УДК 622.001.5.061.6162.53.082.3.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕХАНИЗАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGY AND MINING MECHANIZATION TAKING INTO ACCOUNT OF THE RESEARCH OF THE STRESSED STATE ON PHISICAL MODELS

Костюк Светлана Георгиевна,
канд. техн. наук, e-mail: kostuksg@rambler.ru
Kostyuk Svetlana G.,
C.Sc. (Engineering)

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, 653033, Россия, Кемеровская область, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk branch, 19a street Nogradskaya, Prokopyevsk, 653033, Russian Federation

Аннотация: *В статье обобщен опыт исследований напряженного состояния массива горных пород на физических моделях, проводимых на протяжении ряда лет в научных и образовательных организациях Кузбасса, в том числе и в филиале КузГТУ в городе Прокопьевске. Показана значимость проведенных исследований для обоснования технологии и механизации горных работ на угольных предприятиях Кузбасса.*

Abstract: *The article summarizes of the research experience of the rock mass stressed state on physical models, conducted over a number of years in the scientific and educational organizations of Kuzbass, including in KuzSTU branch in Prokopyevsk. The importance of these researches for the study of technology and mechanization of mining operations at the coal enterprises of Kuzbass.*

Ключевые слова: *массив горных пород, напряженное состояние, моделирование, физическая модель.*
Keywords: *rock mass, stressed state, simulation, physical model*

Введение

Технологии отработки крутых и крутонаклонных пластов Прокопьевско-Киселевского месторождения особенно с наличием зон геологических нарушений характеризуется практически полным отсутствием механизации, высокой трудоемкостью, низким уровнем безопасности и значительными потерями угля в недрах.

В этой связи проводилось большое количество научных исследований, направленных на решение указанных проблем.

Однако проведение исследований в натурных условиях сложно из-за дороговизны и длительности экспериментов в различных горно-геологических условиях, тем более для обоснования технологии и выбора средств механизации до начала строительства шахт (рудников).

В лабораторных условиях метод моделирования незаменим при исследовании проявлений горного давления в массиве горных пород, так как представляется возможным менять условия эксперимента в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий [1, 2].

Краткий анализ выполненных работ

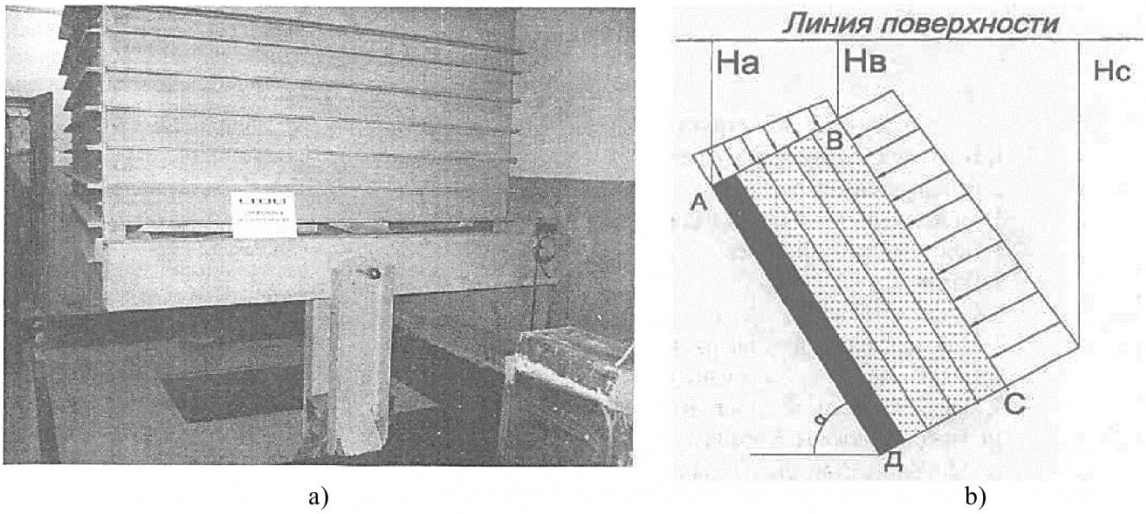
В работах [3, 4] на основании анализа работы [5] на моделях из эквивалентных материалов (ЭМ) были обоснованы параметры разработки мощных крутых пластов системами с подэтажным обрушением.

Разработанные рекомендации были приняты за основу при планировании горных работ на экспериментальном участке шахты «Киселевская». На основании проведенного моделирования была подана заявка и получен патент на способ отработки мощных крутых угольных пластов [6].

В Прокопьевском филиале КузГТУ успешно проводились исследования при имитации отработки угольного пласта с наличием синклинальной складки [7], в результате чего был получен патент на полезную модель [8]. Предложенное техническое решение дало дальнейшую возможность достоверно моделировать отработку пласта при наличии геологических нарушений.

Предлагаемые решения проблемы

По результатам исследований [2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12] можно заключить, что моделирование горных процессов не только выгодно с точки зрения экономии времени и ресурсов, но и с точки зрения приобретения опыта для создания новых способов и систем разработки полезных ископаемых (обладающих достаточной новизной для оформления заявок на получение патентов), что позволит ещё более эффективно решать задачи управления горным давлением при выемке запасов полезных ископаемых.



a) b)

Рис. 1. Общий вид стенда (a) и расчетная схема (b) к определению пригрузок объемной модели
Fig. 1. General view of the stand (a) and calculated scheme (b) to the determination of preload for the three-dimensional model

Однако перечисленные выше преимущества следует развивать и совершенствовать путем объединения моделирования на основе ЭМ и на моделях из оптически чувствительных материалов (ОЧМ) [1].

Ранее на моделях из ОЧМ руководствовались преимущественно касательными напряжениями, определенными на основании изохром (полосы одного цвета, полученные на экране и соединяющие точки с одинаковой разностью главных напряжений), по которым определяли зоны повышенного горного давления (ПГД), характеризующие формирование максимальных касательных напряжений, с затуханием которых исчезают зоны ПГД.

Во ВНИМИ, наряду с касательными напряжениями, на основании изоклин (темные линии, соединяющие точки, в которых направления главных напряжений одинаковы, эти напряжения определяются углом наклона плоскости поляризации прибора к оси X) были построены траектории главных напряжений изостаты (линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением одного из главных напряжений). Так как главные напряжения в каждой точке взаимно перпендикулярны, то траектории главных напряжений образуют систему ортогональных кривых. По искажениям траекторий главных напряжений судят о возмущениях первоначального поля напряжений.

Применительно к выработкам, проводимым в однородном массиве (квершлаги, полевые штреки и т.д.) исследования на моделях из ОЧМ в сочетании с другими исследованиями, дали возможность накопить большой опыт изучения закономерностей проявлений горного давления.

Однако при исследовании проявлений горного давления на моделях из ОЧМ при ведении очистных работ практически все исследования проводили без имитации зон значительной трещиноватости и зон обрушений вокруг очистных забоев, чего в действительности не бывает. Практически такие исследования могут быть применены только к начальной стадии ведения очистных работ, то есть обнажения боковых пород на допустимый пролет без образования зон значительной трещиноватости и обрушений (проведение разрезных печей, монтажных камер и др.)

С целью устранения указанных недостатков в Сибирском филиале ВНИМИ был предложен способ исследований напряженного состояния горного массива на моделях из ОЧМ [9].

В работе [1] исследования проводили согласно методике ВНИМИ на плоских моделях из ОЧМ СД-5 в геометрическом масштабе 1:1000. Имитировали отработку пласта мощностью 3,0 м, залегающего под углом 60°, с разделением на 2 подэтажа.

Отличительной особенностью проведенных исследований было то, что на моделях имитировали отработку пласта, как в однородном массиве, так и с имитацией вокруг очистного забоя ослабленных зон (обрушения и значительной трещиноватости). Проведенные исследования показали, что максимальные возмущения напряжений поля находятся в целиках между отработанными подэтажами в концевых участках очистных забоев.

Предлагаемые пути дальнейших исследовании

На основании изложенного можно констатировать, что для повышения достоверности и наглядности лабораторных методов исследований проявления горного давления перспективными можно считать исследования на моделях из ЭМ в

сочетании с исследованиями на моделях из ОЧМ [1].

При дальнейшем совершенствовании моделирования следует иметь ввиду, что на плоских моделях кровля пласта работает как балка, защемленная на двух опорах, поэтому на плоских моделях получают, преимущественно, качественную картину перераспределения горного давления. В объемных моделях кровля пласта работает как плита, защемленная по контуру, что позволяет получать и количественные величины перераспределения горного давления, при этом можно имитировать подвигание линии очистного забоя по падению, восстанию и простиранию пласта при заданном угле его залегания.

На основании изложенного в филиале был изготовлен стенд размером 2,08х2,45х1,4м. с углом разворота 0-76° (рис.1) для формовки объемных моделей. Размеры стенда выбирали из условий высоты и свободной площади зала лаборатории.

В качестве материалов - эквивалентов для объемных моделей известны песчано-парафиновые, песчано-эпоксидные, песчано-корбомидные смеси, имеющие свои достоинства и недостатки. Однако все перечисленные составы сложно создавать без наличия специального оборудования и материалов.

С учетом изложенного с целью удобства изготовления материала-эквивалента и формовки объемной модели в наших условиях решено применять песчано-гипсовую смесь. На стенде изготовленные в горизонтальном положении породы кровли (слоями 1,5- 2,0см) разворачиваются на заданный угол, а недостающая часть кровли (для имитации глубины) заменяется пригрузкой из пневмобаллонов согласно эпюр (вертикальных и боковых), см. рис.1(b).

На этом стенде представляется возможным имитировать подработку и надработку пластов в свите, но для этой цели вышележащие пласты следует имитировать путем различного рода податливых реек или специальных емкостей, заполняемых песком, водой, парафином и т.д., которые удаляют из модели по мере подвигания линии очистного забоя. Для этих целей в боках модели следует предусматривать специальные отверстия, открываемые путем снятия боковых стенок [10], но это задача специальных методик для каждого конкретного случая.

Согласно рис.1(b) вертикальная пригрузка в зависимости от размеров и материала-эквивалента модели для давления в пневмобаллонах будет иметь выражение:

$$\sigma_{верт} = \gamma_м H_м \left[\cos^2(90-\alpha) + \beta \sin^2(90-\alpha) \right], \quad \text{кГ/см}^2. \qquad (1)$$

Боковая пригрузка (давление в пневмобаллонах) запишется в виде выражения:

$$\sigma_{бок} = \gamma_м H_м \left[\cos^2 \alpha + \beta \sin^2 \alpha \right], \text{ кГ/см}^2, \qquad (2)$$

где $\gamma_м$ - объемный вес материала-эквивалента, г/см3;

α - угол падения пласта, град, (наклон модели);

$H_м$ - высота от точек А, В, С до линии поверхности, если бы модель формировалась (без пригрузки) в заданном масштабе полностью из материалов-эквивалентов, см;

β - коэффициент бокового распора для условий Прокопьевско-Киселевского района для глубины 150-250м. К = 0,3-0,4. [2].

Выводы

Таким образом, при моделировании (в различных масштабах и разных моделях) отработки одиночных и свит пластов представляется возможным наглядно демонстрировать изменение напряженного состояния горного массива до начала строительства шахт и рудников, обосновывать способы выемки полезных ископаемых и выбирать средства механизации для отработки таких пластов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедарев, Н.Т. Повышение достоверности экспериментальных методов исследования проявлений горного давления / Бедарев Н.Т., Костюк С.Г., Рыжова Т.И. – В сб.: Совершенствование разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом. – Кемерово, 2006. С. 57-64.

2. Бедарев, Н.Т. Разработка методов замены части материалов-эквивалентов на моделях, имитирующих горные работы на глубинах свыше 200 м. – Инф. карта №163, серия 5, Москва, ЦНИЭИ-уголь, 1973г.

3. Костюк, С.Г. Имитация отработки мощных крутопадающих пластов на моделях из эквивалентных материалов / Костюк С.Г., Бедарев Н.Т., Любимов О.В., Семенцов В.В. – Ялта-Днепропетровск, 2011. С. 243-250.

4. Бедарев, Н.Т. Обоснование параметров разработки мощных крутых пластов системами с подэтажным обрушением на основе физического моделирования / Бедарев Н.Т., Костюк С.Г., Семенцов В.В. – Горный информац.-аналитич. бюллет. №4. Москва: Изд. Горная книга, 2012. С.5-10.

5. Отчет о научно-исследовательской работе «Обоснование параметров технологии разработки крутых и крутонаклонных угольных пластов в сложных горно-геологических условиях системами с подэтажным обрушением с выпуском угля под защитой механизированной крепи штрекового комплекса». – Прокопьевск, ГУ КузГТУ, 2010.-133 с.

6. Способ отработки мощных крутых угольных пластов / Бедарев Н.Т., Костюк С.Г., Любимов О.В., Ренев А.А., Семенцов В.В. Патент на изобретение RUS 2477795, 13.09.2011.

7. Имитация отработки угольного пласта с наличием синклинальной складки на модели из эквивалентных материалов / Костюк С.Г., Ковалев Н.Б., Бедарев Н.Т., Любимов О.В., Семенцов В.В., Ситников Г.А. – Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2014, № 5 (105). С.67-70.

8. Устройство для изучения проявлений горного давления на моделях / Бедарев Н.Т., Ковалев Н.Б., Костюк С.Г., Любимов О.В., Ренев А.А., Семенцов В.В. Патент на полезную модель RUS 136620, 26.07.2013.

9. А. с. СССР № 245981. Способ исследования напряженного состояния горного массива на моделях из оптически чувствительных материалов / Шик В.М., Жариков Е.Д, Бедарев Н.Т., Иевлев Г.А. – Опубл. 23.01.89, бюл. №3.

10. Костюк, С.Г. Объемная модель для имитации отработки угольных пластов Кузбасса / Костюк С.Г., Бедарев Н.Т., Камалов В.М., Шабловский А.В. – В сб. Инновации – основа комплексного развития угольной отрасли в регионах России и странах СНГ. Материалы 11 Международной научно-практической конференции. Прокопьевск, 2009. С.170-174.

11. Костюк, С.Г. Формирование модели из эквивалентных материалов и имитация отработки угольного пласта с наличием синклинальной складки / Костюк С.Г., Бедарев Н.Т., Ситников Г.А., Любимов О.В.. Семенцов В.В. – Розробка родовищ 2014. Научно-технический сборник, Украина, Днепропетровск, 2014, с.115-119.

12. Бедарев, Н.Т. Моделирование отработки синклинальной складки угольного пласта / Бедарев Н.Т., Бородин И.В., Ситников Г.А. – ТЭК и ресурсы Кузбасса, 2015, № 1-2, с.52-55.

REFERENCES

1. Bedarev, N.T. Povyshenie dostovernosti jeksperimental'nyh metodov issledovanija projavlenij gornogo davlenija [Increasing of the reliability of the experimental methods for studying the manifestations of rock pressure] / Bedarev N.T., Kostjuk S.G., Ryzhova T.I. – V sb.: Sovershenstvovanie razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh podzemnym sposo-bom. – Kemerovo, 2006. S. 57-64.

2. Bedarev, N.T. Razrabotka metodov zameny chasti materialov-jekvivalentov na modeljah, imitirujushhih gornye raboty na glubinah svyshe 200 m [Development of methods for the replacement of the materials-equivalents on models that simulate mining at depths greater than 200 m] – Inf. karta №163, serija 5, Moskva, CNIIeI-ugol', 1973g.

3. Kostjuk, S.G. Imitacija otrabotki moshhnyh krutopadajushhih plastov na modeljah iz jekvivalentnyh materialov [Imitation of powerful mining steep seams on models from equivalent materials] / Kostjuk S.G., Bedarev N.T., Lyubimov O.V., Semencov V.V. – Jalta-Dnepropetrovsk, 2011. S. 243-250.

4. Bedarev, N.T. Obosnovanie parametrov razrabotki moshhnyh krutyh plastov sistemami s podjetazhnym obrusheniem na osnove fizicheskogo modelirovanija [Substantiation of parametres of development of powerful steep seams with sublevel caving systems based on physical modeling] / Bedarev N.T., Kostjuk S.G., Semencov V.V. – Gornyj informac.-analitich. bjullet. №4. Moskva: Izd. Gornaja kniga, 2012. S.5-10.

5. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Obosnovanie parametrov tehnolo-gii razrabotki krutyh i krutonaklonnyh ugol'nyh plastov v slozhnyh gorno-geologicheskih uslovijah sistemami s podjetazhnym obrusheniem s vypuskom uglja pod zashhitoj mehanizirovannoj krepi shtrekovogo kompleksa» [The report on research work "Justification of parameters of technology development and the steep steeply inclined coal seams in the complex geological conditions, systems with sublevel caving with the release of coal under the protection of powered support gallery complex"]. – Prokop'evsk, GU KuzGTU, 2010.-133 s.

6. Sposob otrabotki moshhnyh krutyh ugol'nyh plastov [A method of mining of powerful steep coal seams] / Bedarev N.T., Kostjuk S.G., Lyubimov O.V., Renev A.A., Semencov V.V. Patent na izobretenie RUS 2477795, 13.09.2011.

7. Imitacija otrabotki ugol'nogo plasta s nalichiem sinklinal'noj skladki na modeli iz jekvivalentnyh materialov [Simulation of mining coal seam with the presence of synclinal folds on the model of equivalent materials] / Kostjuk S.G., Kovalev N.B., Bedarev N.T., Lyubimov O.V., Semencov V.V., Sitnikov G.A. – Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, 2014, № 5 (105). S.67-70.

8. Ustrojstvo dlja izuchenija projavlenij gornogo davlenija na modeljah [Device for the study of rock pressure manifestations models] / Bedarev N.T., Kovalev N.B., Kostjuk S.G., Lyubimov O.V., Renev A.A., Semen-

cov V.V. Patent na poleznuju model' RUS 136620, 26.07.2013.

9. A. s. USSR № 245981. Sposob issledovanija naprjazhennogo sostojanija gornogo massiva na modeljah iz opticheski chuvstvitel'nyh materialov [Method to study of the stress state of the rock mass models of the optically sensitive material] / Shik V.M., Zharikov E.D, Bedarev N.T., Ievlev G.A. – Opubl. 23.01.89, bjul. №3.

10. Kostjuk, S.G. Ob'emnaja model' dlja imitacii otrabotki ugol'nyh plastov Kuzbassa [Volume model to simulate the mining of coal beds of Kuzbass] / Kostjuk S.G., Bedarev N.T., Kamalov V.M., Shablovskij A.V. – V sb. Innovacii – osnova kompleksnogo razvitija ugol'noj otrasli v regionah Rossii i stranah SNG. Materialy 11 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Prokop'evsk, 2009. S.170-174.

11. Kostjuk, S.G. Formirovanie modeli iz jekvivalentnyh materialov i imitacija otrabotki ugol'nogo plasta s nalichiem sinklinal'noj skladki [Formation of model from equivalent materials and simulation of mining coal seam with the presence of synclinal fold] / Kostjuk S.G., Bedarev N.T., Sitnikov G.A., Lyubimov O.V.. Semencov V.V. – Rozrobka rodovishh 2014. Nauchno-tehnicheskij sbornik, Ukraina, Dnepropetrovsk, 2014, s.115-119.

12. Bedarev, N.T. Modelirovanie otrabotki sinklinal'noj skladki ugol'nogo plasta [Modelling of the mining coal seam synclinal fold] / Bedarev N.T., Borodin I.V., Sitnikov G.A. – TJeK i resursy Kuzbassa, 2015, № 1-2, s.52-55.

Поступило в редакцию 29.02.2016
Received 29 February 2016