неговата устойчивост във всеки един от етапите му на разработване; (2)

как влияят на устойчивостта му отгорележащите обрушени скали и какво е поведението му под техния товар, (3) какво е въздействието на прокараните нарезни изработки на ниво 345 върху цялостното състояние на целика; (4) какви мерки и методи да се приложат с цел постигане на по-надеждна прогноза на очакваното поведение на масива; (5) какви мерки и мероприятия да бъдат предприети за провеждането на дългосрочен и надежден мониторинг на масива.

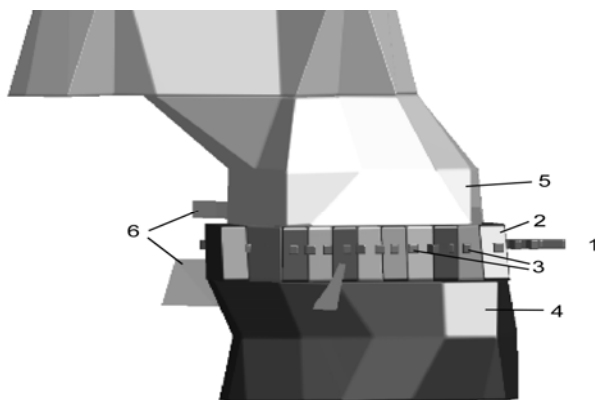
Задачите свързани с изследването на поставените въпроси се свеждат до изграждане на 3D геомеханичен модел като в случая е използван софтуера Map3D. Геометрията на модела, както и входните данни, които участват в него за различните видове среди, трябва максимално точно да пресъздава действителното състояние на моделираната част от масива. Друга задача се свежда до определяне на най-важните параметри на масива, които оказват съществено влияние върху неговото поведение и до проследяване на тренда и големината на тяхното изменение. Тези данни следва да бъдат сравнени с инструментални измервания на същите показатели, ако са налични такива. Сред основните задачи е да бъдат установени местата на локална неустойчивост, в случай че има подобни индикации, както и да се предложат мерки за предотвратяване на нежелани събития свързани основно със загуба на устойчивостта.

Геометрия на модела

Некоректно представената геометрия на моделирания обект може да доведе до неточности в крайната прогноза за действащите в него напрежения (Wiles, 2005). При изграждането на конструкцията на геометричния модел е използвано CAD приложението към софтуера Map3D.

На ниво 330 целикът има приблизителни размери 150 m дължина и ширина около 30 m, а на хор. 360 неговите размери са съответно дължина 170 m и ширина около 55 m. За да бъде отчетено въздействието на околния масив върху процесите, протичащи в целика, в модела е симулиран контактуващия с него масив. Непосредствено под целика между хор. 330 и хор. 260 са моделирани като едно тяло иззети и запълнени камери. Приблизителните размери на тези камери са дължина 30 m, ширина 20 m и височина 60 m. С цел да се отчете действителният товар, който трябва да понесе целикът и неговите конструктивни елементи, в модела е включен целият комплекс на обрушените скали над него, достигащи до повърхността. Така обрушките, които залягат непосредствено над този хоризонтален целик са с височина над 500 m. От голяма важност за адекватността на модела е той да отразява основните разривни нарушения в изследвания масив, по които е възможно да настъпят приплъзване, преместване и разтоварване на масива. В някои случаи може да има геоложки особености, които не могат да бъдат адекватно пресъздадени при моделирането. Изключването на такива особености може да направи резултатите от модела недействителни (Wiles, 2005). Необходимо е преди моделирането да се познават добре разривните структури и пукнатинните групи в масива, поради което предварително е изследвана структурната нарушеност на граничния целик. Така в разглеждания модел чрез равнини, отразяващи

данните от измерванията (структурното картиране) са включени три разривни структури, по които са установени движения - две на хор. 330 (Block 3 = 180/65° и Block 13 = 145/80°) и една на хор. 360 (Block 23 = 100/85°). Зададен е и контактът в горницето на рудното тяло. Описаният геометричен модел на граничния целик в блок 150 е показан в 3D изглед на фигура 1.



Фиг. 1. 3D модел на граничния целик в блок 150 на рудник Чelopeч: 1) граничен целик; 2) проектни добивни камери в целика; 3) изработки на ниво 345; 4) иззети и запълнени камери под целика; 5) обрушени скали; 6) структурни нарушения.

Така построената геометрия на модела на граничния целик пресъздава с достатъчно добра точност и пълнота действителните форма и размери на този хоризонтален целик. На всеки един от изграждащите го елементи са присвоени и характерните му свойства, които се изискват от софтуера. Това се отнася както за характеристиките на изграждащите го скали и запълнения, така и за структурните нарушения, които го пресичат.

Изследвани параметри

Проблемът за контрола на геомеханичното състояние на масива се решава с изследване на динамиката на изменение на напреженията и деформациите в подготвителните и добивните изработки (Велков и Михайлов, 2010).

За изследване на напрегнато-деформираното състояние (НДС) на скалния масив в близост до подземните минни изработки първо е необходимо да се разполага с надеждна информация за началното напрегнато състояние на масива. Съществено влияние върху резултати от модела могат да имат измененията в естественото поле на напрежения в масива и механичните свойства на скали. Тяхното влияние може да бъде оценено по-точно ако техните стойности бъдат установени още преди масивът да е повлиян от миннодобивните дейности, т.е. да се оцени естественото поле на напреженията в масива.

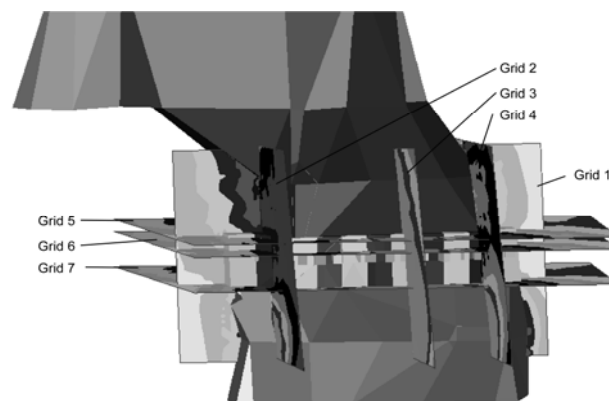
Използвайки възможностите за генериране на данни на софтуера Mar3D, от модела е направена извадка на стойностите на следните показатели поотделно за източната и западната част на целика:

- ❖ максимално и минимално главно напрежение (σ_1 , σ_3);
- ❖ тангенциални (срязващи) напрежения (τ);
- ❖ общи премествания (d_{total});
- ❖ коефициент на якост (Strength Factor-C).

За установяване на влиянието на минните работи върху състоянието на граничния целик е изследвано изменението на гореописаните показатели във всяка минна стъпка. В следствие на това са установени местата с повишена концентрация на напрежения и тези, в които съществува опасност от настъпване на нежелани събития (загуба на локална устойчивост).

С цел изследване на посочените параметри във всички участъци на целика, през него са построени 7 резултатни равнини показани на фигура 2. Те пресичат целика както надлъжно по цялата му дължина (Grid 1), така и напречно във вертикално направление с равнини минаващи в близост до двата фланга и в средата на целика (Grid 2÷4), а също и с хоризонтални напречни равнини (Grid 5÷7) на ниво 360, 345 и 330.

При решаването на модела добивните работи ще се отразят пряко върху разпределението на напреженията. При еластичния модел, какъвто е използван в настоящата публикация, съществени фактори, оказващи влияние върху разпределението на напреженията са геометрията на модела, големината на напреженията преди извършване на добивните работи и физико-механичните свойства на скалите.



Фиг. 2. 3D модел на граничния целик в блок 150 на рудник Чelopeч с показани местата на резултатните разрезни равнини: 1) надлъжна резултатна разрезна равнина (Grid 1); 2) напречни вертикални резултатни разрезни равнини (Grid 2÷4); 3) напречни хоризонтални резултатни разрезни равнини (Grid 5÷7).

Ред на изземване на запасите

За да бъде оценено влиянието на минните работи върху състоянието на масива е разгледан въпросът за последователността на извършване на добивните дейности. За определяне на оптималния ред на изземване на целика от гледна точка на геомеханичните фактори и при отчитане на определената система на разработване и технология на изземване, са разгледани следните 3 варианта (Георгиева, 2015):

- ❖ вариант 1 – последователно изземване на камерите от североизточния към югозападния фланг;
- ❖ вариант 2 – шахматно изземване и запълване на първични и вторични камери;
- ❖ вариант 3 – едновременно изземване и запълване на камерите от центъра към двата фланга;

Разработени са геомеханични модели, чрез които да се направи предварителен анализ за НДС на масива с цел минните работи да се извършват при най-благоприятните условия от гледна точка на устойчивостта на масива.

При вариант 1 е отчетено, че всяка камера ще се изземва в усложнени условия, тоест стените им ще са подложени на натоварване от максималното главно (хоризонтално) напрежение.

Вариант 2 показва, че вторичните камери, които в даден момент ще служат и като целици, ще бъдат подложени на концентрация на напрежения и последващото им изземване ще е усложнено.

При вариант 3 в най-усложнени условия ще се разработват първите няколко камери, когато и коефициентът SF-C ще има най-ниски стойности. След това с напредване на минните работи, съгласно прогнозата на модела, се очаква повишаване на този коефициент и намаляване на концентрацията на действащите в целика напрежения.

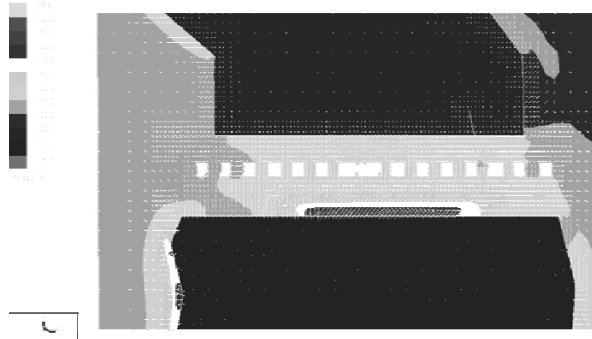
След направения анализ на резултатите е избран вариант 3, при който изземването и последващото запълване на камерите ще се извършва от центъра на целика към двата му фланга. Предвижда се последователно изземване на проектните камерите в посочения ред.

Както се вижда и от Фиг. 3, установена е значителна концентрация на σ_1 още преди началото на добивните работи в средата на целика му между хор. 330 и хор. 345. Друг участък от целика, концентратор на напрежения се явяват целиците между нарезните изработки на хор. 345. Тези обстоятелства трябва да бъдат отчетени още преди „отварянето“ на първата добивна камера.

Описание на минните стъпки и моделиране на променливата геометрия

Проектните камери в граничния целик са моделирани като обемни тела, симулиращи масива, който ще се из земе между хор. 330 и хор. 360. Последователността на изземване на запасите (камерите) е отразена в изградения модел чрез създаването на 26 броя минни стъпки. Те напълно отразяват развитието на минните работи, започвайки от ненарушен масив и достигайки до изземването и запълването на последната проектна добивна камера в целика. В междинните етапи са моделирани 11 добивни камери, които се изземват последователно. В минните стъпки (МС) на модела е спазена следната последователност: МС 1: Симулирана е обрушката над граничния целик; МС 2: Добавени са прокараните нарезни изработки на хор. 345; МС 3: Симулирани са и изетите камери под целика между хор. 330 и хор. 260 като празно пространство; МС 4: Изетите камери между хор. 330 и хор. 260 са симулирани като запълнено с пастово запълнение пространство; МС 5: Изета е първата камера от целика - № 15А, която е представена като като празно пространство; МС 6: Камера № 15А е запълнена с пастово запълнение; МС 7÷26: Симулирани са етапите на изземване и запълване на всяка една от проектните добивни камери по избрания вече ред, а именно камери №№ 15А, 13А, 17А, 11А, 19А, 9А, 7А, 21А, 23А, 3А и 1А. През последните две МС – 25 и 26 се изземва и запълва с пастово запълнение единадесетата (пос-

ледна) проектна добивна камера № 1А от граничния целик, намираща се непосредствено до границата на рудното тяло със зоната на орудяването. Така оформената геометрия на модела създава особено добри възможности за коректно проследяване на процесите, извършващи се в масива и за направи на детайлни анализи на получаваните от решението резултати.



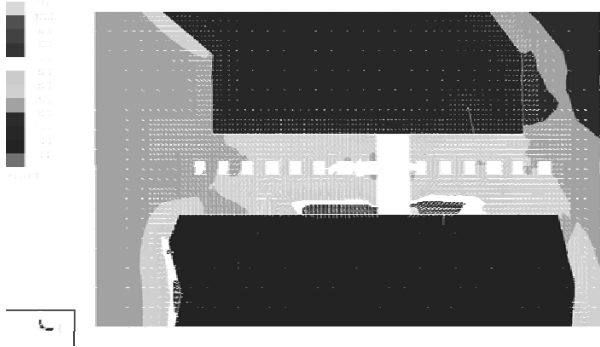
Фиг. 3. Модел на граничния целик с контури, показващи големината на σ_1 по надлъжна равнина Grid 1 преди започване на добивните работи в него (МС 4).

Резултати от моделирането

Анализът на стойностите на напреженията показва как те са се изменили под влиянието на добивните работи в сравнение с тяхната големина преди започването на добива (Wiles, 2005). Разрушаване на масива настъпва, когато действащите в него напрежения превишават якостта му. Затова е необходимо да бъдат определени коректно както големината на напреженията в масива преди изземването му, така и неговата якост. Установена е значителна изменчивост в естественото напрегнато състояние на масива, формиращ граничния целик в блок 150 на рудник Челопеч. С цел локализиране на местата на повишена концентрация на напрежения в него и на такива, превишаващи носещата способност на масива, е извършен детайлен анализ на резултатите получени при решението на модела. Те са систематизирани и организирани в база от данни, съдържаща информация за стойностите на гореописаните пет показателя, както и техните изменения във всяка минна стъпка поотделно. В настоящата публикация ще бъдат разгледани само най-характерните участъци от масива на целика, в които се счита че могат да се очакват изменения в поведението му, в т.ч. значителни промени на магнитуда на главните действащи напрежения в етапа на симулиране на минните стъпки, увеличаване на големината и скоростта на преместванията, намаляване на коефициент на якост с увеличаване на броя на изетите камери от граничния целик и други отличителни признаци.

Анализът на резултатите, получени при решението на модела по надлъжна разрезна равнина (Grid 1), пресичаща целика по цялата му височина, сочат за зони на повишаване на стойностите на максималното главно напрежение σ_1 при започване на добивните работи в него (Фиг. 4). Това състояние е характерно още при изземването на камера 15А (първата добивна камера) в МС 5, където най-високи стойности за σ_1 са установени по стените на камерата и в зоната около тях между хор. 330 и хор. 345. Интерес пред-

ставяват и целиците на хор. 345, в които стойностите на σ_1 се повишават и достигат величини между 60 и 66 МПа.



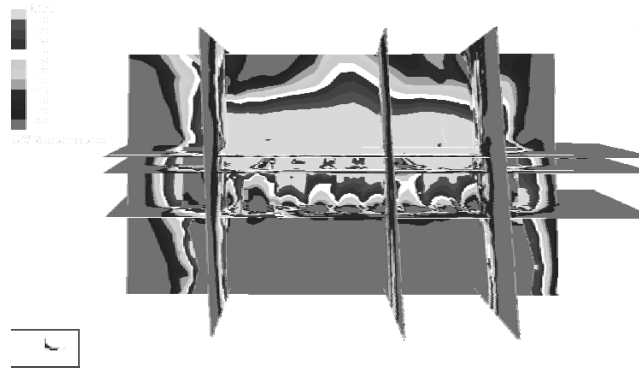
Фиг. 4. Модел на граничния целик с контури, показващи големината на σ_1 по надлъжна равнина Grid 1 след изземване на камера 15A (МС 5).

При останалите изследвани показатели също се наблюдават значителни промени. Така например в същата МС при анализ на срязващите напрежения от двете страни на камерата по цялата ѝ височина се формират зони с повишени стойности на τ . Тази тенденция е валидна и за вертикалните напрежения, действащи в целика около камерата. От друга страна обратнопропорционално на големината на действащите напрежения се изменят стойностите на коефициента на якост. Съгласно решението на модела между хор. 330 и хор. 345, той намалява с около 20 % в околния масив след изземването на първата добивна камера в сравнение с неговите стойности в началните МС.

В следващите етапи (МС) при изземването на камери 13A и 17A, тази тенденция се запазва. След това, с напредване на добивните работи в целика, тенденцията се променя и моделът прогнозира постепенно разтоварване на масива от главните и срязващите напрежения, както и повишаване на коефициента на якост. Съгласно решението на модела това се очаква да настъпи след изземването на камера 19A в МС 13.

Аналогично на очакванията, резултатите от моделирането показват, че преместванията на масива около издетите камери ще бъдат по посока към издетото пространство, което е основание да се приеме, че прогнозите са адекватни. Тук следва да се отбележи и ролята на пастовото запълнение, чието основно предназначение е да не позволява реализирането на значителни премествания в конструктивните елементи (стени и таваните на камерите и горележащите обрушовки, както и да остане достатъчно устойчиво при изземването на съседните на него камера.

Особен интерес представлява състоянието на околния масив след изземването и запълването на всички проектни добивни камери от целика. Този въпрос най-отчетливо може да бъде разгледан по отношение на коефициент на якост. На Фиг. 5 се вижда резултатът от прогнозата за стойностите на SF-C в МС 26 получена по всички резултатни разрезни равнини, на които се виждат участъци с по-ниски стойности на SF-C около ръбовете на целика и по контактните на вертикалните му стени с рудния масив.



Фиг. 5. Модел на граничния целик с контури, показващи големината на SF-C по всички равнини след запълване на камера 1A (МС 26).

Изключително полезен е фактът, че вече е започнало изземването на запасите от целика. Това позволява да се извършва непрекъснат анализ и сравнение между получените от решението на модела прогнози и действителното поведение на масива в реални условия и време. Наред с това могат да се правят корекции на стойностите на параметрите, които характеризират различните материални среди, участващи в модела.

Заклучение

Сред основните предимства на числените методи е, че чрез тях може да се получи предварителна прогноза, която при зададени коректни входни параметри, с достатъчна надеждност може да се предвиди реакцията на минния масив преди, по време и след приключване на добивните дейности в него. От фундаментално значение е да се определена надеждността на прогнозата, въз основа на която да се оценява геомеханичният и технологичен риск, които имат влияние върху икономическите показатели. Основният въпрос е надеждността, която се установява чрез калибриране на модела и корекция на входните параметри. Това задача включва измервания, проверка и сравнителен анализ на наблюдаваната реакция на масива с тази прогнозирана от модела. Конкретните резултати от числовото моделиране могат пряко да се използват за анализ на връзката между поведението на масива, деформации, премествания, напрежения, коефициент на безопасност и размер на обрушената зона. От друга страна прогнозираните от решението на модела зони, показващи повишена концентрация на напрежения в масива, следва да бъдат взети под внимание и на тези места да се провеждат допълнителни инструментални наблюдения на преместванията в масива. Чрез извършването на непрестанен мониторинг на поведението на масива на базата на събрани конкретни данни следва да се направи сверяване на измерените и предварително прогнозираните параметри, характеризиращи изследвания масив. На тази база би могло да се изготвят критериите за определяне на устойчивостта, или на потенциално неустойчивото поведение на масива на целика.

Друг изключително важен анализ е този свързан с оценката на прогнозираните обрушвания на стените на камерите върху икономическите показатели на добива изразени чрез размера на загубите и обедняването.

Съвкупността от всички описани принципи и приложни аспекти на моделирането с Map3D показват полезността и ефективността от приложението на числовото моделиране в минното дело като несъмнено неговото използване при миннодобивните работи в рудник Челопеч е оказало многократно положителен ефект както в технологичен, така и в икономически аспект върху дейността на рудника. Той представлява мощен инструмент за прогноза на реакцията на масива, което спомага за повишаване на нивото на безопасността и намаляване на риска при извършване на минните дейност, пример за което е представения модел на граничния целик в блок 150 на рудника.

Литература

Велков, Ц., Г. Михайлов. Информационен модел за геомеханично обслужване на камерно-целикова система на разработване. *Сборник доклади. II Национална научно-техническа конференция Технологии и практики при подземен добив и минно строителство*. Девин, 2010. - 9-16.

Георгиева, Т. Технологични и геомеханични аспекти при изземването на граничния целик от блок 150 на рудник

Челопеч. *Сборник доклади. XIII-та национална научно-приложна младежка конференция*. С, 2015. - 78-83.

Михайлов, Г., Г. Трапов. Вероятностен подход при определяне на квалификационните характеристики на скалния масив и оценка на риска при тяхното използване в технически решения. *Сборник доклади. Международна научна сесия „Управление на природни и техногенни рискове“*. Доклад 46. С, 2001. - 257-261.

Михайлов, Г. Подход за изграждане на система за наблюдение и контрол на геомеханичното състояние на добивните технологии. *Сборник доклади. Международна конференция по геомеханика*. Несебър, 2007. - II-93-II-98.

Brummer, R., P. Andrieux, C. O'Connor. Stability analyses of undermined sill mats for base metal mining. *Proceedings of the third international FLAC Symposium*, Sudney, Ontario, Canada, 2003. - 181-188.

Wiles, T.D. Reliability of numerical modelling predictions. - *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 43, 2005. - 454-472.

Wiles T.D. Map3D user's manual, *Mine modelling Pty report*, 2005. - 472 p.

Статията е рецензирана от проф. д-р Д. Анастасов и препоръчана за публикуване от кат. "Подземно разработване на полезни изкопаеми".