

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОПАСНОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ: ТЕОРИЯ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Л. А. Назарова*, Л. А. Назаров

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия
*E-mail: larisa.a.nazarova@mail.ru

Введение. При производстве очистных работ на угольных месторождениях комбайновыми комплексами скорость продвижения забоя достигает 20–30 м в сутки, что вызывает быстрое изменение напряжений в окрестности забоя, которое может стать триггером динамических явлений (быстрое разрушение пород, внезапный выброс угля и газа, горный удар). В породном массиве события класса 4 и выше происходят, как правило, в окрестности нарушений сплошности (тектонические разломы, дизъюнктивы), которые при изменении конфигурации подземного пространства являются концентраторами напряжений. Аналогичную роль играют некоторые участки контакта субгоризонтальных угольных пластов с вмещающими породами, зачастую представляющие собой тонкие прослой высокозолевых глинистых углей – слабые зоны, которые могут быть очагами динамических событий. Предварительное выявление местоположения слабых зон геофизическими методами позволит осуществить профилактические мероприятия для уменьшения риска опасных динамических проявлений горного давления.

Геомеханическая модель угольного пласта. Пологозалегающая угольная залежь разрезана на панели, которые обрабатываются механизированным комплексом. В модели учитываются размеры пласта, напряжения в нетронутом массиве, физические свойства пород, неоднородность контактных условий на границе пласта и вмещающих пород (наличие участков с пониженными деформационно-прочностными характеристиками), выемка имитируется поэтапным изменением конфигурации выработанного пространства. Расчеты показали, что с приближением забоя к слабой зоне в ее окрестности возникают области горизонтального растяжения, величина напряжений в которых превышает соответствующий предел прочности угля. Это может стать причиной разрушения и выброса угля и газа в очистное пространство.

Для обоснования возможности выявления слабых зон проводились лабораторные эксперименты. Из эпоксидной смолы изготовлены параллелепипеды ($100 \times 140 \times 40$ mm) и стандартные цилиндрические образцы. Последние испытывались на одноосное сжатие, одновременно ультразвуковым методом определялась скорость Р-волн V . В результате установлены деформационные свойства модельного геоматериала и эмпирическая зависимость V от среднего напряжения s . Параллелепипеды подвергались квазистатическому вертикальному сжатию, при этом на контакте горизонтальных граней с плитами пресса посредством тонких силиконовых пластинок создавались участки с низким трением. На вертикальных гранях устанавливались по 6 пьезодатчиков Sm , на каждом шаге нагружения k осуществлялось прозвучивание и измерялось время $T(k, m, n)$ пробега Р-волны между датчиками Sm и Sn . По $T(k, m, n)$ выполнялась томография и находилось распределение W скорости продольных волн в освещенной области D образца.

Инверсия данных эксперимента (определение местоположения слабых зон). Используя W и зависимость $V(s)$, в D рассчитывалось среднее напряжение $s(D)$, которое являлось входными данными для граничной обратной задачи – «при заданной вертикальной нагрузке найти касательные напряжения на горизонтальных границах образца по известному распределению $s(D)$ ». Установлено, что сформулированная задача однозначно разрешима, разработан и численно реализован ФЕМ алгоритм, основанный на построении дискретной функции Грина. Найденное таким образом распределение касательных напряжений на горизонтальных гранях параллелепипеда, найденные в результате решения обратной задачи по $s(D)$, оказались практически нулевыми на краевых участках, что соответствует условиям эксперимента.

Заключение. Предложенный подход позволяет не только проводить реконструкцию напряженно-деформированного состояния в процессе выемки запасов, но и выявлять аномальные

участки на контакте угольных пластов с вмещающими породами, являющиеся очаговыми зонами динамических событий.

*Работа выполнена в рамках проекта НИР ИГД СО РАН
(номер государственной регистрации 124020700085-5).*

COALBED OUTBURST HAZARD MONITORING USING ACOUSTIC SCANNING: THEORY AND LABORATORY EXPERIMENT

L. A. Nazarova*, L. A. Nazarov

Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

**E-mail: larisa.a.nazarova@mail.ru*

Introduction. When mining coal deposits with shearer complexes, the working face advances at speeds of up to 20-30 meters per day, causing rapid stress changes in the vicinity of the working face, which can trigger dynamic events. In rock mass, events of class 4 and higher typically occur near discontinuities, which act as stress concentrators. A similar role is played by certain areas of contact between coalbeds and the host rock, often consisting of thin layers of high-ash clayey coals—weak zones (WZ) that can become foci for dynamic events. Preliminary identification of WZ location will enable the implementation of preventive measures to reduce the risk of hazardous events.

Geomechanical model. A horizontal coal deposit is cut into panels, which are mined by a mechanized system. The model takes into account stresses in the intact massif, rock properties, and the heterogeneity of contact conditions at the coalbed-rock interface (WZ – areas with reduced deformation and strength characteristics). Simulation has shown that as the working face approaches a WZ, horizontal tension zones occur in its vicinity, where the stresses exceed the corresponding coal tensile strength. This can cause failure and the release of coal and gas into the working space.

Laboratory experiments were conducted to validate the possibility of WZ identification. Parallelepipeds ($100 \times 140 \times 40$ mm) and standard cylindrical specimens were made of epoxy resin. The latter were tested for uniaxial compression, while the P-wave velocity V was simultaneously determined using an ultrasonic method. This resulted in the determination of the empirical dependence of V on the mean normal stress s . The parallelepipeds were subjected to quasi-static vertical compression, with thin silicone plates creating low-friction areas at the contact of the horizontal faces with the press platens. Six sensors S_m were mounted on the vertical faces; at each loading step k , sounding was performed and the P-wave travel time $T(k, m, n)$ between sensors S_m and S_n was measured. Tomography was performed using $T(k, m, n)$ and the distribution W of the longitudinal velocity in the illuminated region D of the specimen was found.

Determining the location of WZ. Using W and the $V(s)$ dependence, the stress $s(D)$ was calculated in D . This was used as input for the boundary value inverse problem of «find the shear stresses on the horizontal boundaries of a specimen by $s(D)$ ». The problem was found to be uniquely solvable, and a FEM algorithm was developed and numerically implemented. The shear stress distribution on the horizontal faces of the parallelepiped, determined by solving the inverse problem using $s(D)$, turned out to be nearly zero at the edges of faces, consistent with the experimental conditions.

Conclusion. The proposed approach not only allows for the reconstruction of the stress-strain state during mining but also the identification of anomalous areas at the contact of coalbed with the host rock, which are focal zones of dynamic events.