

## Относно система за контрол на поведението на скалния масив, базираща се на методите на изкуствения интелект

Георги Радулов, Георги Миланов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700, София

**РЕЗЮМЕ.** Разработването на все по-усъвършенствани системи за наблюдение на поведението на скалния масив около минните изработки в подземните рудници е важен момент от инженерната дейност в областта на минната промишленост.

Информационно-измервателните системи (ИИС) са една от най-бързоразвиващите се области на техниката днес. Тук навлезнаха най-модерните информационни технологии, като изкуствения интелект, *разпознаването на образи и индустриални ситуации и др.* Представлява интерес за българската минна наука да се даде оценка, на настоящия етап на развитие на техниката, необходимо ли е и каква е възможността за внедряването на тези технологии в Информационно-измервателните и диагностични системи, прилагани в минните предприятия.

В това отношение синтезирането на обобщена ИИС, включваща единна обработваща информацията част, единна визуализираща информацията част и различна доставяща информацията част, добре хармонира с разнообразните условия, предоставяни от различните подземни рудници.

С предлагания доклад се цели да се анализират възможностите за прилагане методите на изкуствения интелект в системи за контрол поведението на скалния масив. Дават се предимствата на тези системи в съпоставка с конвенционалните такива. Оценява се възможността за синтезирането на такива системи тук в България.

### SYSTEM FOR THE CONTROL OF BEHAVIOUR OF ROCK MASSIF BASED ON THE METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**ABSTRACT.** The elaboration of more and more perfect control systems for demeanour of the rock massif around the mines in the unthunderground mines is important moment do engineering activity in the sphere of the mine industry.

Information-measurement systems are one of the fast developing spheres of the technics at present. Here are entered the most modern information technologies such as artificial intelligence, identification of forms and industrial situations and others. For interest of the Bulgarian mine science is to make a valuation of the present landmark, is it the necessity and what is the possibility for adoption of this technologies in the Information-measurement and diagnostic systems that are applied the mine industry.

In this respect the design of the generally Information-measurement system including united part that is processed the information, united part that is visualized the information and different part that is provided the information, good harmonize with the varied circumstances that are given from the different unthunderground mines.

The lecture that is suggested there is an object to be analyze the possibilities for application of the methods of the artificial intelligence in the control systems for the demeanour of the rock massif. Here are given priorities to these systems in confrontation with the conventional systems and is estimated the possibility for the design of the such systems here in Bulgaria.

## Въведение

Контролиране поведението на скалния масив около минните изработки се налага основно от съображения за сигурност. Но то е свързано също с избора на технология за закрепване, както и с определяне на времето за полагане на крепежа, с цел максимално мобилизиране носимоспособността на скалите. Всичко това изисква разработването на технически средства и информационни технологии, доставящи и обработващи информация, за състоянието на масива около прокарваните минни изработки.

Новопрокараното изкопно съоръжение нарушава съществуващото равновесие в масива. В известна област около него протича преразпределение на напреженията, предизвикващо деформационни процеси. Как ще се развият във времето, докъде и какви стойности ще имат деформациите в пространството, зависи от характера и големината на напрегнатото състояние и якостните свойства на скалите. При това и двата фактора се изменят във времето и пространството. Така последователно във времето и пространството се образуват зони с различна стойност и характер на деформациите [л.2]. Особен интерес за крепенето с активни крепежни конструкции, представлява 3-та зона. При нея носимоспособността на масива е запазена, но големите усилия създавани от еластичната деформация, които

излишно натоварват крепежа, са вече отминали. Деформациите са пластични, но не се наблюдават пукнатини, т.е. якостните свойства на скалите са запазени.

Интересна е също втора зона [л.2], характеризираща се с визкоеластични деформации. По тези деформации могат да се определят параметрите на скалите, като модула на Кирхоф  $G$ , коефициента на Поасон и др. [л.2].

Определянето на деформациите, напреженията и радиусите на отделните зони може да стане теоретично, но използваните методи и хипотези не винаги дават реални резултати. Причините за това се крият в голямото разнообразие на природните условия в които залягат полезните изкопаеми. Това изисква прилагането на комбиниран теоретико-експериментален метод, при който напреженията се определят на базата на измерване на деформациите, предизвикани от тях. При определяне на напреженията и на тази база необходимостта от крепене и вида на крепежа съществена роля могат да играят методите на изкуствения интелект. Както е известно те се използват в случаите на непълна информация, при несигурност и неточност на данните. А случаят тук, при контрол на поведението на скалния масив е именно такъв. Даже при един и същи вид вместиращи скали якостните свойства на масива зависят от тяхната напуканост, влажност, изветрялост и т.н.

Опирайки се на такава постановка на проблема, могат да се дефинират следните задачи за измерване, обработка

на получената информация и предлагане на решения от техническа система:

1. Измерване с цел уточняване характеристиките на крепежната конструкция и технологията на закрепване по време на прокарването на изработките. За максимално мобилизиране носимоспособността на скалите, при прилагане на активни крепежни конструкции, е желателно да се спре развитието на деформациите преди да се появят пукнатини. Определяйки теоретично максималната деформация, предизвикана в резултат на развитието на трета зона, измервайки реалната деформация и съпоставяйки двата резултата, може точно да се определи времето за поставяне на постоянния крепеж.

2. Измервания с цел оперативен контрол на състоянието на масива около минните изработки, с които се цели безопасна работа в рудника.

3. Измервания с цел определяне действителните стойности на параметрите на масива, влизащи в изразите за определяне на деформациите и радиусите на отделните зони.

4. Обработка на получената от измервателната система информация. Обработката може да бъде на различни нива. Първото ниво - първичната обработка на измервателните сигнали се извършва в самите измервателни уреди или в компютър. По-нататък получената информация съпоставена с резултатите от теоретичен модел на деформационното състояние на масива около минните изработки може да се използва за корекция на параметрите на скалния масив, респективно на теоретичния модел. Измервателната информация в съчетание със съвременни информационни технологии може да се използва за оценка на състоянието на скалния масив около изработките и да се предлагат технологични решения. Тези проблеми са в основата на настоящата работа.

За измерване на деформациите са необходими точни и надеждни измервателни уреди. Те трябва да отговарят на редица изисквания. Метрологичните изисквания включват точност, измервателен обхват, преобразователна характеристика (функция на преобразуването), чувствителност, праг на реагиране, динамична характеристика и вариация на показанията на уреда. В случая последните две изисквания нямат съществено значение, тъй като от една страна преместванията са бавни, от друга страна те са винаги в една и съща посока и няма място за вариация на показанията. Уредите трябва да измерват премествания в зададени диапазони. Необходимо е да се определи първата и втората производна на деформациите, защото дават информация за тенденцията на процеса към затихване или към обрушаване. Това ще позволи далеч преди приключването на процеса да се предвиди неговия характер.

Максималните премествания, характерни за изработки в меки скали, достигат до 0,2 m. В твърди скали тези премествания са до 0,002 m. Тази голяма разлика налага използването на уреди с различни обхвати за скални масиви с различна якост.

Точността на уреда в разглеждания случай е от особено важно значение. Това е така, защото от нея зависи не само точното измерване на преместването (деформацията), но и точното изчисляване на параметрите, от които то зависи, тъй като се има предвид съпоставяне на изчислената с измерената стойност. Характеристиката на преобразуване на уреда трябва да бъде линейна.

Чувствителността на уреда с измервателен обхват 0÷2 mm трябва да бъде не по-малка от 0,01 mm.

Подземните рудници и по-специално рудниците опасни по газ и прах налагат някои специфични изисквания. Най-напред за всички рудници изпълнението трябва да бъде руднично нормално (РН), а за възлицните рудници опасни по газ и прах трябва да бъде руднично взривобезопасно (РВ).

Към конструктивните изисквания трябва да отнесем и изискването първичния преобразовател на уреда да може да се монтира в размерите на взривна дупка.

Предвид на това, че уредът ще бъде едно сравнително скъпо устройство, необходимо е изцяло или поне по-голямата част от него да може да се използва многократно.

## Концепция

От казаното се вижда, че за информационната част на информационно-измерителната система не могат да се използват уреди общопромислено изпълнение, а трябва да се разработят специализирани такива. В това направление е работено и има известни резултати, макар че проблемите не могат да се считат за решени. По-малко е работено във връзка с приложението на методите на изкуствения интелект в информационно-измервателните системи за контрол на поведението на скалния масив.

Информационно-измервателните системи (ИИС) са една от най-бързоразвиващите се области на техниката днес. Тук навлязоха най-модерните информационни технологии, намерили приложение в изкуствения интелект. Представява интерес за българската минна наука да се даде оценка, на настоящия етап на развитие на техниката, необходимо ли е и каква е възможността за внедряването на тези технологии в системите за контрол на поведението на скалния масив, прилагани в минните предприятия.

## Избор на метод за обработка и представяне на информацията

От методите за обработката и представяне на информацията за разглеждания случай – контрол на поведението на скалния масив около минните изработки – особен интерес представляват методите на изкуствения интелект. В настоящия момент тези методи се делят на две големи групи: логически методи и собствени методи [л.7].

Логическите методи, които представляват формални логически системи, са възникнали преди появата на научното направление Изкуствен интелект (ИИ). Собствените методи, а именно: невронните мрежи, генетичните алгоритми, размитите системи, се появяват в процеса на развитието на изкуствения интелект (ИИ).

Да анализираме предимствата и недостатъците на тези информационни технологии с цел използването им при системите за контрол на поведението на скалния масив около минните изработки.

Обобщено може да се каже, че логическите методи, които са в основата на експертните системи, са по-пълно развити. В продължение вече на десетилетия се разработват експертни системи, някои от които (напр. ЕМУСIN, Kidney Expert System и др.) намират приложение [л.9, 10] в различни области на човешката дейност. Те могат да бъдат използвани като база за разработване на нови системи. В

този смисъл заслужава по-обстойно разглеждане на възможното приложение на методите на експертните системи за разглежданата цел.

Техническа система за измерване на деформациите в масива около изработките добре хармонира с експертна система, използваща база от знания на специалисти в областта на скалната механика и минните технологии. Техническата система доставя данни за моментното състояние. При необходимост тези данни претърпяват първична обработка (напр. намиране на първата и втора производна на деформациите и др.) и в подходяща форма се представят и съпоставят със систематизираната база знания на експерти. На такава основа се предлагат решения.

Контролът на поведението на скалния масив може да се разглежда и като задача от разпознаването на образи, по-специално на индустриални ситуации. В този случай се въвежда набор от признаци (симптоми) с които се характеризира скалният масив с прокараните в него минни изработки. Въвежда се и множество на класовете образи. Обработката на информацията се осъществява с невронна мрежа.

В качеството на признаци се въвеждат модулът на еластичността, коефициентът на Поасон, напреженията, деформациите, честота на звуковите сигнали (пуканията) от геофоните и др.

Особен интерес представляват хибридните методи на ИИ. Специално би трябвало да се оценят невронните експертните системи. Те съчетават предимствата на експертните системи с възможностите на невронните мрежи за самообучение. В случая експертните знания се въвеждат в невронни мрежи.

За разработването на експертна система екипът трябва да бъде съставен от технолози специалисти в областта на минния натиск и скалната механика, програмисти специалисти в областта на програмните продукти за обработка на знания (използващи програмните езици Лисип, Пролог и др.), инженери специалисти в областта на информационно-измервателната техника.

Екипът трябва най-напред да формира базата данни и базата експертни знания.

В базата данни трябва да влезат данни за масива в обема на който ще се развиват минните работи. Тук се включват якостните характеристики на скалите получени на базата на геоложките проучвания. Имат се предвид данни като: модул на еластичност, коефициент на Поасон, плътност, гранични стойности на нормални и тангенциални напрежения, електрическо съпротивление, магнитна проницаемост и т.н. Тези параметри се задават за фиксирани обеми от масива и са уточнявани непрекъснато с напредването на минните работи

На базата на съществуващите теории за определяне на напрежението в скалния масив се определя напрежението и стойността на деформациите във всяка точка на масива. Специално трябва да се отбележат границите на напреженията, при които деформацията преминава от зоната на еластичните в зоната на пластичните деформации.

В базата данни трябва да влезат още проекта на рудника – изработките с техните параметри.

Въз основа на посочената до тук информация се прави предварителен (теоретичен) пространствен модел на напрегнатото състояние на рудника.

Към базата данни трябва да се прибавят още видовете крепежи с техните характеристики.

Базата знания се формира чрез извличане на знания от експерти.

Експертната система оценява ситуацията в момента на започване разработването на рудника. С разработването на рудника базата данни се попълва от маркшайдерските замервания и от информацията която постъпва от информационно-измервателната система (ИИС). Предвижда се информацията от ИИС да съдържа данни за деформацията на стените на изработките в характерни точки, скорост на нарастването на тези деформации (динамика на процеса), информация от геофоните, информация за напрежението в масива получена на базата геофизични методи на измерване.

Съпоставяйки реалните данни с тези получени в модела на напрегнатото състояние на рудника, системата регистрира отклоненията. На тази основа търси причините и предлага решения от рода на трябва ли да се смени видът на крепежа даден по проект, в кой момент да се крепи за да се използва максимално носимоспособността на масива и т.н.

На фиг. 1 е даден общ вид на концепцията на експертна система за контрол на поведението на скалния масив около минните изработки. От фигурата се добива представа как функционира системата.

Както се вижда и от фигурата основната, стартовата информация, която трябва да съдържа всяка експертна система са базата данни и базата знания. Те се вкарват в системата посредством потребителския интерфейс. За всеки отделен случай те се допълват за конкретния рудник и непрекъснато се обогатяват с неговото развитие във времето и пространството.

Рудниците могат предварително да се типизират и това да е залегнало в основата на системата. На базата на получената информация за конкретния рудник, той може да се отнесе към конкретен тип. Това би опростило по-нататък функционирането на системата, защото ще насочи системата каква теория за оразмеряване да избере за конкретния случай, какви измервателни уреди (като измервателен диапазон) да се използват и др.

По-нататък се съставя предварителния (теоретичен, на етапа на проектирането на рудника) модел на напрегнатото състояние на рудника. Този модел се променя във времето и пространството с напредването на минните работи. На базата на този модел се прави избор на проекта за крепеж.

С започване експлоатацията на рудника и монтиране на уредите и системата за непрекъснат контрол на напрегнатото (деформационното) състояние експертната система започва сравняване на реалните данни за деформационното състояние с тези от предварителния модел.

При установяване на разлика се търси вероятната причина довела до разликата в деформационното състояние. Може да се заложи алгоритъм и програма за проверка и уточняване параметрите на скалите (E, G,  $\mu$  и др.) залегнали на етапа на проектиране на деформационния модел на рудника. Ако е необходимо експертната система препоръчва смяна на крепежа или други мероприятия за управление на скалния натиск.

От анализа за причините за възникналата разлика между теоретично определената и реалната деформация се придобиват нови знания, които се вкарват в базата знания.

Фиг. 1.

