

АСПЕКТИ НА ГЕОМЕХАНИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА ПОДЗЕМНИ ДОБИВНИ УЧАСТЪЦИ

Илия Борисов Гърков

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

РЕЗЮМЕ. На съвременния етап на развитие на минната наука различни минно-инженерни задачи успешно биват решавани чрез използване на числените методи на механиката на скалите, например метода на граничните елементи. Решението по този метод позволява да се установят предварително зоните на неустойчивост и да се предприемат необходимите корекции както по отношение на размери и пространствено разположение на конструктивните елементи на прилаганата система на разработване, така и по отношение на прилагания ред на водене на минните работи. В този доклад са изложени някои основни аспекти на геомеханичното моделиране на подземни добивни участъци, в които се прилага камерно-целиковата система на разработване с последващо запълнение. Изискванията към моделирането са съобразени с тези, необходими при използване на програмния продукт BEAP3D (Boundary Element Analysis Program – Three-dimensional) [1].

ASPECTS OF GEOMECHANICAL MODELLING OF UNDERGROUND PRODUCTION AREAS

Iliia B. Garkov

Chelopech Mining EAD

ABSTRACT. In the modern era of mining science a number of mining-engineering tasks are successfully addressed by using numerical rock mechanical methods such as the border elements method. This method provides solutions that help early identify the zones of low stability and adjust both the mining design layout and the sequence of mining operations accordingly. This report elaborates on some of the major aspects of geomechanical modeling of underground production areas where backfill open stopping is used to mine the ore. The modeling requirements are harmonized with the user options of the BEAP3D software (Boundary Element Analysis Program – Three-Dimensional), [1].

Въведение

При изграждане на геомеханичен компютърен модел, отразяващ условията и спецификата на конкретната минна задача (рудник, участък, блок, етаж, камера, изработка и т.н.) е необходимо да бъдат спазвани определени изисквания към изгражданият модел, свързани с прилаганата система на разработване. Моделът трябва да отговаря както на естествената последователност на водене на минните работи, така и на пространствените параметри на изследвания участък (т.е. на технологията на водене на минните работи). От своя страна, степента на коректност на получените резултати отговаря на степента на коректност на входната информация, включваща данни за стойностите на естествените напрежения, скално-механичните характеристики на различните моделирани масиви, пространствените размери и местоположение на моделираните обекти и т.н.

Цел на геомеханичното моделиране

Основна цел на моделирането е получаването на качествени и количествени резултати относно разпределение на напреженията (тип, посока и големина), посока и големина на преместванията и деформациите, размери на зоните на неустойчивост или разрушаване и т.н. На следващ етап, въз основа на получените резултати

да се предприемат необходимите действия по проектиране и планиране на крепежните работи, промяна в размерите на конструктивните елементи на прилаганата система на разработване или промяна в реда на отработване на запасите.

Преразпределение на напреженията

Прокарването на подготвителни и нарезни изработки и провеждането на добивни работи предизвиква преразпределение на естествените напрежения в скалния масив. Въз основа на това се променят както стойностите и посоката на напреженията, така и техният тип – т.е. преминават от напрежения на натиск в такива на опън и обратното. В части от масива, разположен около изработките и добивното пространство е възможно да се формират зони на концентрация на напреженията, зони на разтоварване, зони на локална или глобална неустойчивост.

Поемане на товар от целиците

Рудните и изградените изкуствени целици поемат част от товара на горележащите скали (ненарушени масиви или обрушени скали). В зависимост от конкретните параметри на геомеханичната задача (площ на разработвания участък **В**, дълбочина на разработване **Н**, обемно тегло на скалите γ и др.) поетият от целиците товар може да бъде равен на $\gamma \cdot H$ или на част от него. Би трябвало да се отбележи, че изкуственият масив, изграден от скално-насипно, пастообразно или хидравлично запълнение,

поради различните си якостни и деформационни характеристики, поема значително по-малка част от товара и оказва предимно страничен отпор на прилежащите му целици и части от масива.

Състояние на стените на изработките

Обикновено към стените на изработките се предявява изискване да останат устойчиви, с цел да бъде избегнато закрепването им (в случаите, в които и скално-механичните им свойства позволяват това). В случаи, при които това изискване не може да бъде спазено следва да се определят зоните на неустойчивост, зоните на разрушаване и дълбочината на „навлизането“ им в масива. Въз основа на получената информация да бъдат проектирани и планирани крепежните дейности, както и дейностите, свързани с управлението на скалния натиск.

Особености на геомеханичният модел при прилагане на камерно-целикова система на разработване с последващо запълнение

При прилагане на технологията с камери с последващо запълнение се оформят („оконтуряват“) добивни камери (първични и вторични) в границите на блока (участъка, етаж, подетажа). Рудните запаси в тези камери се отбиват, източват и доставят до блоковете/участъковите рудоспусъци, след което празните камери се запълват по определена схема чрез използване на един или няколко типа запълнение (сухо насипно, хидравлично, втвърдяващо се запълнение и др.). Редът и „скоростта“ на отработване и последващо запълване на камерите зависят от интензивността на водене на добивните работи, обусловена от своя страна от прилаганите минни технологии. В първият етап, т.е. при отработване на запасите в първичните камери, натиска на горележащите скали се преразпределя към междукамерните целици (т.е. от вторичните камери) и от околорудния масив. След запълването на първичните камери, последователно се отработват запасите във вторичните камери като скалния натиск се преразпределя както към околорудния масив, така и към запълнените до този момент първични камери. Носещата способност на изкуствения масив от запълнените камери зависи от вида на запълвачния материал, от технологията на запълване и от степента на контакт между запълнение и горележащ масив. С най-висока носеща способност, т.е. най-високи якостно-механични характеристики се характеризира втвърдяващото запълнение. Необходимо е да се отбележи, че какъвто и да е видът на запълнението, то не може да достигне до якостно-механични и деформационни характеристики на естествения скален масив. Изключения са възможни само при много слаби и силно напукани руди и/или вместващи скали.

Общи изисквания към моделирането

Преди да се пристъпи към изграждане на геомеханичния модел (чрез прилагане на софтуерния продукт **BEAP3D**) на конкретния минен участък трябва да бъде събрана цялата необходима за целта информация, която от своя страна трябва да отговаря на следните изисквания:

- Коректно да бъдат определени целите, поставени пред моделирането.
- Да бъдат изяснени границите (размерите) на зоната (участъка), която ще бъде моделирана, както и пространственото ѝ разположение в реални условия.
- Да бъдат подготвени ситуационни планове, хоризонтални и вертикални сечения в подходящ мащаб, които да бъдат обвързани с единна координатна мрежа. В програмният продукт за начало на координатната система е заложено да бъде избрана точка от повърхността, на която се придава условно **Z=0**. Дълбочината на залягане/разработване се отчита във величини с отрицателни стойности, чийто абсолютни стойности са равни на разстоянието от повърхността до разглежданата точка или моделираният обект.
- Да бъдат определени *in situ* напреженията (големина и посока) в района на моделирания обект. Те могат да бъдат: опитно установени (чрез използване на подходящо инструментално оборудване и апаратура); приети по аналогия (при наличие на данни от измервания в подобни/аналогични условия/обекти/участъци), макар и недостатъчно достоверни; приблизително определени по данни от геолого-проучвателните работи; теоретично определени (чрез използване на подходящ формулен апарат).
- Да бъдат определени якостните и деформационните характеристики на различните моделирани масиви (вместващи скали, руден масив, различни видове използвано запълнение). Те могат да бъдат: лабораторно установени (необходимо е да бъдат коригирани с коефициенти, отчитащи напукаността на масива и др.); по данни от геолого-проучвателните работи (напр. чрез използване на **R**, **RQD** и др.). Относително най-представителни стойности за модула на еластичност на масива и за материалните константи „**m**“ и „**S**“ се получават като се използва класификационната оценка **RMR**.
- При създаване на модела, да бъде използвана логична и разбираема система за номериране (на геометричните възли и елементи), наименование (на геометричните елементи/стени, подобласти, резултантни равнини и др.), подходящо подразделяне (на геометрични елементи/стени) и задаване на натоварването (на стените).
- Да бъдат изучени цялостно възможностите, ограничителните условия и начина на работа с програмния продукт **BEAP3D**.
- Да бъде използвана заложената в програмата условност на знаците, а именно: да се прилага координатна система по „правилото на дясната ръка“; със знак „+“ да се означават стойностите на напреженията на натиск, а със знак „-“ – тези на опън; да се използва **SI**-системата за

единиците, т.е. напреженията се измерват в [MPa] или [GPa], преместванията в [m].

Специфични изисквания към моделирането

При изграждане на компютърен модел на минен участък, в който се прилага камерно-целиковата система със запълване, е необходимо моделът да бъде съобразен със следните специфични условия:

- Моделът да отразява в себе си начина на разкриване и подготовка на участъка, съответно чрез етажни галерии, главни наклонени изработки или комбинация между етажни и главни наклонени изработки, като бъде предоставена възможност за анализ и оценка на състоянието на тези минни изработки.
- При моделиране на камерите (първични и вторични) е необходимо да бъде отчетено по подходящ начин поетапното развитие на минно-добивните работи, тъй като компютърният софтуеър (т.е. прилагания програмен продукт **BEAP3D**) не предоставя възможност за постоянното им изследване във времето. Поради тази причина е коректно поетапно (чрез прилагане на **минни стъпки**) да бъдат моделирани неотработени камери, напълно отработени (но незапълнени) камери и запълнени камери. В случай, че се използва втвърдяващо запълнение е необходимо да бъдат зададени якостно-механичните и деформационните му характеристики, присъщи за момента на пълно втвърдяване, т.е. при достигната максимална носеща способност. В случаите, когато се изисква да бъде анализирано и оценявано състоянието на скален/руден масив около изкуствен масив, недостигнал пълната си носеща способност, то коректно е този изкуствен масив да бъде зададен като несвързана среда.
- Необходимо е коректно да бъдат оценени и след това коректно зададени начините на взаимодействие (натоварване) между различните видове среди (масиви). Задачата значително се усложнява при използването на два или повече видове запълнение.
- Изисква се към модела да бъде включена и „сизмерима“ част от вместващите скали (т.е. околорудния масив), за която модела да предоставя възможност за анализ и оценка на състоянието на масива както в зоните на опорен натиск, така и в „нормално натоварената част“ от него, т.е. в зони значително отдалечени от минно-добивните работи.
- Моделът трябва да предоставя възможност за извършване на анализ и оценка на състоянието на междукамерните, междублоковите и др. целици.

Използване на геомеханичният модел за изследване на добивните работи

При изследване поведението и състоянието на реален скален (руден) масив в процеса на развитие на минните работи е необходимо да бъде създадена и приложена стройна инженерно-изследователска методика. От друга страна познаването на минно-техническите условия, особеностите на системата на разработване и реда и технологията на водене на минните работи. За да бъде методиката коректна, то същата трябва да включва следните основни изследователски етапи (стъпки): избор на участък за моделиране (рудно тяло, блок и т.н.); формиране на варианти за развитие на минните работи в моделирания участък; анализ на разпределението на напреженията и устойчивостта на масива в изследвания участък; анализ на устойчивостта на минните обекти; избор на оптимален вариант за развитие на минните работи. Чрез методите на математическото моделиране могат да бъдат създадени модели, отразяващи поетапното развитие на минните работи и позволяващи изучаване и анализиране на състоянието на скалния масив и минните обекти (изработки, целици, камери и т.н.) при планираното и моделирано развитие.

Формиране на варианти за развитието на минните работи в участъка

При формиране на вариантите за развитие на минните работи е коректно да бъдат разгледани всички възможни (или желани) от инженерно-технологична гледна точка варианти за реда и последователността на водене на минно-добивните работи. Основно изискване към разглежданите варианти е същите да отразяват поетапното развитие на минно-добивните работи както в границите на всеки добивен камера/подетаж/етаж, така и в глобален мащаб, с отчитане развитието на добивните работи и в съседните добивни (производствени) единици. За нуждите на дългосрочното планиране, е възможно и разглеждане на варианти за вида и местоположението на минно-подготвителните участъкови (блокови) изработки, като е препоръчително те да бъдат обвързани и със съответстващия им ред за водене на добивните работи. От друга страна се изисква конкретизиране на границите на охраняваните зони, както и размерите на добивните пространства.

Анализ на разпределението на напреженията в участъка и на устойчивостта на масива

На този етап е необходимо да се анализира разпределението на напреженията и устойчивостта на масива като се търсят отговори на въпросите, свързани с формиране на зони на концентрация на напреженията (т.е. местоположение, размери на тези зони) и трансформирането им в пространството при следващите етапи на развитие на минните работи. Внимателно трябва да бъдат оценени и анализирани зоните, в които натисковите напрежения преминават в опънови. Необходимо е да се анализира устойчивостта на изследвания масив като се търси отговор на въпросите къде и защо масива е неустойчив, каква част от минно-подготвителните изработки попадат в неустойчиви зони от масива и по какъв начин ще се отрази тази неустойчивост на масива върху ефективността на провежданите минно-добивни работи.

Избор на оптимален вариант

Съставя се бална оценка на изследваните варианти, която оценка включва в себе си и геомеханични фактори като: устойчивост на основните подготвителни и добивни изработки и размер на евентуалните разходи по поддържането им; напрегнато състояние и устойчивост на рудния масив от съседни подетажи (камери, блокове и т.н.); напрегнато състояние и устойчивост на околорудния масив. Въз основа на така съставените бални оценки и последващия им анализ се достига до избор на обоснован оптимален вариант за водене на минно-добивните работи.

Заклучение

Получаването на надеждни решения, годни за използване по-нататък в минното планиране и проектиране, обуславя необходимостта изградените модели да отразяват в себе си в максимално възможни детайли характерните особености на реда на развитие на минните работи в даден минен участък и на прилаганата система на разработване, както преди започване на експлоатацията (т.е. след извършване на подготвително-нарезните работи), така и през отделните етапи на разработване на участъка или рудника.

Чрез прилагане методите на математическото числено моделиране, и в частност методът на крайните елементи в

значителна степен се облекчава решаването и анализирането на различни минно-инженерни задачи. Моделирането предоставя възможност за оценка и анализ на многовариантни и развиващи се във времето минни задачи.

Литература

- 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