

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА
ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПРИЗАБОЙНОГО
ПРОСТРАНСТВА ЩИТОВОГО АГРЕГАТА**

инж. Житленок Д. М. (производственное объединение «Артем уголь»), **инж. Борисенко Э. В.** (Отделение физико-технических горных проблем ДонФТИ НАНУ), **инж. Федотов С. Н.** (Институт прикладной математики и механики НАНУ)

При выемке угольного пласта в окружающем очистной забое горном массиве происходят процессы перераспределения напряжений, деформаций и внутренней энергии, которые зависят от геологических факторов (глубина залегания, мощность и угол падения пласта, строения и физико-механических свойств пород и угля) и от горнотехнических условий разработки (форма и направление перемещения очистного забоя, размеры выработанного пространства, способы управления кровлей и характеристика средств крепления, управление горным давлением и др.). После перераспределения напряжений в массиве образуются зоны с повышенным горным давлением впереди забоя по обрабатываемому пласту и на границе невынутой частью угольного пласта, а также зоны с пониженным горным давлением в окрестности выработанного пространства. Разработаны и используется большое количество способов и средств измерения параметров горного давления, где в основном используется измерение косвенных параметров его проявлений – деформации боковых пород и угольного пласта в очистном забое и в выработках, расположенных впереди и позади очистного забоя, а также в специально пробуренных скважинах. Это позволило получить специалистам вполне достоверные данные о характере расположения, величинах напряжений в зонах повышенных и пониженных напряжений в окрестности очистного забоя для различных горногеологических и горно-технических условий, что явилось основанием для создания современных средств управления горным давлением очистных и подготовительных выработках.

Вместе с тем экспериментальные способы весьма трудоемки и длительны. Поэтому наряду с этими способами получили развитие аналитические методы расчетов напряженно-деформированного состояния, основанные на использовании методов теории упругости и пластичности, получивших развитие в работах А. С. Космодамианского, А. А. Левшина и др. [1,2].

Нетронутые породы находятся в естественном напряженном состоянии, обусловленном их собственным весом и стесненными условиями

виями деформирования с возможным влиянием геотектонических факторов. Последнее учитывается при выборе коэффициента бокового распора. Массив горных пород моделируется анизотропной средой (физико-механические свойства различны в различных направлениях). При этом пласт в его краевой части рассматривается как пластическая анизотропная среда с различными прочностями в трех взаимно-ортогональных направлениях. Исследуется упруго-пластическая задача о напряженно-деформированном состоянии анизотропного массива горных пород при разработке угольного пласта при типовых технологических схемах крепления с неизвестной границей опорного давления на пласт, определяемой в зависимости от прочности и физико-механических свойств массива, глубины разработки, мощности пласта, характеристик пластичности и их анизотропии, реакции крепления. Система координат xOy выбирается связанной с угольным пластом, ось x выбирается по простиранию пласта, начало координат совпадает с угольным пластом, ось y направлена ортогонально оси x . Мощность пласта обозначена $2h$ (м). Все геометрические параметры отнесены к $2h$. Напряжения рассматриваются в плоскости перпендикулярной плоскости падения пласта. На площадках в массиве, ортогональных к оси x , действуют напряжения σ_x^0 , на площадках, ортогональных оси y , действуют напряжения σ_y^0 , касательные напряжения τ_{xy}^0 действуют на обеих из указанных площадок. Компоненты тензора напряжений ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) отнесены к величине исходного горного давления γH , где γ - средний удельный вес горных пород, H - глубина разработки, размерность γH равна кГ/см².

Распределение исходного горного давления в массиве для наклонных пластов имеет следующий вид:

$$\sigma_y = -m\gamma(H - x \sin \alpha - y \cos \alpha),$$

$$\sigma_x = -n\gamma(H - x \sin \alpha - y \cos \alpha),$$

$$\tau_{xy} = -l\gamma(H - x \sin \alpha - y \cos \alpha),$$

$$m = (1 + \lambda)/2 + \cos 2\alpha - (1 - \lambda)/2,$$

$$n = (1 + \lambda)/2 - \cos 2\alpha - (1 - \lambda)/2,$$

$$l = \sin 2\alpha(1 - \lambda)/2,$$

где λ - коэффициент бокового распора,

α - угол падения (наклона) пласта.

Для угля характерна сдвиговая прочность $T_n = \sigma_n(45^\circ)/2$ и характеристика прочностной анизотропии $\sqrt{1 - c_x} = \sigma_n(0^\circ)/\sigma_n(45^\circ)$,

где $\sigma_n(0^\circ)$ - прочность угля в направлении нормали,

$\sigma_n(45^\circ)$ - прочность угля в направлении 45° к нормали при сжатии.

В частности, случай $c_x = 0$ соответствует изотропному по прочности углю $\sigma_n(0^\circ)/\sigma_n(45^\circ) = 1$.

В институте прикладной механики и математики НАНУ под руководством А. А. Левшина разработан комплекс программ на основе "Borland C++ Matlab for Windows". На основании этого пакета программ разработана расчетная схема для определения напряженно-деформированного состояния в окрестности вентиляционного ската при щитовой системе разработки.

Основные параметры горного массива, используемые при расчете:

T_{n1} – несущая способность породной полосы;

T_{n2} – несущая способность (прочность) угольного пласта;

$2h$ – мощность пласта;

R_k – реакция крепи ската.

Расчеты выполнялись для глубины ведения работ 1000 м, мощность пласта 1,2 м. В табл. 1 представлены данные о параметрах, которые были переменными в каждой из исследуемых схем.

Таблица 1.

Параметры используемые в расчетах

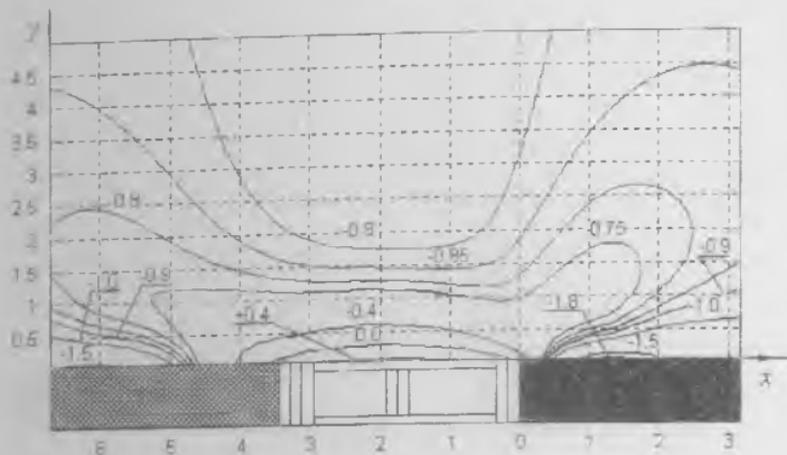
| № схемы | Краткая характеристика крепи ската | R_k , кН/ М | T_{n1} , кг/см ² | T_{n2} , кг/см ² | |
|---------|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | | до увлажнения | после увлажнения |
| 1 | Деревянный брус, органная крепь | 2000 | 60 | 120 | 60 |
| 2 | Деревянный брус, тумбы БЖБТ | 4000 | 60 | 120 | 60 |

Изменение прочности угольного пласта при его увлажнении водными растворами ПАВ, как показали исследования ДонФТИ НАНУ [3] может изменяться для угля марки К и Ж в 2,0-2,5 раза при повышении влажности с 0,8 до 2,5%.

На рис. 1-6 представлены расчетные графики напряжений горного массива в окрестности вентиляционного ската (σ_x , σ_y , τ_{xy}) как при естественной влажности угля, так и при его увлажнении.

Как следует из приведенных графиков, увлажнение краевой части угольного пласта приводит к перемещению максимальных напряжений вглубь угольного пласта обрушенных пород. Особенно подвержены изменению касательные напряжения в породах кровли. Максимальные напряжения перемещаются на 1,5-2,0 м вглубь контура выработки и на 0,5-1,0 м вверх в породы кровли. Это способствует сохранению целостности нижних слоев кровли за счет уменьшения растягивающих, т.е. наиболее разрушающих напряжений для горных пород.

[σ_x]



[σ_x]

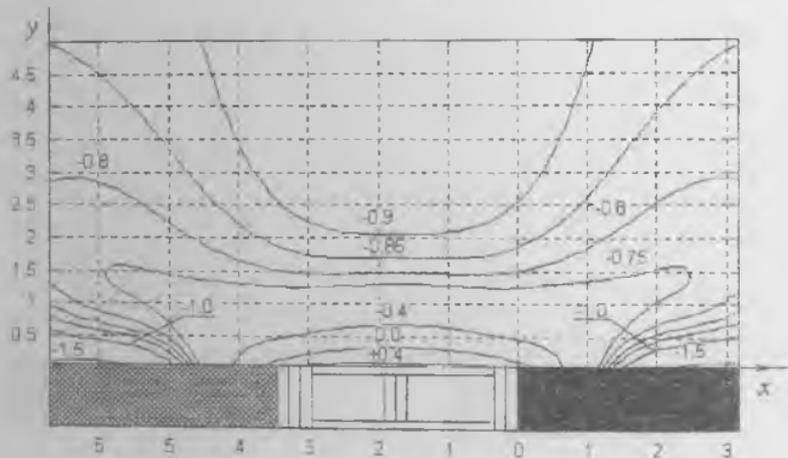


Рис. 1. Распределение компоненты напряжения $\sigma_x^e / \gamma H$:
 а) до увлажнения; б) после увлажнения.

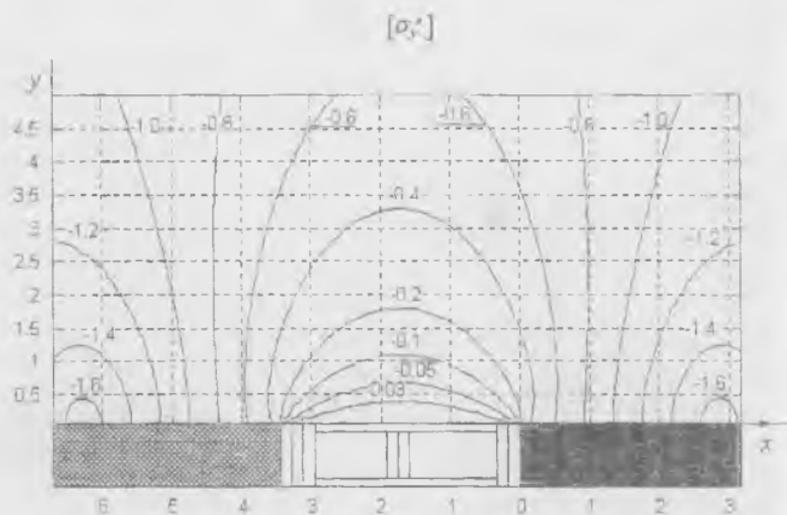
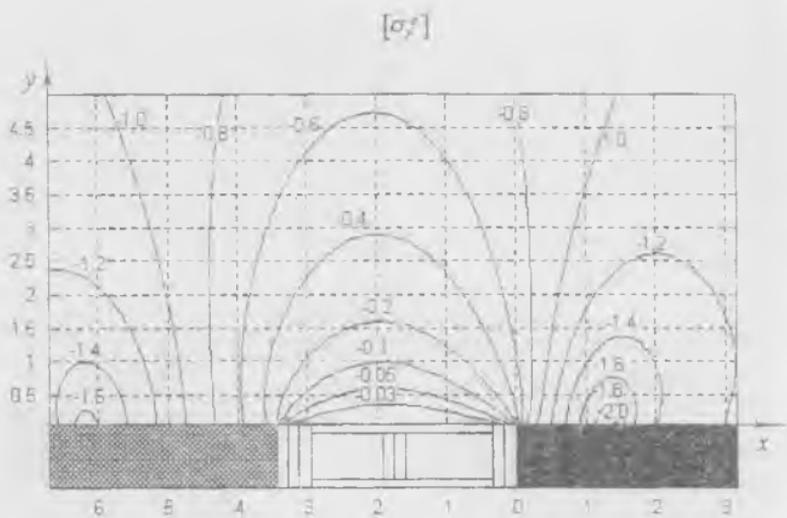


Рис. 2. Распределение компоненты напряжения $\sigma_y^e / \gamma H$: а) до увлажнения; б) после увлажнения.

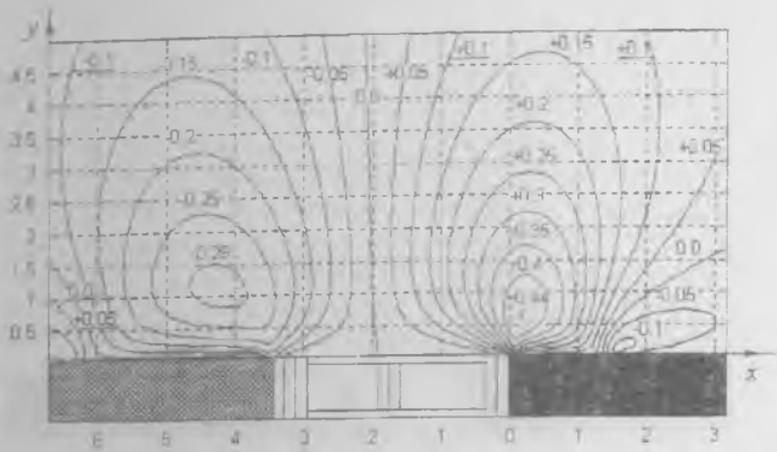
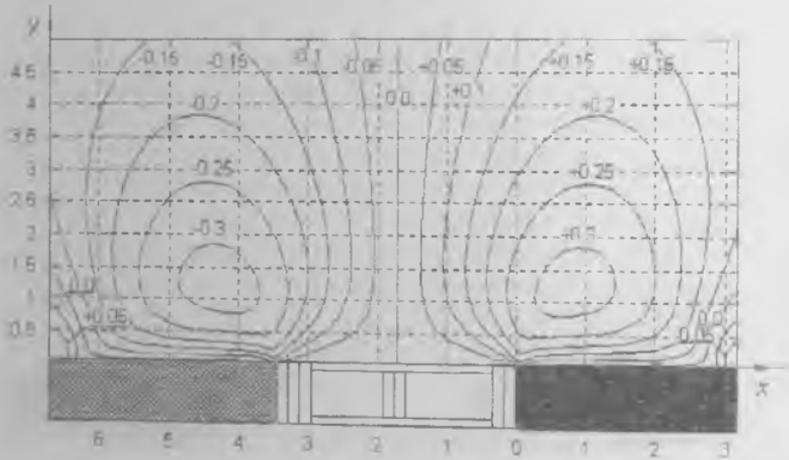
$[\tau_{xy}]$  $[\tau_{xy}]$ 

Рис. 3. Распределение компоненты напряжения $\tau_{xy}^e/\gamma H$:
а) до увлажнения; б) после увлажнения.

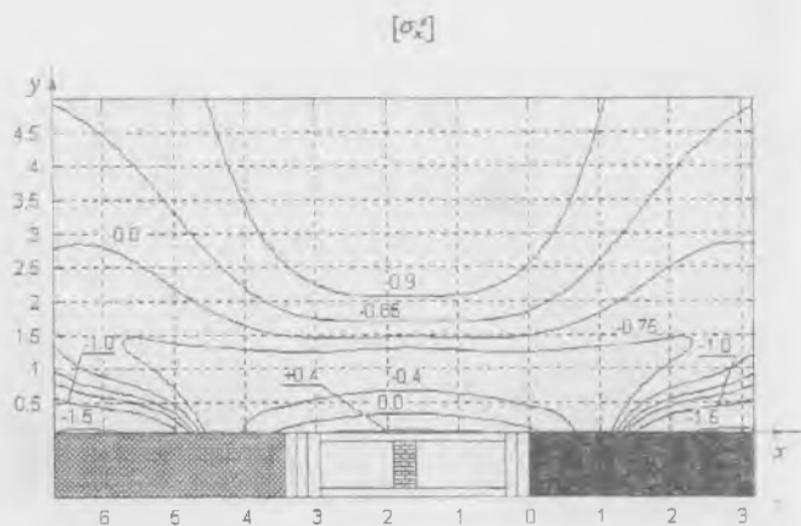
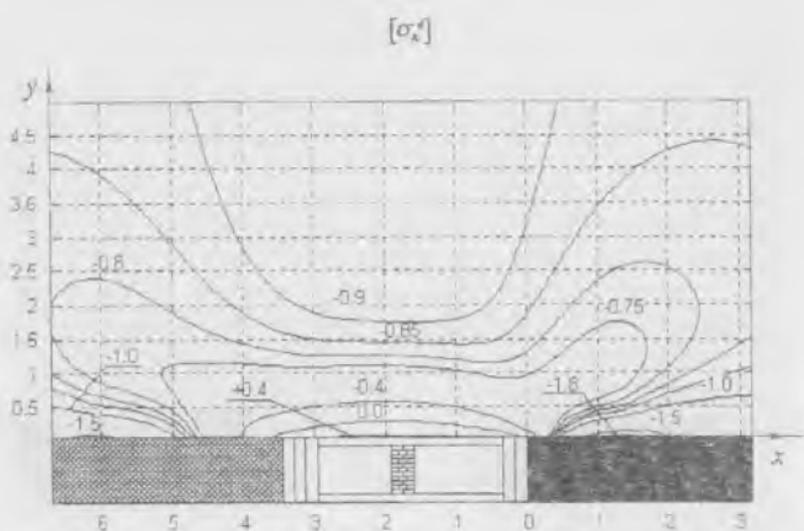
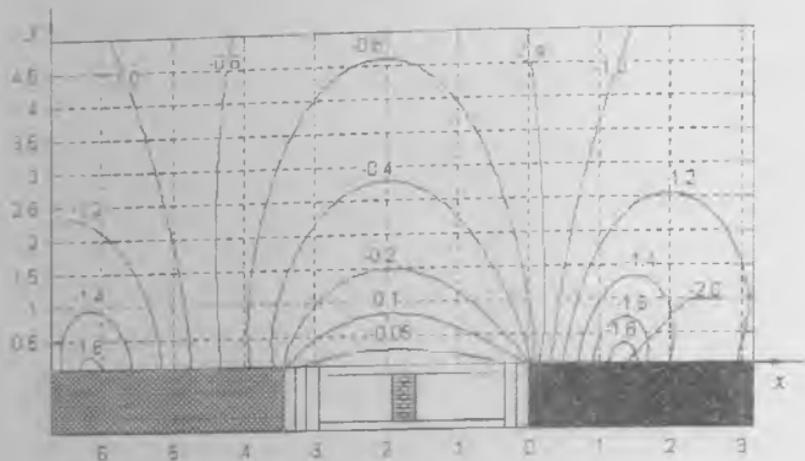


Рис. 4. Распределение компоненты напряжения $\sigma_x^e / \gamma H$:
 а) до увлажнения; б) после увлажнения.

$[\sigma_y^e]$



$[\sigma_y^e]$

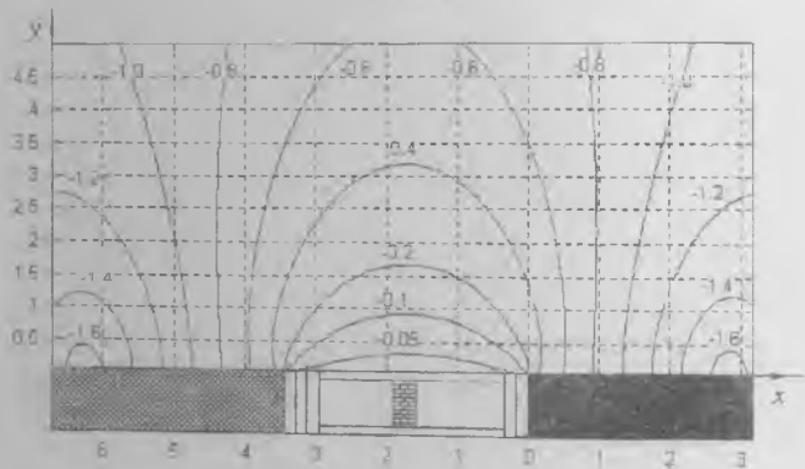


Рис. 5. Распределение компоненты напряжения $\sigma_y^e / \gamma H$:
 а) до увлажнения; б) после увлажнения.

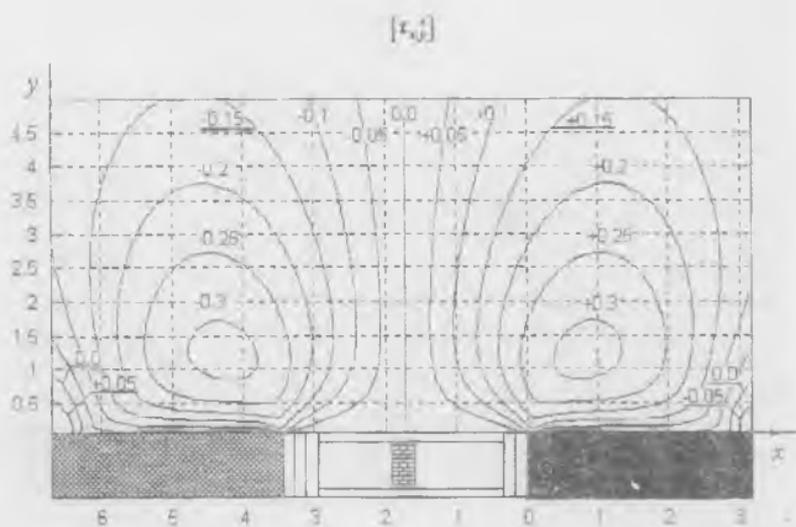
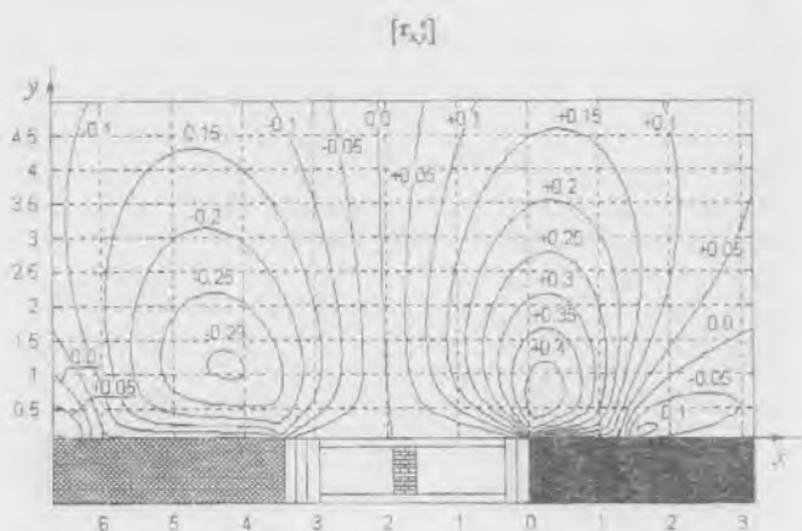


Рис. 6. Распределение компоненты напряжения $\tau_{xy}^e / \gamma H$:
 а) до увлажнения; б) после увлажнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. А. С. Космодамианский, А. А. Левшин, Доклады АН УССР 9, 34, (1986).
2. А. А. Левшин, Известия АН СССР. Механика твердого тела 5, 180 (1981).
3. Аксенов А. В., Романова В. В., Борисенко Э. В., Пяталенко Е. И., Ревва В. Н. Управление изменением физико-механических свойств угля при его увлажнении водными растворами ПАВ // Проблемы отработки крутых пластов Донбасса.- Донецк: ЦБНТИ, 1996.- С. 8-11.

УДК 622.831.33

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СДВИЖЕНИЙ НАД ЗАБРОШЕННЫМИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

к. т. н. Звягильский Е. А. (шахта им. А.Ф. Засядько)

Проблема обрушения поверхности над заброшенными выработками мелкого заложения весьма актуальна в традиционных угледобывающих странах (США, Чехии, Польше, России, Украине и др.). Установлено [1], что сдвигения над выработками мелкого заложения происходят самым случайным образом и принципиально не предсказуемы. В связи с этим было принято решение исследовать данный процесс на нескольких однородных моделях из эквивалентных материалов с подобными свойствами, чтобы максимально исключить влияние горно-геологических факторов. Данный подход позволил установить основные закономерности природы исследуемого механизма.

Для изучения закономерностей сдвижений над горизонтальными выработками мелкого заложения была использована известная методика физического моделирования на моделях из эквивалентных материалов [2]. Для измерения всех компонент сдвижений моделируемых горных пород использовалась методика фотофиксации меток на поверхности модели с последующей обработкой координат меток на сканере и компьютере.

В результате проведения контрольных пробных опытов опытным путем были подобраны свойства моделируемых пород соответствующие типичным породам наносов Донбасса с прочностью на одноосное сжатие 10–30 МПа. Для закатки основных плоских моделей в масштабе 1:33 был изготовлен стальной стенд коробчатого типа с внутренними размерами 1370×980 мм. Толщина рамы стенда 19 мм. Передняя и задняя стороны моделей были ограничены стеклами толщиной 7 мм. Это позволило вести визуальный контроль за развитием моделируемых процессов на протяжении всего времени моделирования. Для уменьшения времени на закатку отдельных моделей