

УДК 622.261.27

© С.Н. Гапеев, Р.Н. Терещук, А.Б. Олексюк

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НАКЛОННОЙ ВЫРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ ИМ. В.М. БАЖАНОВА

Представлены результаты комплекса исследований, проводимых с целью разработки способа обеспечения устойчивости вентиляционной магистрали пласта  $m_3$  гор. 1100 м шахты им. В.М. Бажанова.

Наведені результати комплексу досліджень, що проводяться з метою розробки способу забезпечення стійкості вентиляційної магистралі пласта  $m_3$  гор. 1100 м шахти ім. В.М. Бажанова.

The results of complex researches, conducted with the purpose of development of method to ensure the sustainability of the ventilation magistral working to coal bed  $m_3$  level 1100 m of the mine V.M. Bazhanov is presented.

**Введение.** Для успешного решения проблем подземной угледобычи необходима ритмичная безотказная работа угольных шахт, важным структурным элементом которых является горная выработка. Благодаря высокой степени неоднородности породного массива, обеспечение надежного функционирования воздухоподающих выработок при относительно небольших затратах на их сооружение и поддержание представляет собой сложную научно-техническую задачу.

Особенно актуальна эта задача в зоне влияния очистных работ, поскольку нормальные условия работы комплексно-механизированных угольных забоев возможны только при условии обеспечения надежного эксплуатационного состояния горных выработок.

Опыт ведения горных работ на шахте им. В.М. Бажанова показывает, что применение мер охраны и поддержания капитальных выработок не снимает задачи обеспечения их устойчивости: наблюдается пучение пород почвы, деформации крепи. Это требует проведения неоднократных подрывок вспученных пород, ремонтов деформированных элементов крепи с использованием на этих работах значительных людских, материальных и финансовых ресурсов.

Разработка и применение любых мероприятий по обеспечению эксплуатационного состояния выработок и их сопряжений должны основываться на фактических данных о состоянии объектов и на адекватных моделях процессов, происходящих в их окрестности в породном массиве. Причем, чем более разнообразные данные используются для анализа, тем точнее будет выбор соответствующих мероприятий по обеспечению устойчивости объектов.

Наиболее полные данные о состоянии объекта могут быть получены при натуральных наблюдениях непосредственно в шахте. Полученная при этом информация, с одной стороны, является исходной для разработки моделей объекта и явлений, в нем происходящих, а с другой стороны, служат критерием правильности разработанных теорий и результатов моделирования. Однако, проведение широкомасштабных натуральных наблюдений сопряжено как правило со значительными трудностями различного характера.

Одним из методов исследования сложноструктурных объектов в геомеханике является физическое моделирование различных процессов горного производства в лабораторных условиях, где на искусственных моделях воспроизводится процесс деформирования породного массива по мере создания в нем искусственных полостей. Одним из таких методов является метод моделирования на эквивалентных материалах [1].

С целью разработки способа обеспечения устойчивости капитальной наклонной выработки в условиях шахты им. В.М. Бажанова был проведен комплекс исследований, включающий натурные наблюдения за развитием геомеханических процессов с целью сравнения их проявления в двух выработках, расположенных в сходных условиях, и моделирование на эквивалентных материалах с целью замещения сложного дорогостоящего натурального эксперимента.

**Состояние вопроса.** Наблюдения проводились в двух выработках – Центральном вспомогательном уклоне (ЦВУ) и в Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ). Интерес эти выработки представляют в первую очередь тем, что эксплуатируясь в очень похожих условиях (заложены в поле отработанной 2-й центральной лавы гор. 1100 м), по опыту эксплуатации имеют различную устойчивость. Первичные данные о проявлениях геомеханических процессов, наблюдаемых на замерных станциях ЦВУ в течение первого месяца наблюдений, представлены в [2]. При этом основной интерес представляет состояние Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ), призванной обеспечить нормальное проветривание в уклонном поле шахты и испытывающей деструктивное воздействие горного давления.

**Целью настоящей статьи** является изложение материалов натурных исследований и моделирования на эквивалентных материалах геомеханической ситуации в Центральной вентиляционной выработке пл.  $m_3$  гор. 1100 м шахты им. В.М. Бажанова.

**Основной материал и результаты исследований.** Замерные станции были развернуты в ЦВМ и ЦВУ гор. 1100 м уклонного поля (рис. 1).

Для проведения наблюдений в выработках оборудовались замерные станции, по три на каждую выработку. Каждая такая станция состояла из трех замерных пунктов, установленных в выработке на расстоянии друг от друга, равном 4,0-4,2 м. В свою очередь, каждый замерный пункт представлял собой совокупность четырех комплектов реперов, разнесенных в пространстве на шаг установки двух рам крепи, т.е. 1,4 м. Таким образом, длина одного замерного пункта – 4,2 м; длина замерной станции, с учетом расстояний между замерными пунктами – 20,0-21,0 м, т.е. один пикет. Измерения на замерных станциях производились на контурных реперах. На каждом замерном пункте устанавливалось по три репера – один в кровле по вертикальной оси выработки и два в боках, на высоте 1,0 м от ее почвы. Для измерений использовались рулетка и легкий строительный уровень длиной 1,5 м, с помощью которого контролировалось положение условного горизонта и направления измерений относительно него. Изменение высоты выработки контролировалось по трем показателям – общей вертикальной конвергенции  $H$ , высоте от кровли до замерного горизонта  $H_k$  и высоте от почвы до замерного горизонта  $H_n$ . Измерения выполнялись вдоль отвеса, весящего вертикально.

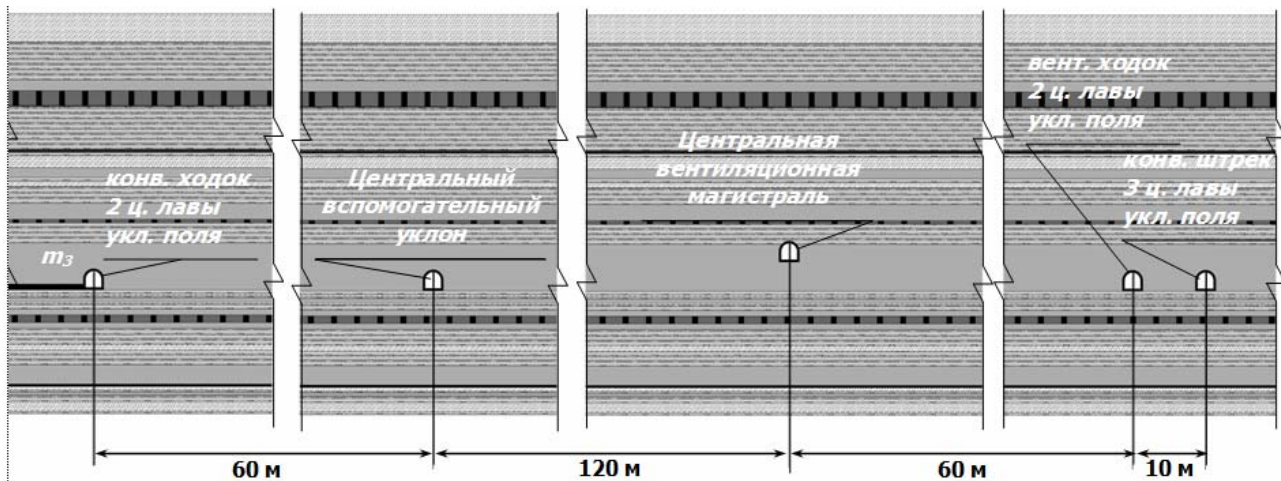


Рис. 1. Схема расположения объектов исследований в пространстве относительно почвы пласта  $m_3$

В качестве итогового значения контролируемых величин по каждой замерной станции принимались средние значения из измеренных по трем замерным пунктам. Наблюдения велись в течение шести месяцев, частота замеров – один раз в неделю.

Результаты натурных измерений на контурных замерных станциях в Центральном вспомогательном уклоне и Центральной вентиляционной магистрали представлены на графиках на рис. 2 и 3.

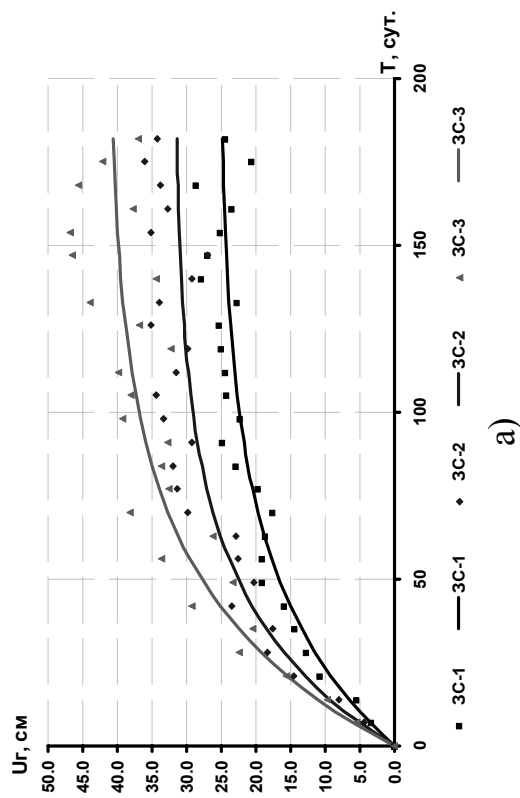
Анализ представленных графиков показывает следующее. В целом развитие смещений в ЦВУ, как горизонтальных, так и вертикальных, имеет тенденцию к стабилизации примерно после 80-120 суток наблюдений (см. рис. 2). Общая интенсивность геомеханических процессов, фиксируемых на замерных станциях, повышается с увеличением глубины заложения станций. Максимальная горизонтальная конвергенция в ЦВУ измерена на замерной станции ЗС-3 и достигает свыше 40,5 см на 182-е сутки наблюдений. Минимальная горизонтальная конвергенция (станция ЗС-1) не превышает 25,0 см. Таким образом, смещения контура в горизонтальном направлении, измеренные в ЦВУ, сравнительно невелики. Зависимости на рис. 2,а, отражающие картину развития горизонтальной конвергенции, с корреляцией 0,95-0,97 аппроксимируются экспоненциальными функциями вида

$$U_2 = a \cdot (1 - e^{-b \cdot T}) \quad (1)$$

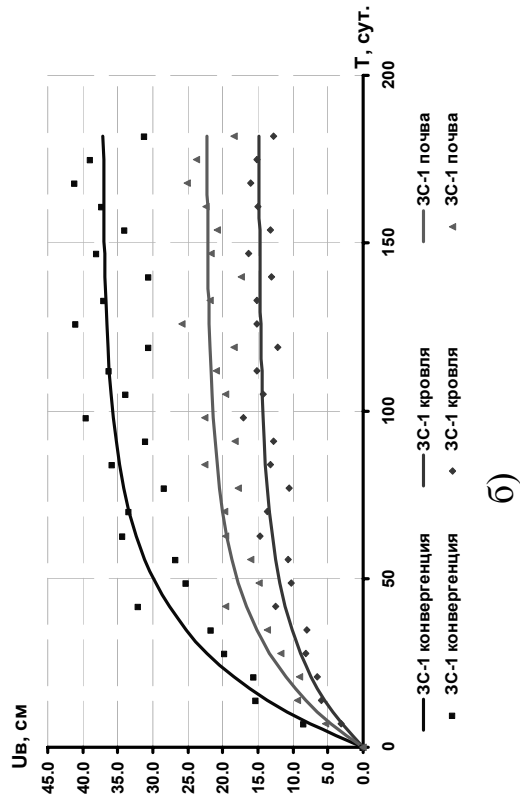
Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  различны для каждого из представленных графиков.

Величины вертикальной конвергенции в ЦВУ показывают те же тенденции, что и горизонтальные смещения – с глубиной интенсивность возрастает, после определенного времени наблюдений имеет место тенденция к стабилизации смещений.

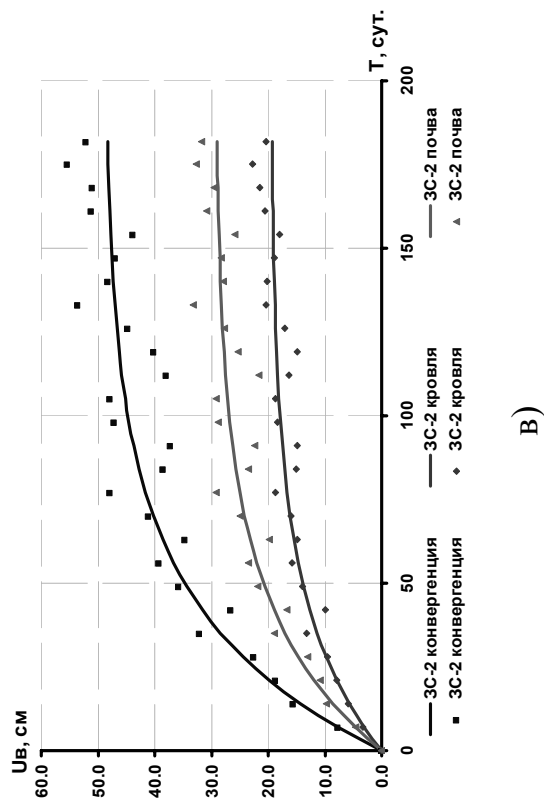
Зависимости, представленные на рис. 2,б-г, с коэффициентом корреляции 0,94-0,96 также описываются экспоненциальной функцией вида (1).



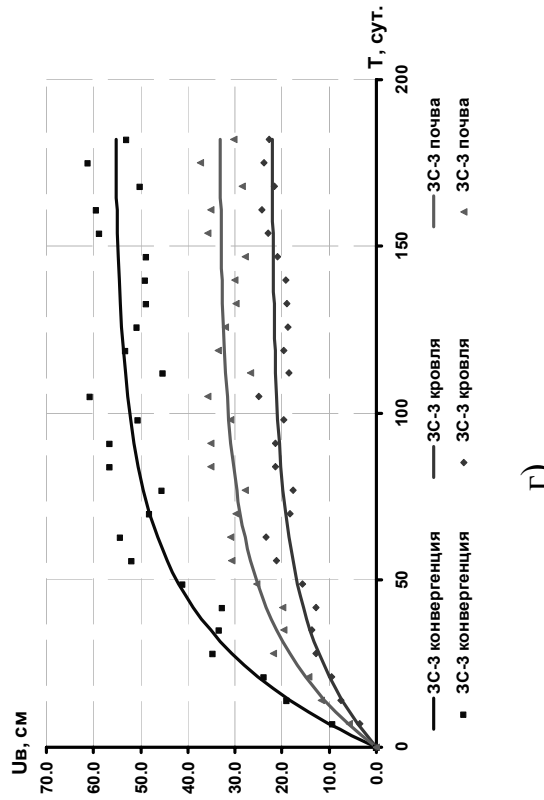
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Результаты измерений в Центральном вспомогательном уклоне: горизонтальные смещения на трех замерных станциях (а); горизонтальные смещения по замерной станции ЗС-1 (б), ЗС-2 (в) и ЗС-3 (г) соответственно

Максимальные значения, как и для случая горизонтальной конвергенции, имели место на самой глубокой из трех замерных станций – ЗС-3. Здесь значения конвергенции достигают 55,0 см за 182 суток наблюдений (против 37,0 см на ЗС-1). Таким образом, средняя интенсивность смещений за весь период наблюдений составила для ЗС-3 0,3 см/сут. против 0,2 см/сут. для ЗС-1. При этом в первые 84 суток наблюдений были достигнуты от 90 до 94% от максимального значения для разных замерных станций. Доля смещений со стороны кровли и почвы в общей конвергенции составляет порядка 40 и 60% для всех замерных станций.

Таким образом, в ЦВУ основным видом деформаций контура выработки являются вертикальные смещения, причем основной вклад в общую конвергенцию дают смещения почвы выработки – максимальное значение (для ЗС-3) достигает 33,2 см на 182 сутки наблюдений.

Анализ графиков горизонтальных и вертикальных смещений для ЦВМ (рис. 3) показывает, что в целом интенсивность процессов выше, чем для ЦВУ, характер развития их нельзя назвать затухающим. И для этой выработки увеличение глубины заложения замерных станций подобным же образом влияет на картину геомеханических процессов – она возрастает от замерной станции ЗС-4 к замерной станции ЗС-6.

На 182 сутки наблюдений была достигнута максимальная величина 47,4 см на замерной станции ЗС-6, наиболее глубокой станции для ЦВМ, что на 17% больше, чем для ЦВУ. И это при том, что отметка заложения станции ЗС-6 меньше, чем для станции ЗС-3, наиболее глубокой для ЦВУ. Средняя интенсивность горизонтальной конвергенции для ЗС-6 составила 0,26 против 0,22 см/сут. для ЗС-3, т.е. скорость нарастания смещений для обеих выработок отличается незначительно.

Характер развития вертикальной конвергенции также отличается от такового для ЦВУ, хотя тенденция увеличения интенсивности процессов с повышением глубины сохраняется и здесь. Максимальная величина вертикальной конвергенции составила 67,3 см (станция ЗС-6), минимальная – 42,8 см (станция ЗС-4). Скорость нарастания смещений, средняя за весь период наблюдений, составила от 0,24 до 0,4 см/сут.

На первые 84 сут. доля достигнутых смещений составила от 73 до 80% от максимального значения для разных станций. Скорость смещений на указанном промежутке наблюдений достигала от 0,4 см/сут. для ЗС-4 до 0,66 см/сут. для ЗС-6. При этом за оставшиеся 98 суток скорость несколько снизилась – от 0,09 до 0,12 см/сут., но все же продолжала оставаться значительной, особенно в сравнении со значениями для ЦВУ – от 0,02 до 0,06 см/сут.

Аппроксимация полученных в ходе натурных измерений значений горизонтальной и вертикальной конвергенции по замерным станциям ЗС-4–ЗС-6 хорошо выполняется (с коэффициентом корреляции 0,96–0,97) той же экспоненциальной функцией вида (1).

Доля смещений со стороны почвы также составляет до 60% от общей вертикальной конвергенции и достигает максимального значения 40,4 см для ЗС-6, наименьшее значение для ЦВМ – 25,7 см для ЗС-4.

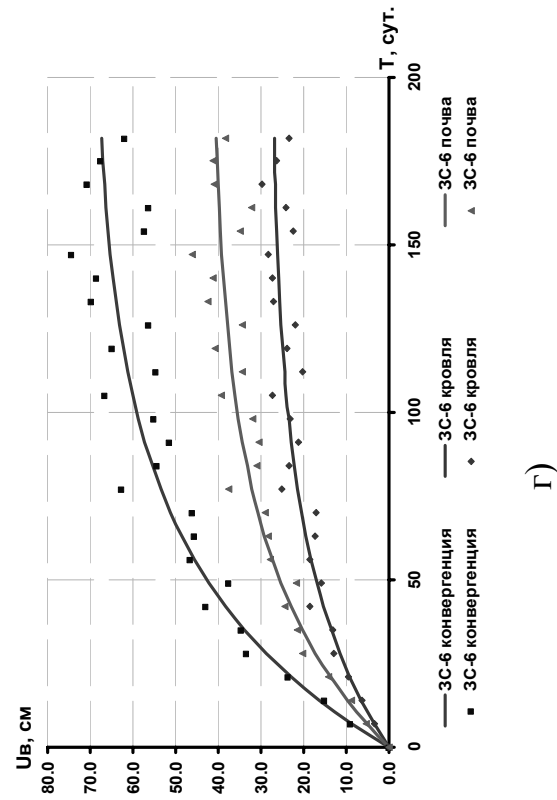
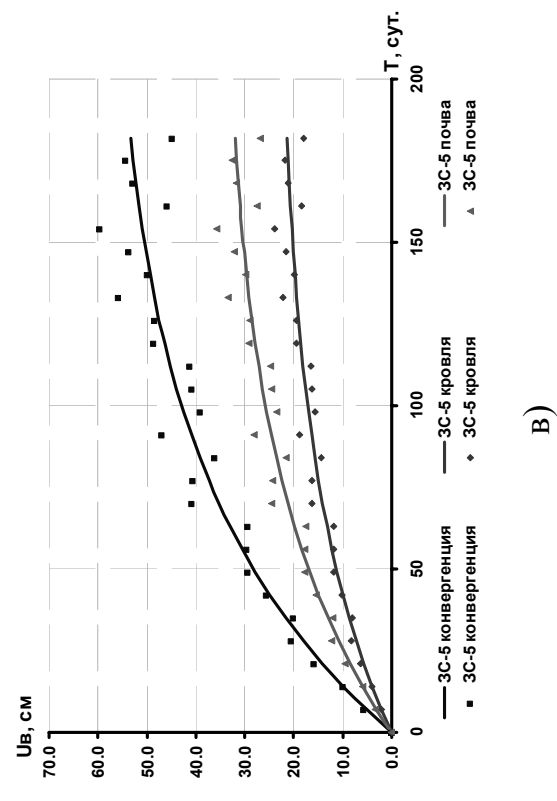
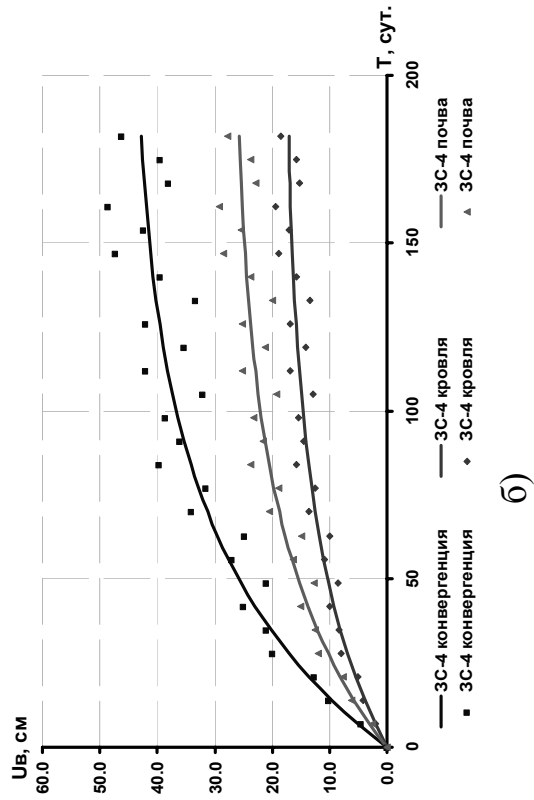
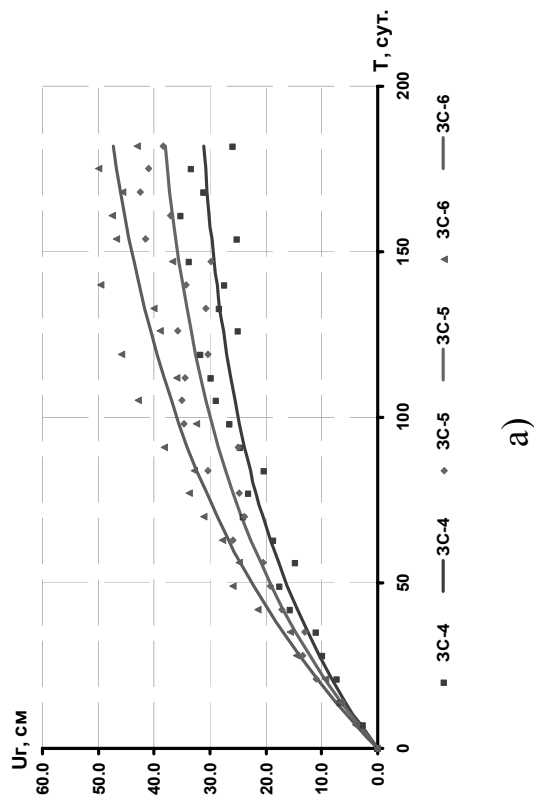


Рис. 3. Результаты измерений в Центральной вентиляционной магистрали: горизонтальные смещения на трех замерных станциях (а); горизонтальные смещения по замерной станции ЗС-4 (б), ЗС-5 (в) и ЗС-6 (г) соответственно

Таким образом, в ЦВМ основным видом деформаций контура выработки также являются вертикальные смещения, причем основной вклад в общую конвергенцию, как и для ЦВУ, дают смещения почвы выработки – максимальное значение (для ЗС-6) достигает 40,4 см на 182 сутки наблюдений.

В ходе натурных наблюдений получены картины развития смещений во времени. Они показали, что состояние ЦВМ не является удовлетворительным. Вместе с тем, состояние ЦВУ, расположенного достаточно близко от ЦВМ, но ближе к почве пласта (ниже по положению в пространстве) оказывается лучшим. В связи с этим на моделях из эквивалентных материалов выполнено исследование влияния на состояние ЦВМ изменения ее места заложения в пространстве.

Выбор состава эквивалентного материала зависит от физико-механических свойств моделируемых пород (табл. 1) и масштаба модели.

Таблица 1

Физико-механические параметры горных пород

Наименование пород	Предел прочности на одноосное сжатие $R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности на одноосное растяжение $R_p$ , кг/см <sup>2</sup>	Объемная масса $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Модуль упругости $E$ , кг/м <sup>2</sup>
Песчаник	550	55	2,8	$2,4 \times 10^8$
Глин.сланец	240	24	2,3	$1,3 \times 10^9$
Песчан.сланец	400	40	2,4	$1,1 \times 10^9$
Известняк	600	60	2,5	$2,7 \times 10^8$
Уголь	200	20	1,8	$2,78 \times 10^9$

Исходя из задач, стоявших в ходе моделирования и габаритов стенда для испытаний, масштаб моделирования был принят равным 1:100.

В качестве эквивалентного материала была принята песчано-парафинографитовая смесь с добавлением технического вазелина [3, 4].

Подбор смеси материала, эквивалентного горным породам, проведен по схеме, приведенной в работе [5].

Принятая технология изготовления материалов подбиралась для двух случаев: двухкомпонентная и трехкомпонентная смесь. В результате лабораторных исследований при подборе эквивалентных материалов для вмещающих пород пласта  $m_3$  шахты им. В.М. Бажанова были построены треугольные диаграммы Гиббса-Розебома [5] и определено, что для вмещающих пород при данных условиях необходимо применить трехкомпонентную смесь, а для угля – двухкомпонентную смесь.

На диаграммах Гиббса-Розебома для цементирующих смесей были определены компоненты, входящие в состав смеси по каждой из моделируемых горных пород. В состав цементирующих смесей для пород кровли входят три

компонента: песок+парафин+графит, т.е. эквивалентным составом, наиболее полно соответствующим физико-механическим характеристикам исследуемых пород признана песчано-парафино-графитовая смесь. Далее, в процессе подбора смеси для глинистого сланца, к графиту был добавлен солидол (технический вазелин) в соотношении: 1,4 (графит÷солидол). Эквивалентным составом, соответствующим физико-механическим характеристикам угля, является двухкомпонентная смесь, в состав которой входят песок+парафин.

В результате расчетов получено следующее весовое соотношение компонент смесей в % (табл. 2).

Таблица 2

Состав смесей по весу в %

Компонент	Песчаник	Глинистый сланец	Песчанистый сланец	Известняк	Уголь
Песок	96,8%	98,1%	98,5%	97,2%	97,0%
Парафин	2,5%	1,5%	1,1%	2,3%	3,0%
Солидол	-	0,1%	0,1%	0,2%	-
Графит	0,7%	0,3%	0,2%	0,3%	-
	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Определение предела прочности при сжатии, модуля упругости и коэффициента Пуассона производили на цилиндрических образцах с помощью малогабаритного пресса, изготовленного в лаборатории моделирования и конструкционных материалов кафедры строительства и геомеханики Национального горного университета. Указанный прибор позволяет регистрировать нагрузку и соответствующие ей деформации на образцах.

В ходе исследований было испытано 15 различных составов эквивалентного материала. Для каждого состава было проведено 6 серий испытаний. В результате определены 5 составов, которые по своим физико-механическим параметрам наиболее полно воспроизводят свойства горных пород шахты им. В.М. Бажанова (табл. 3).

Таким образом, подобранные эквивалентные материалы для вмещающих пород и угля обладают сходными с натурными физико-механическими свойствами, с небольшим отклонением относительно шахтных данных.

Для выполнения работ по моделированию использован специальный стенд, представляющий собой плоскую камеру с передней стенкой из прозрачного оргстекла толщиной 30 мм и систему рычажных домкратов. Внутренняя поверхность рабочей камеры стенда перед формированием модели тщательно протирается графитовым порошком для уменьшения сил трения на контакте «эквивалентный материал – стекло». Затем привинчивается передняя прозрачная крышка стенда. К верхней кромке крышки крепятся ребра жесткости для предотвращения выпучивания оргстекла.



Таблица 3

## Физико-механические параметры эквивалентных материалов

Наименование пород	Предел прочности на одноосное сжатие $R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности на одноосное растяжение $R_p$ , кг/см <sup>2</sup>	Объемная масса $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Модуль упругости $E$ , кг/м <sup>2</sup>
Песчаник	2,75	0,275	1,4	$1,7 \times 10^6$
Глин.сланец	1,2	0,12	1,15	$0,91 \times 10^7$
Песчан.сланец	2,0	0,2	1,2	$0,78 \times 10^7$
Известняк	3,0	0,3	1,25	$1,9 \times 10^6$
Уголь	1,0	0,1	0,9	$1,98 \times 10^7$

Моделируемый массив нагружается с помощью рычажных домкратов с интервалом в 1,0 кг. Возникающие при этом деформации мерной сетки регистрируются фотоаппаратом, установленным в одном положении на время всего эксперимента. Качественная картина поведения массива строится на основании изучения изменений фиксированного квадрата мерной сетки на фотоснимках.

Для серии экспериментов определена 31 ситуация размещения выработки в массиве по отношению к почве пласта: выработка в кровле или почве пласта (расстояние от почвы пласта до почвы выработки  $l = 0 \dots 15$  м). Глубина заложения выработки – 1100 м. Моделировался массив в пределах пласта  $m_3$  шахты им. В.М. Бажанова. Учитывая довольно высокую однородность эквивалентного материала, испытания каждого из рассматриваемых вариантов должно было производиться не менее трех раз. Фактически, с учетом отладки процесса моделирования и числа продублированных вариантов, было испытано 93 модели. По результатам исследования построены зависимости изменения высоты и ширины выработки от величины  $l$  (рис. 4 и 5).

Анализ результатов моделирования показывает следующее:

- независимо от расстояния от почвы пласта до почвы выработки характер разрушений приконтурного массива протекает приблизительно одинаково, только при расположении выработки в кровле пласта процессы деформирования при нагружении до величины  $0,5\gamma H$  становятся более интенсивными;

- величины деформаций кровли, почвы и боков выработки при нагружении до  $\gamma H$  и расположении выработки в кровле пласта практически в два раза больше, чем при расположении выработки в почве пласта;

- наименьшие деформации приконтурного массива вокруг выработки наблюдаются при расположении ее в почве пласта на расстоянии 9,0 м и более;

- в выработках, расположенных в кровле пласта, величина пучения больше и протекает с нарушением сплошности, чем при расположении в почве;

- наибольшие изменения высоты и ширины выработки наблюдаются при расположении ее на уровне и в кровле пласта и в диапазоне расстояний от 0,0 до +15 м практически не зависят от расстояния от выработки до почвы пласта (рис. 4), наименьшие – при расположении ее в почве пласта на расстоянии 9,0 м и более (рис. 5).

- исходя из величины смещения контура горной выработки, наиболее рациональное расположение ее – в почве пласта на расстоянии 9,0 м.

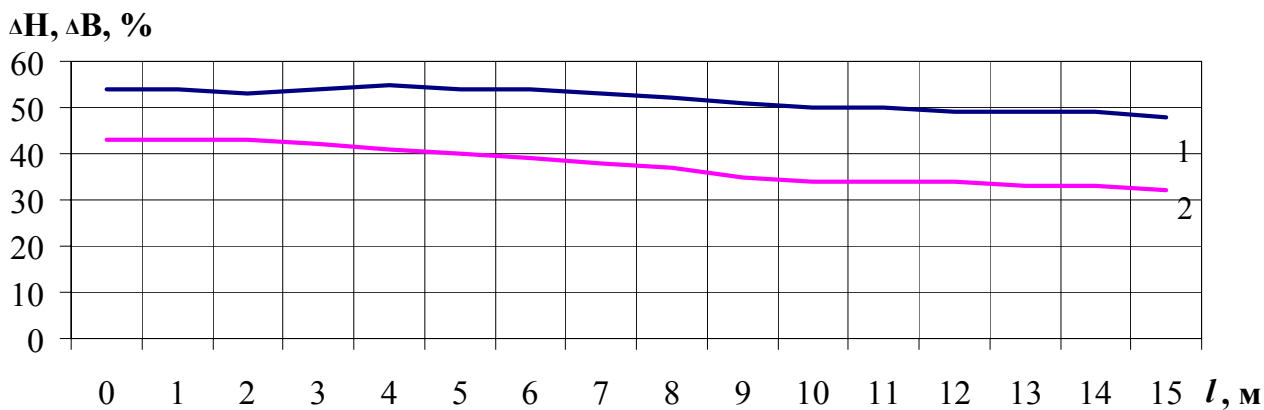


Рис. 4. Изменение высоты и ширины выработки в зависимости от расстояния от почвы пласта до почвы выработки при расположении ее в кровле пласта: 1 – высота, 2 – ширина

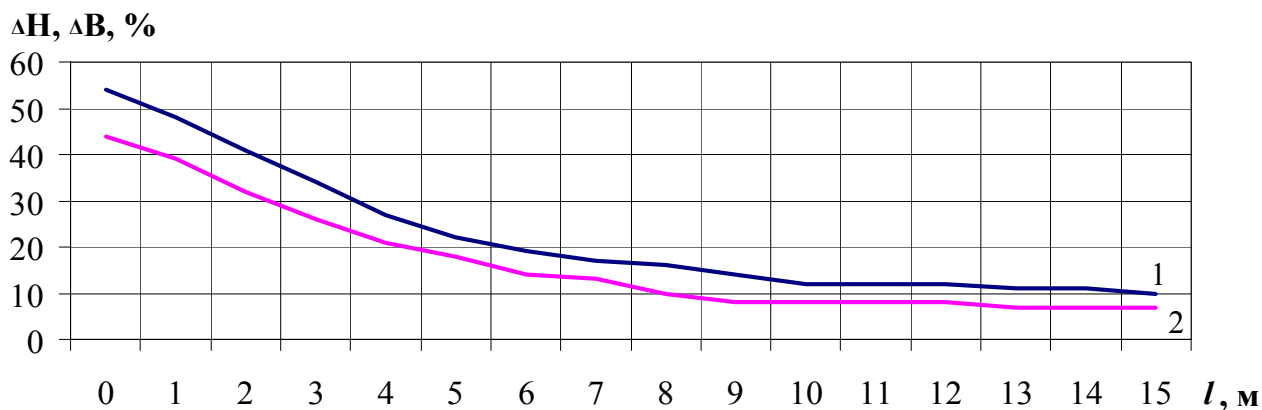


Рис. 5. Изменение высоты и ширины выработки в зависимости от расстояния от почвы пласта до почвы выработки при расположении ее в почве пласта: 1 – высота, 2 – ширина

Таким образом, моделирование на эквивалентных материалах позволило детально проследить механизм деформаций, разрушений и смещений толщи приконтурных пород в окрестности выработки, проводимой по разрушенным породам, определить ее рациональное местоположение.

**Выводы.** Результаты исследований, включающих лабораторные эксперименты и натурные наблюдения, показывают, что в условиях шахты им. В.М. Бажанова представляется возможным обеспечить эксплуатационное состояние Центральной вентиляционной магистрали в зоне разрушенных пород при расположении ее в почве пласта  $m_3$  на расстоянии от выработки до почвы пласта около 9,0 м. Для более достоверного выбора рационального местоположения Центральной вентиляционной магистрали представляется целесообразным дополнительно выполнить математическое моделирование, поскольку, несмотря на наглядность и удобство, лабораторное моделирование на эквивалентных материалах носит скорее качественный характер.

### Список литературы

1. Кузнецов Г.Н. Экспериментальные методы исследования вопросов горного давления / Г.Н. Кузнецов // Тр. совещания по управлению горным давлением – М.: Углетехиздат, 1948. – С. 9-149.
2. Олексюк А.Б. Результаты натурных наблюдений за состоянием капитальной выработки в условиях шахты им. В.М. Бажанова // Форум гірників – 2009: Матер. міжнар. конф.– Дніпропетровськ: НГУ, 2009.– С.187-190.
3. Козин А.М. Методическое руководство по подбору и испытанию эквивалентных материалов для моделирования / А.М. Козин, Е.П. Рутковская. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. – 40 с.
4. Насонов И.Д. Моделирование физических процессов в горном деле / И.Д. Насонов, В.И. Ресин. – М.: Изд. Академии горных наук, 1999. – 343 с.
5. Изучение проявлений горного давления на моделях / [Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Филиппова А.А. и др.] – М.: Углетехиздат, 1959. – 289 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.А.  
Надійшла до редакції 12.04.10*

УДК 622.831.322

© С.П. Минеев, О.В. Витушко, А.А. Рубинский

## **РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКЕ ВЫБРОСООПАСНЫХ ПЛАСТОВ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Розглянуто особливості відпрацювання вугільних пластів з погляду безпеки робіт на ділянках лав, що примикають до раніше відпрацьованих поверхів

В статье рассмотрены рекомендации по безопасному ведению работ на выбросоопасных пластах на участках примыкающих к ранее отработанным зонам

The feature of improvement emission dangerous coal layers are considered front the point of view of safety of works on sites of the lavas contiguous to earlier fulfilled floors

**Введение.** При отработке выбросоопасных угольных пластов очистными и подготовительными забоями достаточно часто пересекаются горно-геологические нарушения, к которым приурочен целый комплекс усложняющихся технологических факторов и опасностей для работающих. Для ведения горных работ в этих условиях разработана нормативная база, заложенная в «Инструкции по безопасному ведению горных работ на выбросоопасных пластах ...» [1, 2]. Однако предусмотренные нормативные мероприятия не во всех случаях обеспечивают безопасность выполнения технологических операций ведения горных работ. Так, например в 2004г при ведении горных работ на шахтах Украины произошло 71 газодинамическое явление при которых было смертельно травмировано 3 человека [3]. Поэтому авторы в статье проанализировав опыт отработки выбросоопасных пластов с учетом имеющих место усложняющих факторов, выполнили исследования по уточнению требований нормативной методики.