УДК 622.06

Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ, *д-р техн. наук, профессор, bogusl@spmi.ru*
Б.Ю.ЗУЕВ, *канд. техн. наук, зав. лабораторией, zuev_bu@spmi.ru*
П.В.КОРЖАВЫХ, *канд. техн. наук, ассистент, korzhavykh@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

E.I.BOGUSLAVSKIY, *Dr. in eng. sc., professor, bogusl@spmi.ru*
B.U.ZYEV, *PhD in eng. sc., laboratory head, zuev_bu@spmi.ru*
P.V.KORHZAVYKH, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, korzhavykh@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ ИМ. ГУБКИНА

Использование метода физического моделирования позволило определить порядок отработки новых горизонтов Коробковского железорудного месторождения. Проводилась оценка устойчивости междукамерных целиков в условиях шахты им.Губкина и деформаций земной поверхности при рассматриваемом порядке отработки этажей и частичной выемке междукамерных целиков на трех горизонтах. После проведения геомеханических исследований принято решение о первоочередном вскрытии и отработке запасов нижнего горизонта в пределах отметок –125 м / –250 м.

***Ключевые слова*:** физическое моделирование, эквивалентные материалы, порядок отработки этажей, железорудные месторождения.

PHYSICAL MODELING OF INTERCHAMBER PILLARS FIXITY IN GUBKIN MINE

Procedure of Korobkovsky iron-ore deposit new levels mining with the usage of physical modeling has been determined. Evaluation of interchamber pillars fixity in Gubkin mine and soil surface deformation in the process of lift mining and fractional interchamber pillars robbing on three levels has been carried out. After conducting geomechanical research the decision of foremost development and mining of bottom level reserve between –125 m / –250 m has been made.

***Key words*:** physical modeling, equivalent materials, procedure of levels mining, iron-ore deposits.

При разработке проекта отработки нижнего горизонта Коробковского железорудного месторождения (рудник им.Губкина) Санкт-Петербургская горная проектно-инжиниринговая компания (ПитерГОРпроект) обратилась к Горному университету с просьбой разработать технологический регламент отработки запасов Коробковского месторождения с геотехнологическим и геомеханическим обоснованием конструктивных параметров систем разработки. В рамках этой работы методами физического моделирования проводилась оценка устойчивости междукамерных целиков в условиях шахты им.Губкина и деформаций земной поверхности при принятом порядке отработки камер и частичной выемке междукамерных целиков на трех горизонтах.

Техническое задание на проведение работ по физическому моделированию включало следующие этапы:

• создать стенд для физического моделирования с учетом размеров воспроизводимой области массива и масштаба моделирования;

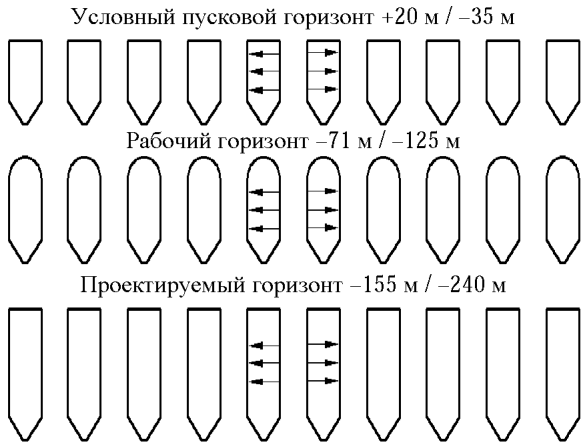


Рис.1. Схема и порядок отработки модели 1
→ – направление отработки модели

• разработать рецептуру изготовления эквивалентных материалов (ЭМ), обеспечивающих воспроизведение на модели прочностных и деформационных свойств массива неокисленных железистых кварцитов (НЖК) с учетом критериев подобия;

• изготовить модель 1 из разработанных ЭМ, воспроизводящих основные прочностные и деформационные свойства массива НЖК в диапазоне горизонтов от –250 до +60 м с учетом коэффициентов структурного ослабления;

• при изготовлении модели установить в ней датчики типа МДГ-3 для определения вертикальных составляющих напряжений в целиках;

• после изготовления модели 1 установить на ее лицевой поверхности реперные марки для определения параметров деформаций и сдвижений массива;

• подключить датчики МДГ-3 к информационно-измерительным системам типа СИИТ-3, крейту LTR с модулями LTR 212 и провести тарировочное нагружение модели для уточнения коэффициентов чувствительности датчиков и фактических деформационных параметров массива;

• с помощью пригрузочного устройства обеспечить давление на верхнюю поверхность модели 1, соответствующее давлению вышележащей толщи пород;

• смоделировать последовательную отработку горизонтов –125; –35; –250 м (по десять камер и девять целиков на каждом горизонте) при фиксации данных с датчиков МДГ-3 и реперных марок в соответствии с рис.1.

Исходными данными для моделирования приняты информационные материалы по типовому разрезу Коробковского месторождения, прочностным и деформационным характеристикам образцов железистых кварцитов данного месторождения. Основные структурные и физико-механические параметры горных пород КМА на исследуемых участках с учетом коэффициентов структурного ослабления и ослабляющего действия взрывных работ приведены в табл.1.

Таблица 1

Исходные структурные и физико-механические параметры горных пород КМА

№ п/п	Отрабатываемый горизонт, м	$R_{сж}$, МПа	$E_{деф}$, ГПа
1	–35	36-48	10,2-16,8
2	–125	60-80	15,3-28,0
3	–240	78-104	20,3-36,4

Примечание. $R_{сж}$ – предел прочности массива на одноосное сжатие; $E_{деф}$ – модуль деформации массива.

Методы физического моделирования геомеханических процессов базируются на теории подобия, теории размерности* и состоят в воспроизведении в определенном масштабе структуры и физико-механических характеристик массива, реального процесса добычи полезного ископаемого на заданной глубине залегания, определении качественных и количественных характеристик напряжений и деформаций в массиве, получении физической картины процессов сдвижения на различных горизонтах.

* Моделирование в геомеханике / Ф.П.Глушихин, Г.Н.Кузнецов, М.Ф.Шклярский и др. М.: Недра, 1991. 240 с.

Glushikhin F.P., Kuznetsov G.N., Shklyarskij M.F. and others. Simulation in geomechanics. Moscow: Nedra, 1991. 240 p.

Моделирование проявлений горного давления / Г.Н.Кузнецов, М.Н.Будько, Ю.И.Васильев и др. Л.: Недра, 1968. 280 с.

Kuznetsov G.N., Budko M.N., Vasiljev Yu.I. and others. Simulation of mining pressure occurrences. Leningrad: Nedra, 1968. 280 p.

Главной особенностью и сложностью моделирования при решении поставленных задач является необходимость одновременного обеспечения подобия по напряжениям, прочностным и деформационным параметрам моделируемого массива.

С учетом этих факторов и данных технического задания для модели 1 был выбран геометрический масштаб $\alpha_l = 1:240$. Масштаб удельных весов или плотностей определялся по плотности НЖК и ЭМ: $\acute{\alpha}_\gamma = \alpha_\rho = 1600/3400 = 0{,}4706$, или 1:2,12.

С учетом этих данных, характеристик массива, приведенных в табл.1, прочностных и деформационных критериев были определены основные параметры ЭМ модели 1 (табл.2).

Таблица 2

Прочностные и деформационные параметры ЭМ модели 1

№ п/п	Моделируемый горизонт, м	$(R_{сж})_м$, МПа	$(E_{деф})_м$, МПа
1	–35	0,071-0,094	20,0-32,9
2	–125	0,118-0,157	30,0-54,9
3	–250	0,153-0,204	39,8-71,4

Для исследований в качестве базовых материалов был выбран ЭМ с наполнителем из мелкозернистого кварцевого песка (0,1-0,5 мм) и вязущим на основе смолы ДЭГ-1. Основная идея методики подбора требуемой рецептуры ЭМ состояла в варьировании содержанием вязущего и добавками в песок низкомодульной мелкодисперсной резиновой крошки (0,63-2,0 мм) для одновременного обеспечения требуемых прочностных и деформационных параметров ЭМ в соответствии с табл.2. Расчет весовых параметров компонентов проводился по следующим формулам:

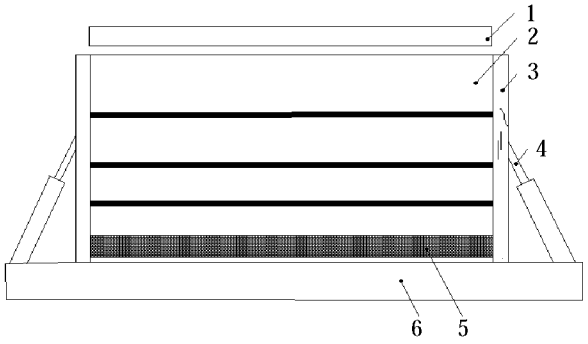


Рис.2. Принципиальная схема стенда
1 – пригрузочное устройство; 2 – модель; 3 – боковая стенка; 4 – крепление боковых стенок; 5 – скользящая опалубка; 6 – основание стенда

$$G_{песок} + G_{рез} = M(1 - C_s);$$

$$G_{рез} = К_{рез} M(1 - C_s);$$

$$G_{песок} = M(1 - C_s) - К_{рез} M(1 - C_s) =$$

$$= (1 - C_s)M(1 - К_{рез});$$

$$G_{связ} = MC_s;$$

$$G_{ДЭГ\text{-}1} = 0{,}58G_{связ} = 0{,}58MC_s;$$

$$G_{глиц} = 0{,}29G_{связ} = 0{,}29MC_s;$$

$$G_{ПЭПА} = 0{,}13G_{связ} = 0{,}13MC_s,$$

где G – вес компонента; M – суммарная масса смеси; C_s – доля связующего; $К_{рез}$ – доля резиновой крошки; индексы относятся соответственно к песку, резиновой крошке, связующему, смоле ДЭГ-1, глицерину, полиэтиленполиамиду (ПЭПА).

В результате выполнения технологической программы изготовления ЭМ были установлены рекомендуемые рецептурные параметры ЭМ (табл.3), при общей массе смеси 12 кг обеспечивающие воспроизведение физико-механических характеристик массива НЖК (см. табл.2).

Изготовление модели и ее исследование проводились на стенде «БУ 3м» (рис.2).

Таблица 3

Рецептурные параметры ЭМ

$К_{рез}$, %	C_s, %	Песок, г	Резиновая крошка, г	ДЭГ-1, г	Глицерин, г	ПЭПА, г	Связующее, г	Моделируемый горизонт, м
3	1,1	11512	356,0	76,6	38,3	17,2	132	–125
5	1,1	11275	593,4	76,6	38,3	17,2	132	–35
3	1,2	11500	355,7	83,5	41,8	18,7	144	–250

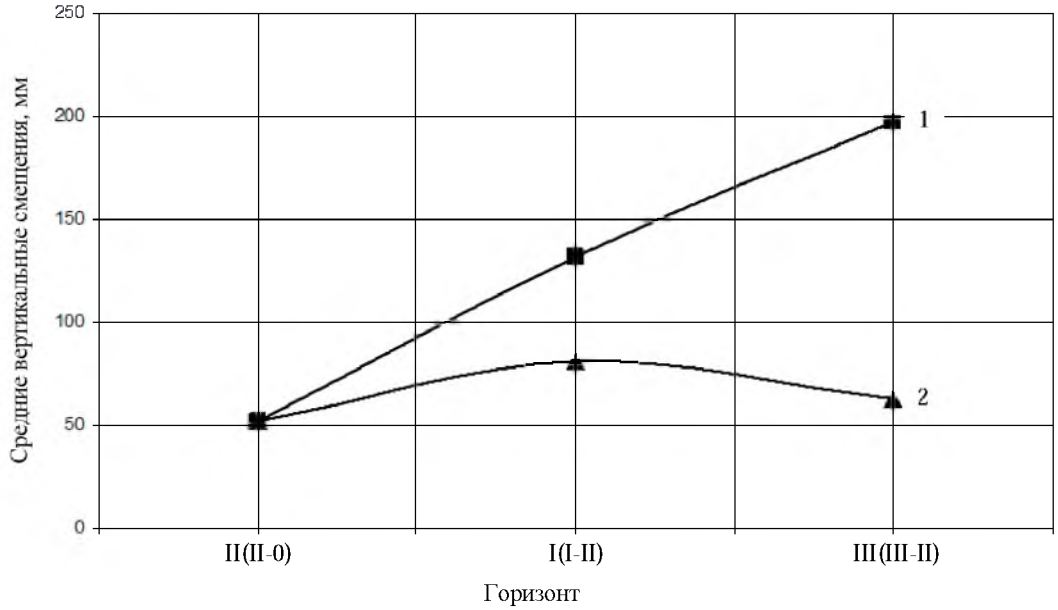


Рис.3. Изменения суммарных усредненных вертикальных смещений и их приращений в центральной части модели на горизонте +60 м при отработке II, I и III горизонтов

1 – суммарные усредненные вертикальные смещения; 2 – приращение усредненных вертикальных смещений по горизонтам

В соответствии с техническим заданием на физических моделях воспроизводилась область горного массива от –250 до +60 м. В этом случае геомеханические процессы зависели только от гравитационных сил, вертикальные составляющие которых определялись весом вышележащей толщи массива (они моделировались с помощью пригрузочного устройства), а горизонтальные – пассивным боковым отпором, что обеспечивается жесткими боковыми стенками стенда.

На основе тарировочных исследований, проведенных методами физического моделирования, разработаны методики воспроизведения физико-механических свойств горных пород Коробковского месторождения с учетом коэффициентов структурного ослабления массива.

Основные результаты исследований заключаются в следующем:

• после отработки горизонта –125 м вертикальные максимальные смещения в центральной части модели достигают 45,6 мм, что не превышает допустимого предела 100 мм;

• в случае последующей отработки горизонта –35 м усредненные вертикальные смещения в центральной части модели достигли 132 мм, что превышает допустимые смещения 100 мм;

• при последующей отработке горизонта –250 м усредненные вертикальные смещения существенно возросли (до 180 мм), что значительно превышает их допустимые значения (рис.3);

Следовательно, полученные значения смещений превышают допустимые осадки 100 мм уже при отработке горизонтов –125 и –35 м, а тем более горизонта –250 м, что не позволяет рассчитывать на безопасную отработку более значимых запасов горизонта –250 м.

В случае отказа от отработки горизонта –35 м приращение средних смещений при отработке горизонта –250 м составляет 95 мм, что меньше допустимого значения 100 мм. Фактически это смещение будет еще меньше, так как мощность целика из нетронутого массива НЖК и богатых руд ОЖК при отказе от отработки горизонта –35 м увеличится от 80 до 171 м.

Максимальные отношения напряжений в центральной части целиков к их прочно-

сти на одноосное сжатие на I, II и III горизонтах и на всех этапах отработки приведены в табл.4.

Таблица 4

Максимальные напряжения на горизонтах, %

Отрабатываемый горизонт, м	Горизонт		
	I (–35 м)	II (–125 м)	III (–250 м)
–35	38	31	25
–125	17	29	20
–250	37	32	32

После проведения геомеханических исследований принято решение о первоочередном вскрытии и отработке запасов нижнего горизонта в пределах отметок –(125-250) м. Глубина горных работ на отметке –250 м составит 450 м от поверхности. На этой глубине горное давление выше, чем на действующем горизонте –125 м, что необходимо учитывать при расчете размеров целиков и камер, а также размера предохранительного целика между горизонтом –125 м и нижележащим отрабатываемым этажом.