

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕДА НА РАЗВИТИЕ НА МИННИТЕ РАБОТИ ПРИ КАМЕРНО-ЦЕЛИКОВАТА СИСТЕМА НА РАЗРАБОТВАНЕ СЪС ЗАПЪЛВАНЕ

Илия Борисов Гърков

"Челопеч Майнинг" ЕАД, с.Челопеч, обл.Софийска

РЕЗЮМЕ. Изследването на реда на развитие на минните работи в даден минен участък е комплексна инженерна задача, даваща своевременно отговор на въпросите свързани оценката на адекватността на така избрания и анализиран ред. От друга страна спомага за определяне на необходимите действия и предохранителни мерки по отношение на устойчивостта на минните изработки и подходящото им закрепване. В този доклад е изследван редът на развитие на минните работи при прилагане на камерно-целиковата система на разработване със запълване. Чрез използване на програмните продукти Map3D (Map – Three-dimensional) [1] и BEAP3D (Boundary Element Analysis Program – Three-dimensional) [2] е съставен геомеханичен модел на минен участък с експлоатационен блок №103 в рудник "Челопеч". Моделирани са нарезните изработки, панелните целици и развитието на минните работи в добивната камера, в момент на извършване на добивни работи на дълбочина 400m под повърхността (хор.405). Моделирани са и обрушените пространства, получени следствие на предишно прилагане на системата с подетажно обрушаване в същия експлоатационен блок до хор.475. Извършен е анализ на напрегнатото и деформирано състояние на скалния масив и е оценено влиянието, което добивните работи оказват върху устойчивостта на панелните целици, предпазния целик и околния масив. Установени са зоните на локална неустойчивост на изработките и необходимостта от крепеж. Показано е, че избраният ред на извършване на добивните работи няма да доведе до критично състояние на целиците.

A STUDY OF THE MINING SEQUENCE IN BACKFILL OPEN STOPING

Iliia B. Garkov

Chelopech Mining EAD

ABSTRACT. The study of the mining sequence in a production area is a complex engineering task that will give an answer to the questions related to the assessment of the applicability of the selected and analysed sequence. On the other hand, it will help identify appropriate safety measures to ensure the stability of the mine workings and their support. This report focuses on the sequence of mining in backfill open stoping. A geomechanical model of production block 103 in Chelopech Mine is developed using the Map3D (Map Three-Dimensional)[1] and BEAP3D software (Boundary Element Analysis Program – Three-Dimensional) [2]. It models the extraction drifts, the pillars between them and the extraction sequence in the drawpoints at a mining depth of 400 m below surface (405 masl). It also models the sublevel caves to the 475 masl resulting from the historical application of the sublevel caving method. It also analyses the state of stress and deformation of the ambient rock mass and assesses the impact from the mining operations on the stability of the drawpoint pillars, the safety pillar and the ambient rock. It identifies the zones of local instability of the drifts and the support requirements. It is demonstrated that the selected sequence of extraction will not jeopardize the pillar stability.

Въведение

При разработването на запасите в находище „Челопеч“ чрез прилагане на системата с подетажно обрушаване се е достигнало до значителни нарушения на целостта на околния вместващ масив, достигащи и до проявление на обрушавките на повърхността. Продължаващото приложение на системата с подетажно обрушаване (както и на други системи от същия клас) би повлияло негативно върху основните минни дейности в различни аспекти. Например: занижени технико-икономически показатели на рудника, базирани на високите (но присъщи на прилаганата система на разработване) стойности на загубите и обедняването; разширяване на зоните на обрушаване и усложняване на глобалната геомеханична картина в района на находището; увеличаване на района, дрениращ подземните и повърхностните води и влошаване на водния баланс на рудника; и не на последно място влошаване на екологичната обстановка в района и др. Тези негативни тенденции са особено показателни по отношение на минно-добивните дейности извършвани в

експлоатационен блок 103. За отработване на запасите, разположени между хор.405 и хор.440 бе предложено да бъде приложена камерно-целиковата система на разработване и запълване, като блокът бъде разделен на няколко „помощни“ (първични) и една „основна“ (вторична) добивни камери. Съществен интерес както от инженерно-техническа и технологична, така и от геомеханична гледна точка представлява изземването на запасите в основната добивна камера.

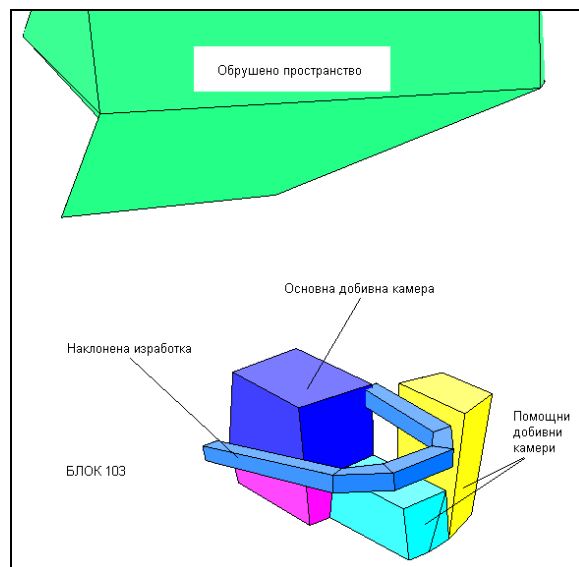
Постановка на задачата

За да бъде оценено и анализирано влиянието на минно-добивните работи по отношение устойчивостта на околния масив и в частност рудните целици е необходимо да бъде изграден подходящ модел. Моделът трябва да обхваща минните изработки прокарани в разглеждания минен участък, добивните камери и междукамерни целици, както и достатъчно представителна част от околния масив.

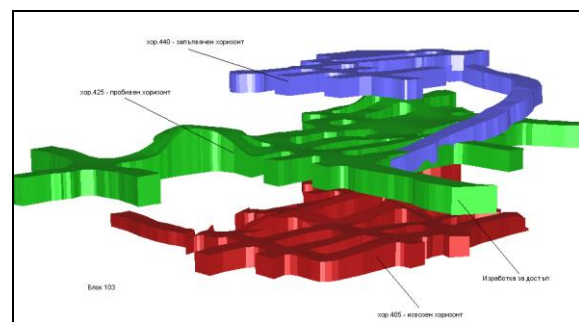
Необходимо е да се анализира разпределението на напреженията и устойчивостта на масива, като се търсят отговори на въпросите, свързани с потенциалното формиране на зони на концентрация на напреженията (в т.ч. местоположение и размери на тези зони, както и евентуалните им промени в пространството при различните етапи на развитие на минно-добивните работи). Анализът на устойчивостта на масива трябва да даде отговори къде и защо масивът е неустойчив, каква част от минно-подготвителните (и евентуално и разкриващите) изработки попадат в неустойчиви зони, както и вида на необходимия крепеж. От друга страна е необходимо да се анализира и влиянието на тази неустойчивост върху ефективността на провежданите добивни работи. Задачата се решава чрез създаване на „поредица“ от модели, отразяващи последователността на развитие на минните работи.

Описание на модела

Съставеният геомеханичен модел на минен участък, обхваща рудния масив в експлоатационен блок №103 и прилежащата част от вместващите скали. Моделирани са нарезните изработки, панелните целици и развитието на минните работи в основната добивна камера, в момент на извършване на добивни работи на дълбочина 400m под повърхността (от хор.405 до хор.440). Моделирани са и обрушените пространства, получени вследствие на предишно прилагане на системата с подетажно обрушаване в същия експлоатационен блок до хор.475. Наклонените изработки, изработки за достъп до работните подетажи и нарезните изработки са прокарани с размери на напречното сечение 4,5mх4,5m. На по-късен етап една част от тях са допълнително проширени до сечение с размери 5,0mх5,0m (фиг. 1). В границите на експлоатационния блок са разположени три работни подетажа (фиг. 2): подетаж на хор.405, осигуряващ доставката и извозването на отбитата рудна маса (извозен хоризонт); подетаж на хор.425, осигуряващ прокарането на възходящи и низходящи взривни сондажи (пробивен хоризонт) – фиг.3; подетаж хор.440, осигуряващ достъп за осъществяване на запълвачните работи (запълвачен хоризонт). Прокарането на наклонените изработки, изработките за достъп и нарезните изработки се осъществява чрез електро-хидравлични пробивни карети. Прокарането на взривните сондажи се осъществява с електро-хидравлични добивни сонди. Доставката и извозването на добитата руда и доставката на запълвачния материал се осъществява с помоща на самоходни дизелови челни товариачи. Прилага се сухо скално-насыпно запълнение. В моделът е включен и бариерен целик с дебелина 40m (от хор.440 с таван на кота 445 до хор.485). Моделът отразява състоянието на минно-добивните работи в етап на отработени и запълнени помощни добивни камери и отработена, но незапълнена основна добивна камера, с размери: дължина 40m, ширина 30m, височина 40m.



Фиг. 1. Общ изглед на модела



Фиг. 2. Работни подетажи на експлоатационен Блок 103

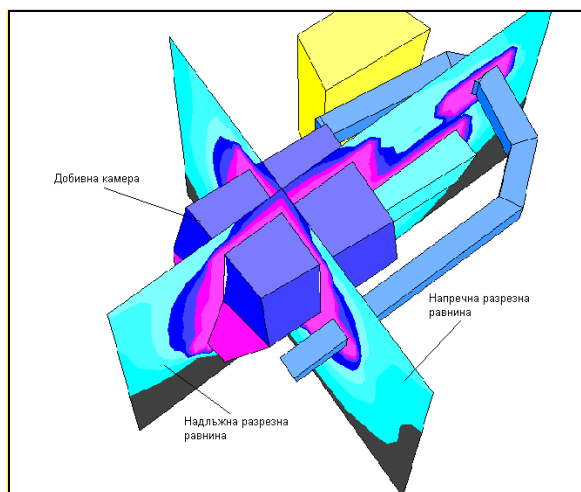
За изчисляване на модела са въведени следните входни данни: якост на едноосов натиск $\sigma_n = 150 \text{ MPa}$; модул на Юнг – 40000MPa; коефициент на Поасон – 0.23; материални константи на Hoek-Brown – $m=7.4$ и $s=0.045$; кота на повърхността $z=800\text{m}$; посока на максимално главно напрежение - 354° ; ъгъл на максимално главно напрежение - 10° ; посока на минимално главно напрежение - 119° .



Фиг. 3. Хор.425 – основен пробивен хоризонт на Блок 103

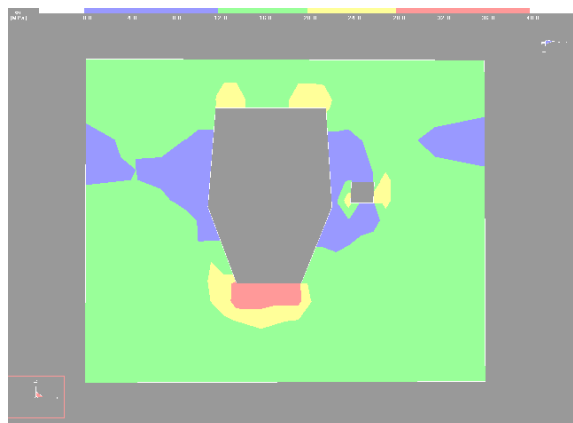
Анализ на получените резултати

За да бъде оценено въздействието на проведените минно-добивни работи, както и да бъдат изследвани и анализирани напрегнатото и деформирано състояние на масива и междукामерните целици са построени две разрезни равнини (фиг. 4) – една по напречната (Резултантна разрезна равнина №1) и една по надлъжната ос (Резултантна разрезна равнина №2) на камерата. По тези разрезни равнини са получени резултати за стойностите на максималното главно напрежение, минималното главно напрежение и коефициента на устойчивост на Хоек-Браун.



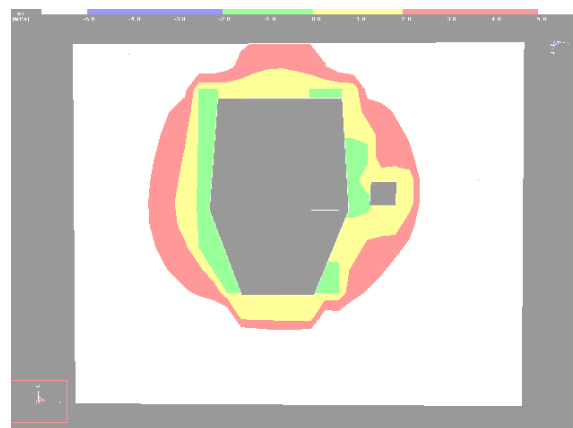
Фиг. 4. Резултантни разрезни равнини

При анализът на резултатите, получени по разрезна равнина №1 се установява наличието на зони на повишаване и на понижаване на стойностите на максималното главно напрежение $\sigma_1^{\max}$ (фиг.5), разположени съответно в тавана и стените на основната добивна камера. В тавана на разглежданата камера, стойностите на максималното главно напрежение достигат до 27MPa, докато в надлъжните стени на камерата - от 4-8MPa (за срещуположната на наклонената изработка стена) до 8-12MPa (за стената, разположена от страна на наклонената изработка).



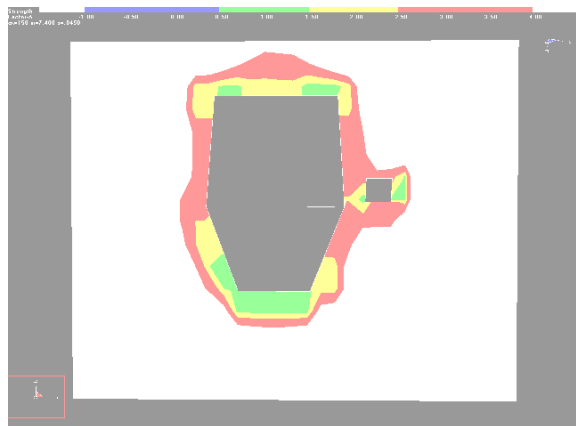
Фиг. 5. Стойности на максимални главни напрежения по разрезна равнина №1

Интерес представлява състоянието на масива около наклонената изработка за достъп до запълвачния хоризонт. Около стените на изработката се формират зони на повишаване на стойностите на максималното главно напрежение, достигащи до 25MPa. Тези зони са с размери, съответно до 2m навътре в целика, разделящ наклонената изработка и добивната камера и до 4m в околния масив, разположен от дясната страна на изработката. По различно изглежда картината по отношение на стойностите на минималното главно напрежение $\sigma_1^{\min}$ (фиг.6). Установява се формиране на една обща зона на разтоварване, обтичаща камерата от всички страни като установените стойности на минималното главно напрежение са както следва: в тавана на камерата – до 0,2MPa; в стената, разположена откъм наклонената изработка – до 0,23MPa; в срещуположната стена – до - 0,2MPa. В зоната на разтоварване попада и наклонената изработка като стойностите на минималното главно напрежение са около 0,3-0,4MPa.



Фиг. 6. Стойности на минимални главни напрежения по разрезна равнина №1

При така направеният анализ се установява, че масивът като цяло (околния масив и рудния целик) и в частност стените на изработките (добивната камера и наклонената изработка) запазват своята устойчивост (фиг.7). В тавана на основната добивна камера коефициентът на устойчивост на Хоек-Браун приема стойности $1,00 \div 2,00$ (2,50). В масива около стените ѝ, стойностите на същият коефициент достигат до $K=3,50$. Масивът около наклонената изработка също запазва устойчивостта си, като по-високи стойности на коефициента на Хоек-Браун се отчитат в горнището на изработката ($K=1,00 \div 3,50$), а по ниски – в масива, около стените ѝ ($K=1,00 \div 2,50$). Това се обяснява с настъпилото, следствие на проведените минно-добивни работи, преразпределение в полето на напреженията. Би трябвало да се отбележи и фактът, че масива запазва устойчивостта си както в зоните, характеризиращи се с концентрация на напреженията, така и в тези на разтоварване.



Фиг. 7. Стойности на коефициента на устойчивост по Хоек-Браун по разрезна равнина №1

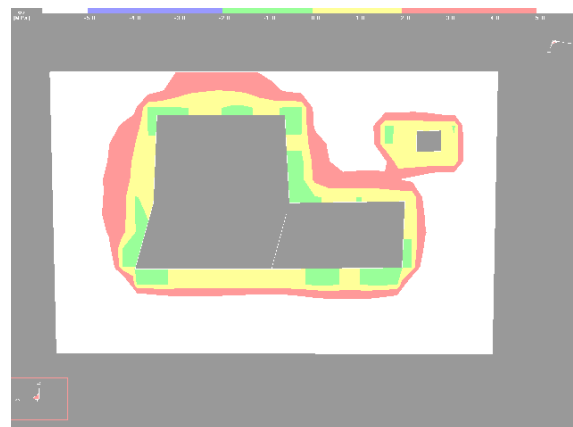
Анализът на резултатите, получени по разрезна равнина №2 (разположена по надлъжната ос на основната добивна камера) показва, че зоната на повишаване стойностите на максималното главно напрежение е обемно разположена и обхваща масива над тавана на цялата камера (фиг. 8). Максималното главно напрежение достига стойности от 15,8MPa до 17,7MPa като центъра на тази зона е изнесен към по-високата част на камерата, където е с размери до 5,2-5,5m навътре в масива. По ясно тази зона е обособена в горната част на наклонената изработка, т.е. в близост до хор.440, където стойностите на максималното главно напрежение достигат до 23MPa. Този факт се обяснява с преразпределението на напреженията, следствие на влиянието оказвано от добивната камера върху околния масив, респективно и върху изработките разположени в непосредствена близост до камерата.



Фиг. 8. Стойности на максимални главни напрежения по разрезна равнина №2

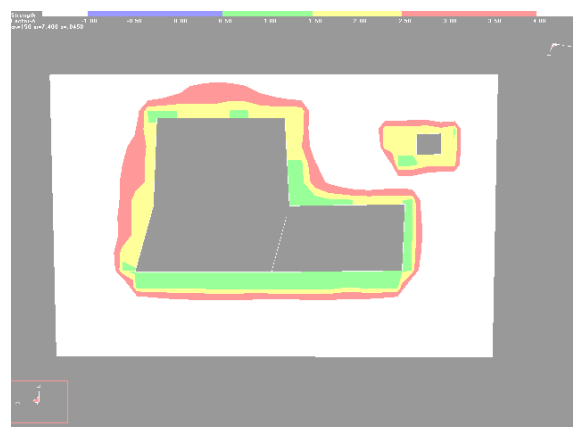
Резултатите, получени по надлъжната разрезна равнина (т.е.№2) по отношение на стойностите на минималното главно напрежение (фиг.9), в значителна степен са аналогични на тези получени по напречната равнина. Особено внимание заслужават зоните, в които минималното главно напрежение променя характера си и преминава в напрежение на опън. Една такава зона е сформирвана над средната висока част на тавана и около напречните ръбове на добивната камера, със стойности на минималното напрежение до -0,33MPa и навлизаща навътре в масива от 3,4m до 3,9m. В масивът, разположен

над тавана на наклонената изработка, минималното главно напрежение запазва характера си (т.е. на натиск) като приема стойности от порядъка на 0,08MPa.



Фиг. 9. Стойности на минимални главни напрежения по разрезна равнина №2

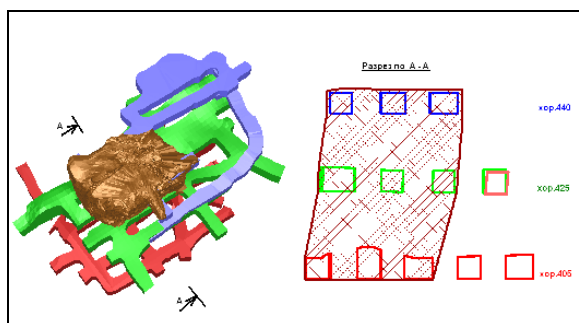
Резултатите, получени по отношение на коефициента на устойчивост на Хоек-Браун, потвърждават изводите направени по-горе (фиг. 10), а именно, че масивът като цяло запазва устойчивостта си. В тавана, по надлъжната ос на добивната камера коефициентът на устойчивост приема стойности $K=1,00 \div 2,50$. Изключение прави зоната, разположена около ръба, разграничаващ високата от ниската част на добивната камера, където стойностите на коефициента на Хоек-Браун спадат до $K=0,50 \div 1,00$. От друга страна тази зона се характеризира с много малки размери: до 5m по разпростиране и навлизаща до 0,5m навътре в масива. Масивът, разположен около горната част на наклонената изработка изцяло запазва устойчивостта си, като стойностите на коефициента на Хоек-Браун достигат до $K=1,50 \div 2,50$.



Фиг. 10. Стойности на коефициента на устойчивост по Хоек-Браун по разрезна равнина №2

Извършеният анализ позволява да бъдат направени важни изводи по отношение на устойчивостта на масива около основните минни изработки – основната добивна камера и наклонената изработка за достъп до запълвачния хоризонт. Основният извод е, че при провеждане на планираните и моделирани минно-добивни работи не се очаква усложняване на геомеханичната обстановка въпреки, че се оформят зони на локална неустойчивост.

Тези зони могат да бъдат преодоляни чрез прилагане на подходящ крепеж (фиг. 11).



Фиг. 11. Общ вид на основната добивна камера и на изработките на Блок 103

Например, в тавана на добивната камера, имайки предвид размерите на зоната на неустойчивост се препоръчва прилагането на въжени анкери, шахматно разположени и с дължина на анкера 9m и 12m. Препоръчва се за повишаване устойчивостта на целикът, охраняващ наклонената изработка (и по-точно в долната и част, разположена непосредствено над хор.425), да бъдат монтирани тръбно-фрикционни анкери с дължина $2,40 \div 3,00\text{m}$ или фрикционни анкери с дължина до 4,00m.

Заклучение

От направеният анализ се достига до извода, че тавана и стените на основната добивна камера запазват своята устойчивост при така избраният ред на изземване. От своя страна наклонената изработка, осигуряваща достъп до запълвачния хоризонт също остава в устойчиво състояние,

въпреки негативното влияние на добивните работи, провеждани в съседство с нея.

Използването на компютърно моделиране за симулация на реда на изземване и оценка на напрегнатото състояние и устойчивостта на масива, предоставя възможност за получаване на коректни и адекватни резултати по отношение промяната в глобалната и локална геомеханична обстановка в разглеждания минен участък. Това от своя страна спомага за избор на подходящ вид крепеж в проблемните зони и участъци.

Литература

- Terry Wiles.Map3D (www.map3d.com). Mine modeling Pty Ltd. Mt.Eliza, Victoria, Australia.
- BEAP – User Manual. CANMET, Canada. Mining Research Laboratories. 1993.
- Mine Designer Manual. CANMET, Canada. Mining Research Laboratories. 1993.
- Rock Characterization, Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods. Editor E.T.Brown. Pergamon Press, 1981. P.p.211.
- Стефанов, Др., Г.Михайлов, Г.Трапов. Изследване на геомеханичните условия и развитие на минните технологии в рудник „Челопеч“. Изследователски доклад. Р-21. София, 1966. 116с.
- Гърков, Ил.Б. Оценка и анализ на реда на изземване на запасите и изследване устойчивостта на масива в участък „Западен“ на рудник „Челопеч“. 9-та Национална Маркшайдерска Конференция, 2002. с.139-145.

Препоръчана за публикуване от
Катедра “Подземно разработване на полезни изкопаеми”, МТФ