

УДК 622.27

О.И. Казанин, Б.Ю. Зувев, А.А. Мешков

**ИССЛЕДОВАНИЕ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ
ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЙ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ
РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ПОЛЕ
ШАХТЫ «КРАСНОЯРСКАЯ» ОАО «СУЭК-КУЗБАСС»**

Представлены результаты исследований на моделях из эквивалентных материалов аномальных сдвижений земной поверхности, вызванных отработкой запасов поля шахты «Красноярская» ОАО «СУЭК-Кузбасс».

Ключевые слова: подземная разработка, угольный пласт, сдвижение поверхности, физическое моделирование.

В результате подземной отработки пологого пласта Байкаимский мощностью 2,6 м в поле шахты «Красноярская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» над выемочными участками 1310, 1308, 1306 при глубине разработки 300 – 100 м образовались провальные трещины шириной до 7 м, глубиной до 3,5 м и протяженностью до 500 м и более (рис.1). Образование трещин не было спрогнозировано расчетами по действующим отраслевым нормативным документам [1]. Такой вид деформирования подработанной толщи не характерен для отработки пологих пластов на глубинах превышающих 20m (m – мощность угольного пласта) и входит в противоречие с установившимися, общепринятыми представлениями о характере и параметрах процесса сдвижения пород в данных условиях.

В связи с этим была поставлена цель подробного исследования процессов, происходящих в толще мощных наносов, достигающих 50—60 м на физических моделях из эквивалентных материалов (ЭМ), особенно эффективных при необходимости учета таких факторов, как разрывы сплошности массива и эволюция его

структурных параметров. Это потребовало решения следующих основных задач:

- разработать и изготовить стенд для физического моделирования;
- воспроизвести всю толщу наносов (50-60 м) на основе критериев подобия;
- смоделировать опускание коренных пород на их границе с наносами и формирование мульды сдвижения при последовательной отработке двух выемочных участков по пласту Байкаимский и одного – по пласту Польшаевский при мощности пластов, соответственно, 2,6 и 4,6 м с углами падения 8-10° учетом усредненных натуральных данных, близких к параметрам моделируемого массива (рис. 2);
- определить параметры смещения и трещинообразования в толще наносов до дневной поверхности с учетом заданной; последовательности отработки лав и развития процессов сдвижений во времени.

Подбор эквивалентных материалов, обеспечивающих воспроизведение физико-механических свойств и структуры горного массива, играет ключевую роль при решении всех моделируемых геомеханических процес-

сов. Разработка рецептуры изготовления ЭМ велась с учетом основных факторов, определяющих физическую суть данного процесса и физико-механических параметров моделируемых наносов, представленных супесями и суглинками.

Свойства суглинков и супесей в общем случае характеризуются полной графической диаграммой прочности



Рис. 1. Трещины на поверхности (фото предоставлены маркшейдерской службой шахты «Красноярская»)

в виде огибающей предельных кругов напряжения, характеризующих начало пластического течения материала.

Однако, при расчете диаграмм для сыпучих и связных материалов достаточно использовать основные константы для данного типа материалов (табл. 1): величину сцепления C с размерностью напряжений и безразмерный коэффициент $\text{tg } \varphi$ (где φ – угол внутреннего трения). Такой подход полностью соответствует методике, используемой в механике грунтов, также базирующейся на теории прочности Кулона-Мора с прямолинейными огибающими предельных кругов Мора.

При подборе ЭМ для наносов, представленных супесями и суглинками, для соблюдения условий подобия процессов их деформирования и разрушения, необходимо соблюсти следующие равенства, связывающие параметры модели и природы через линейные масштабы α_l и соотношение удельных весов α_γ :

$$C_M = \frac{l}{L} * \frac{\gamma_M}{\gamma_H} * C_H = \alpha_l * \alpha_\gamma * C_H \quad (1)$$

$$\text{tg } \varphi_M = \text{tg } \varphi_H \quad (2)$$

С учетом выбранного линейного масштаба моделирования $\alpha_l = 1:140$ и масштаба удельных весов $\alpha_\gamma = \alpha_\rho = 1,27$ были подобраны ЭМ, удовлетворяющие критериям подобия (табл. 2)

Для решения поставленных задач был разработан и изготовлен стенд для физического моделирования (рис. 3), воспроизведена вся толща наносов (50-60 м) из разработанных ЭМ, смоделировано опускание коренных пород на их границе с наносами и формирование мульды сдвижения с помощью специально разработанного механизма при последовательной отработке

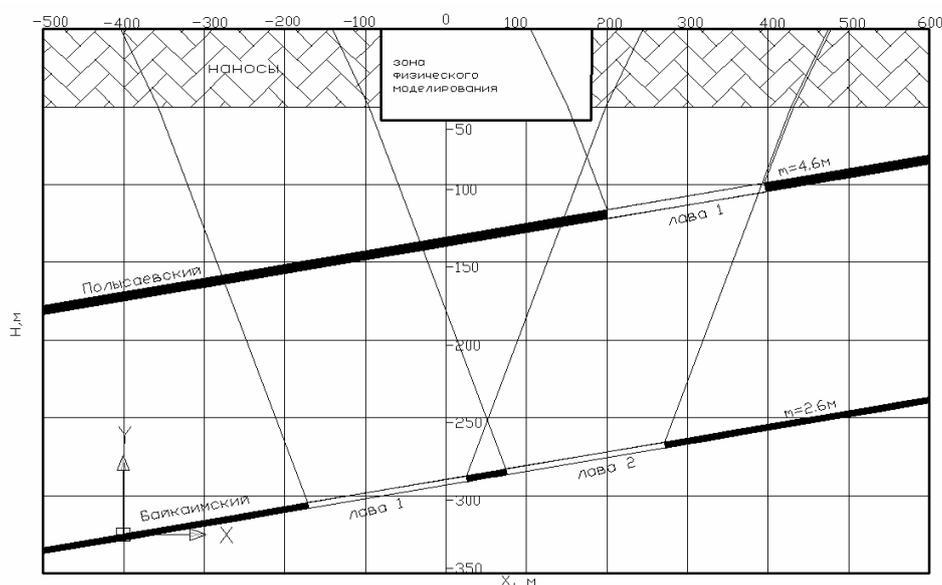


Рис. 2. Схема отработки пластов 2,6 и 4,6 м

Таблица 1

Типы и свойства моделируемых пород

Тип породы	C_H , МПа	ϕ , град	ρ , кг/м ³
Супеси, суглинки	0,011	18-23	1850-1920

Таблица 2

Физико-механические параметры ЭМ

п/п	Физико-механические параметры	Моделируемый тип наносов	
		супеси	суглинки
1	Состав компонентов ЭМ	кварцевый песок+солидол (100:1,5)	кварцевый песок+солидол+веретенное масло (100:1,0:5,0)
2	Условия перемешивания смеси ЭМ	без подогрева	с подогревом до 40°C
3	Сцепление C , МПа	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
4	Угол внутреннего трения $\text{tg}\phi$	30° (0,58)	26° (0,49)
5	Модуль деформации, МПа	0,69	0,62
6	Коэффициент Пуассона	0,3	0,3

выемочных участков на пластах, мощностью соответственно, 2,6 и 4,6 м с углами падения 8-10° учетом усредненных натуральных данных, близких к параметрам моделируемого массива (рис.4). При этом воспроизводилось поэтапное оседание дневной поверхности в центре мульды в диапа-

зоне от 12 до 80 % от мощности извлекаемых пластов, перекрывающим известные натурные данные по величинам оседаний при различных параметрах кровли, обрушающейся в выработанное пространство при стабилизации величины оседания на каждом этапе (табл. 3).



Рис. 3. Фото станда 1,8x0,4x0,5 м для изготовления и исследования моделей из эквивалентных материалов

Таблица 3

Этапы моделирования процессов сдвижений

№ этапа	$\eta_{\max} / m_{\text{пл}}$		
	1 лава, пласт 2,6 м	1 и 2 лава, пласт 2,6 м	1 лава, пласт 4,6 м
1	0,12	0,15	0,12
2	0,24	0,30	0,24
3	0,36	0,45	0,36
4	0,48	0,60	0,48
5	0,6	0,8	0,6

Параметры вертикальных смещений определялись с помощью реперных марок, установленных на передней поверхности модели на различных горизонтах, динамика развития и параметры трещин – с помощью современных цифровых фотокамер с погрешностью 0,05 – 0,1 мм.

В соответствии с Правилами охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [1] зоны опасного влияния и углов сдвижения по наклону составляют $i = 4 \cdot 10^{-3}$, по кривизне – $k = 0,2 \cdot 10^{-3}$.

Величина оседаний репера определяется по формуле:

$$\eta = H_{n-1} - H_n, \quad (3)$$

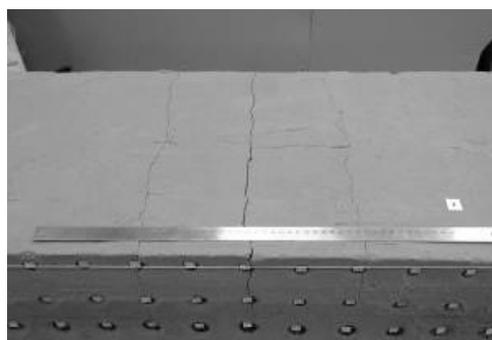
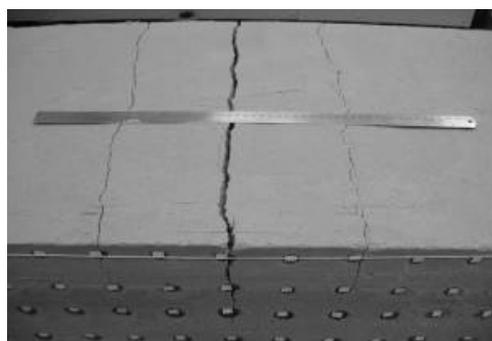
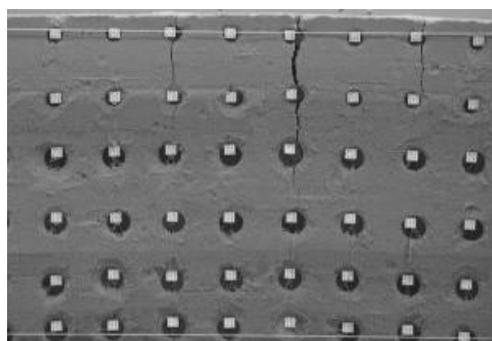
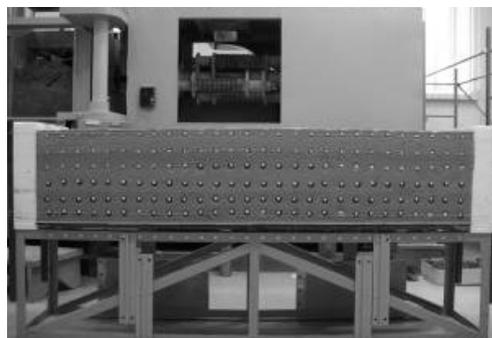


Рис. 4. Развитие и смыкание трещин на модели при последовательной отработке выемочных участков

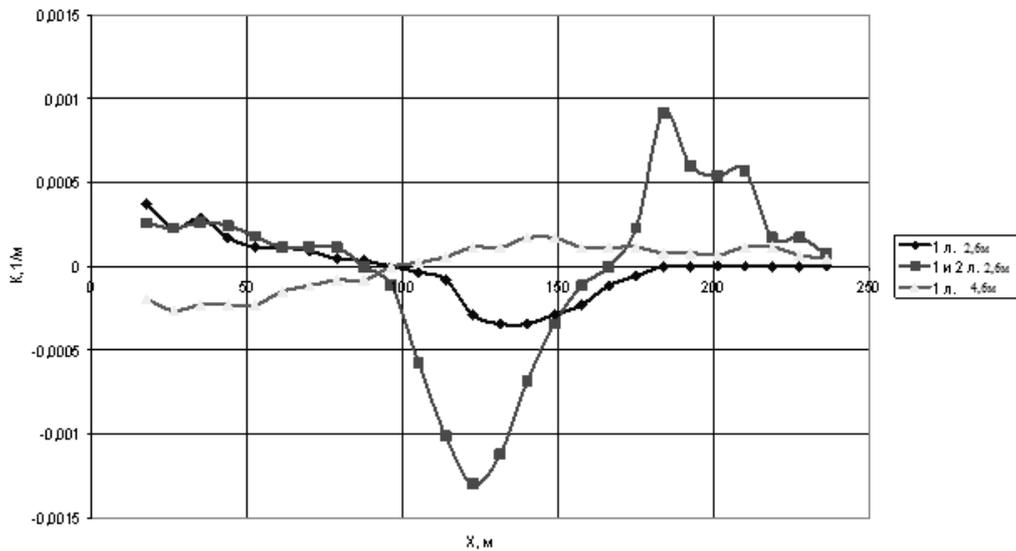


Рис. 5. Оседание дневной поверхности при обработке пластов 2,6 и 4,6 м

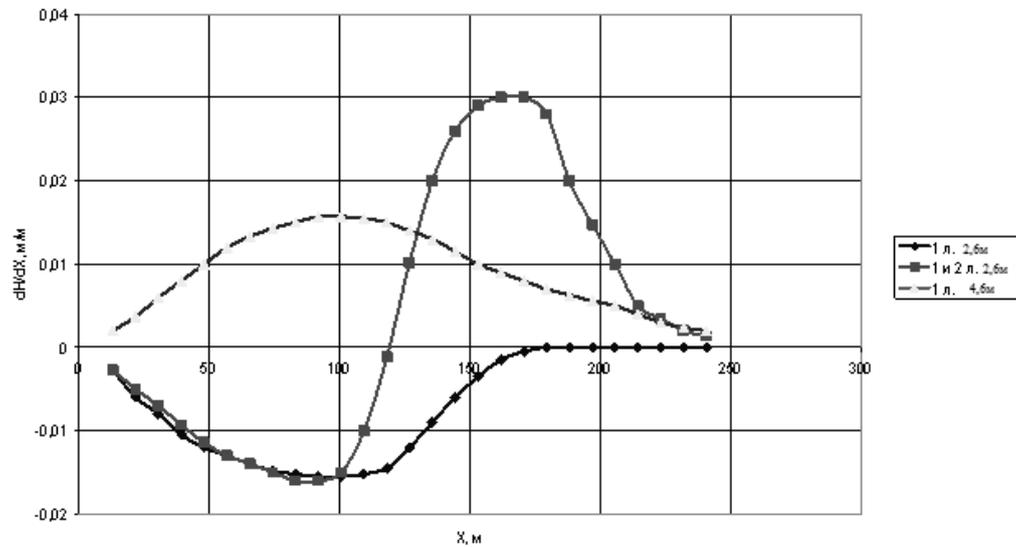


Рис. 6. Наклоны дневной поверхности при обработке пластов 2,6 и 4,6 м

где H_{n-1} — отметка репера из предыдущего или начального наблюдения; H_n — отметка репера из последующего наблюдения.

По данным оседания реперов определяют наклоны и кривизну. Наклоны определяют по формуле:

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{d}, \quad (4)$$

где η_n — вертикальное сдвижение переднего репера; η_{n-1} — вертикальное сдвижение заднего репера, d — горизонтальная длина интервала между реперами (от начального наблюдения).

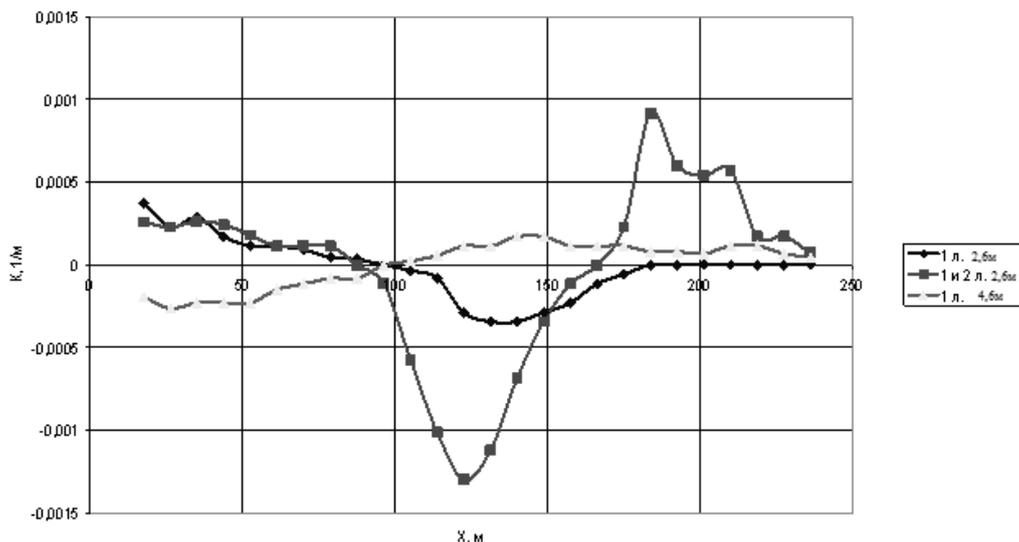


Рис. 7. Кривизна дневной поверхности при отработке пластов 2,6 и 4,6 м

Наклоны – величины безразмерные. При построении графиков вертикальных деформаций (наклонов) величины их относят к середине интервала.

Кривизну определяют по формуле:

$$k = (i_n - i_{n-1}) / d_{cp}, \quad (5)$$

где i_n — наклон последующего интервала; i_{n-1} — наклон предыдущего интервала, $d_{cp} = (d_n - d_{n-1}) / 2$ — полусумма горизонтальных длин последующего и предыдущего интервалов (из начального наблюдения).

При построении графиков полученную кривизну относят к общей точке смежных интервалов. Радиус кривизны (величину, обратную кривизне) определяют по формуле: $R = 1/k$ и выражают в километрах.

В соответствии с приведенными формулами и с учетом масштаба моделирования были построены зависимости пересчитанные на условия натуре и приведенные на рис. 5, 6, 7.

Анализ полученных данных показывает, что:

- при максимальных оседаниях при отработки пластов 2,6 и 4,6 м, составляющих от 60 до 80 % от мощности пласта при минимальных оседаниях до 20 % на дневной поверхности наносов над центральным целиком образуется несколько трещин с максимальным раскрытием до 0,8 м после отработки 1 лавы пласта 2,6 м и 1,4 м – после отработки 2 лавы пласта 2,6 м;
- в ходе отработки пласта 4,6 м при отработке 1 лавы произошло смыкание трещин с максимальным раскрытием трещин до 0,15-0,2 м при увеличении их числа;
- максимальные оседания дневной поверхности при отработке 1 лавы 2,6 м составили 1,68 м, 2-ой лавы 2,6 м – 2,2 м, 1 лавы 4,6 м – 3,7 м;
- максимальные наклоны дневной поверхности после отработки 1 лавы 2,6 м превышали допустимые пределы в 3,8 раза, 2-ой лавы 2,6 м – в 7,5 раз, 1 лавы 4,6 м – в 3,9 раза;

- максимальная кривизна дневной поверхности при отработке 1 лавы 2,6 м превышали допустимые пределы в 1,7 раза, 2-й лавы 2,6 м – в 6,5 раз 1 лавы 4,6 м – в 1,3 раза;

- максимумы оседаний наблюдались в краевых зонах моделируемого участка 250 м над центрами мульды при отработке 1 и 2 лавы пласта 2,6 м и над центром мульды от 1 лавы пласта 4,6 м;

- максимальные наклоны были смещены от вертикальной проекции центра целика между 1 и 2 лавы пласта 2,6 м на 35 вправо и влево от нее; а после отработки 1 лавы пласта 4,6 м – на 25 м влево от нее;

- максимальная кривизна была зафиксирована после отработки 1 и 2 лавы пласта 2,6 м ($1,3 \cdot 10^{-3}$) над вертикальной проекцией центра целика в месте расположения трещины с максимальным раскрытием 1,4 м, а минимальная после отработки 1 лавы

пласта 4, 6 при уменьшении на порядок раскрытия этой и других трещин (рис. 4).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности существенного снижения раскрытия трещин земной поверхности или полного их смыкания после отработки пласта Польшаевский мощностью 4,6 м при условии расположения целиков этого пласта над максимумами мульды при отработке выемочного столба по пласту Байкаимский мощностью 2,8 м при условии отработки 1 лавы пласта 4,6 м.

Для прогнозирования смещений и деформаций поверхности при отработке в поле шахты Красноярская пласта Польшаевский мощностью 4,6 м необходимо проведение дополнительных исследований влияния на параметры сдвижения скорости продвижения лавы, а также взаимного расположения целиков на сближенных пластах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 291 с.

2. *Исследование* и разработка комплекса рекомендаций по повышению эффективно-

сти технологии и снижению негативного воздействия подземной угледобычи на подрабатываемые земельные участки шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс»: Отчет о НИР. — Рук. Казанин О.И. – СПб.: СПГУ, 2011. 102 с.

3. *Peng S.S.* Coal Mine Ground Control. — West Virginia University, 2008. P.750. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Казанин О.И. — доктор технических наук,

Зуев Б.Ю. — кандидат технических наук, zuev_bu@spmi.ru

Санкт-Петербургский государственный горный университет,

Мешков А.А. — горный инженер, ОАО «СУЭК-Кузбасс».

