

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ
ГАЗООБИЛЬНОСТИ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

У даній статі розглядається можливість прогнозу метановості гірничих виробок з урахуванням геологічних та геомеханічних чинників.

**ANALYSIS OF POSSIBILITY OF PROGNOSIS ESTIMATION OF
GAZOBYL'NOSTY OF MAKING TAKING INTO ACCOUNT
GEOLOGICAL INFORMATION**

In given reasons possibility of prognosis of gazoobyl'nosty of the mountain making taking into account geological and geomekhanicheskykh factors is examined.

Газовыделения при подземной выемке угля хорошо изучены непосредственно в процессе работы очистных забоев. Однако они не рассматриваются в достаточной мере во взаимосвязи со сдвижением углепородного массива и его природной газоносностью. Детальное рассмотрение этой проблемы усложняется тем, что в настоящее время недостаточно изучена взаимосвязь параметров сдвижения углепородного массива и скорости подвигания очистной выработки. В тоже время сдвигающийся углепородный массив оказывает существенное влияние на газообильность горных выработок.

Проблемы безопасности горных работ, производительности очистных забоев, эффективности вентиляции и дегазации непосредственно связаны с газообильностью, что является важным и актуальным для горных предприятий в настоящее время.

В результате выемки угля при подвигании очистного забоя подработанный углепородный массив теряет свое первоначальное состояние [1–3]. В процессе выемки угольного пласта при прохождении динамической мульды сдвижения, происходит разуплотнение и дегазация горного массива.

В работе [4] авторы отмечают, что формирование зон дренирования газа в породах кровли разрабатываемого пласта происходит по мере увеличения площади выработанного пространства. После выемки угля происходит обрушение ложной кровли, слои непосредственной кровли прогибаются, расслаиваются, в них возникают секущие трещины, приводящие к образованию блоков, которые также обрушаются, заполняя выработанное пространство разрыхленной породой, создающей подпор вышележащей основной кровле. Основная кровля прогибается, в ней формируются трещины, преимущественно в нижней ее части. Над породами основной кровли формируется зона разуплотнения с отдельными трещинами расслоения.

Авторы [5] отмечают, что согласно многочисленным инструментальным наблюдениям скорость проседания земной поверхности разделяется на три стадии: начальная, активная и пассивная (рис. 1). Эту особенность скоростей

проседания земной поверхности исследователи объясняют следующими причинами. При подземной выемке угля происходит сдвижение угленородного массива, оконтуренного граничными углами сдвижения. Сдвижение горного массива происходит потому, что в результате выемки угля возникает нарушение равновесия угленородного массива, и его центр тяжести смещается, породы стремятся занять равновесное состояние. Процесс сдвижения угленородного массива происходит циклично, блоками (рис. 2).

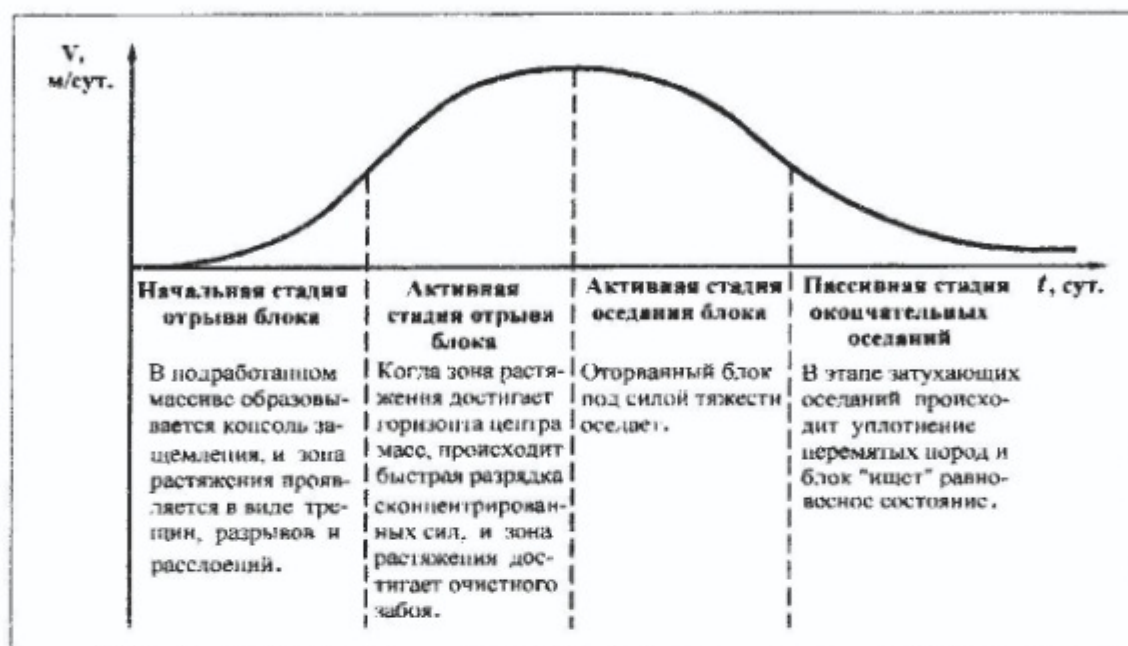


Рис. 1 – Схема распределения скоростей проседания земной поверхности над движущимся забоем и характеристика этапов сдвижения угленородного массива [5]

В работе [3] авторы выделяют 4 основные зоны деформации горных пород подрабатываемой толщи (рис. 3):

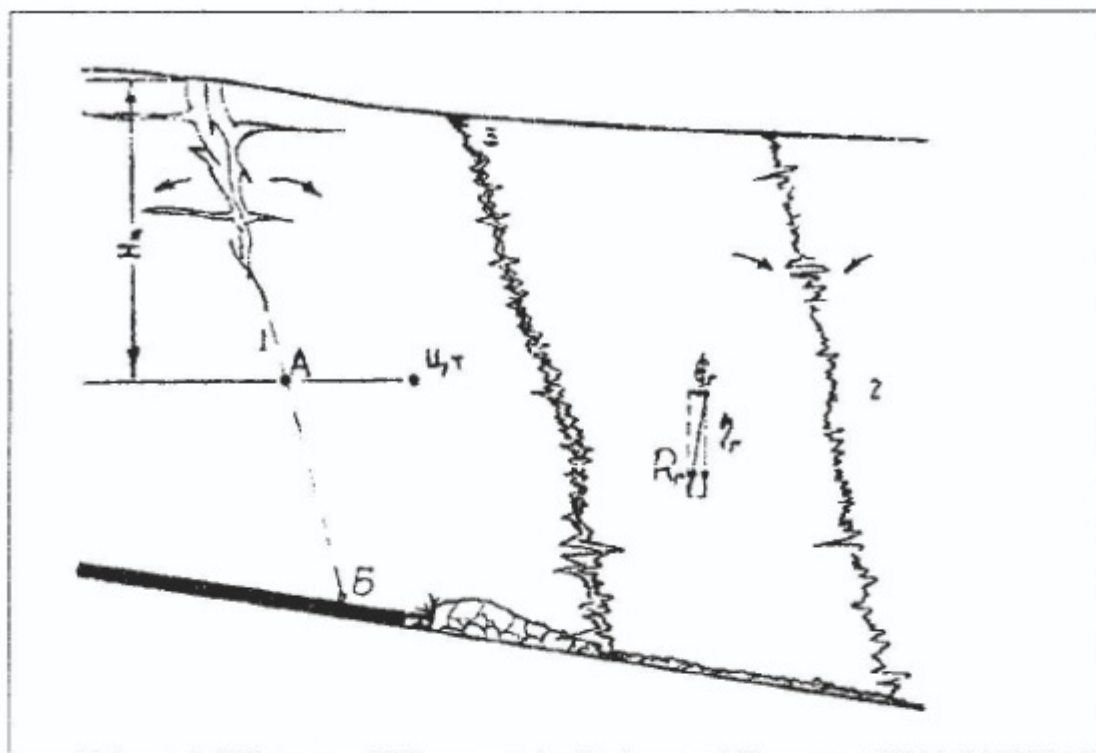
Зона I – беспорядочного обрушения горных пород;

Зона II – упорядоченного обрушения и проседания горных пород;

Зона III – разуплотнения горных пород, активных трещин расслоения и секущих вертикальных трещин;

Зона IV – зарождения трещин расслоения и секущих трещин.

Наибольший приток газа в лаву будет поступать из зон I и II за счет его выделения из разрушенных, разрыхленных и расчлененных на блоки пород. Зона III, после формирования зоны I и II, прогибается и параллельно с этим в ней формируются трещины расслоения или текстурные трещины (в основном). Газ из этой зоны через секущие трещины может попадать в выработанное пространство и увеличивать фоновое значение концентрации метана в лаве. Зона IV является зоной незначительного проседания и аккумуляции газа, и ее формирование по времени происходит позже [4].



1 – зона деформаций; 2 – зона деформаций сжатия; 3 – точка перегиба;
 Ц_т – центр тяжести блока; R_г – главный вектор сдвижения [5]

Рис. 2 – Физическая модель блочного сдвижения

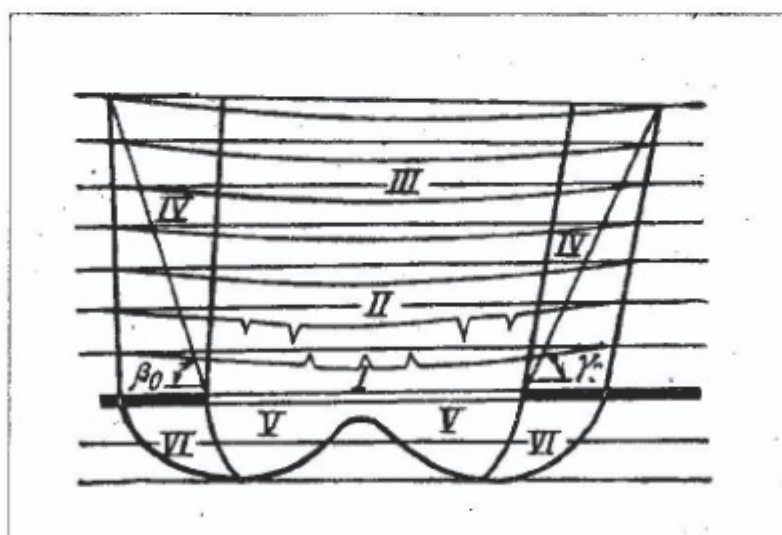


Рис. 3 – Зоны разуплотнения подработанного горного массива [3]

Анализ литературных источников [1–5] показал, что газообильность горных выработок зависит от скорости подвигания забоя, мощности обрабатываемого пласта и состава пород в кровле пласта при всех прочих равных условиях.

В процессе выполнения анализа влияния литологических факторов и геомеханических процессов на газообильность лавы было рассмотрено три

модели процесса посадки основной кровли, с условием, что при подвигании очистного забоя проседание основной кровли происходит в виде условных блоков (рис. 4). Выделение блоков производим следующим образом. Поскольку газообильность лавы зависит от скорости подвигания очистного забоя, принимаем среднюю скорость проходки 3,5 м/сут. Тогда величину блока принимаем равную месяцу отработки лавы, т.е. 30 сут. \times 3,5 м/сут = 105 м. Таким образом, при проседании первого блока разуплотнение горного массива происходит на высоту h_1 , проседание второго блока, согласно закономерности формирования мульды сдвижения, вызывает разуплотнение массива на высоту $h_2 = h_1 + \Delta h$, следующего блока на $h_3 = h_1 + 2\Delta h$ и т.д. до максимального значения мощности разуплотнения h_{max} . Следовательно, формулу высоты разуплотнения можно записать в таком виде:

$$h_{max} = h_1 + (n_i - 1)\Delta h, \quad (1)$$

где n_i – количество «условных» блоков, при которых достигается максимальное разрушение массива.

Необходимо отметить, что предложенные модели изображенные на рис. 4, будут иметь различные значения Δh , которые рассчитываются индивидуально для каждого предложенного варианта.

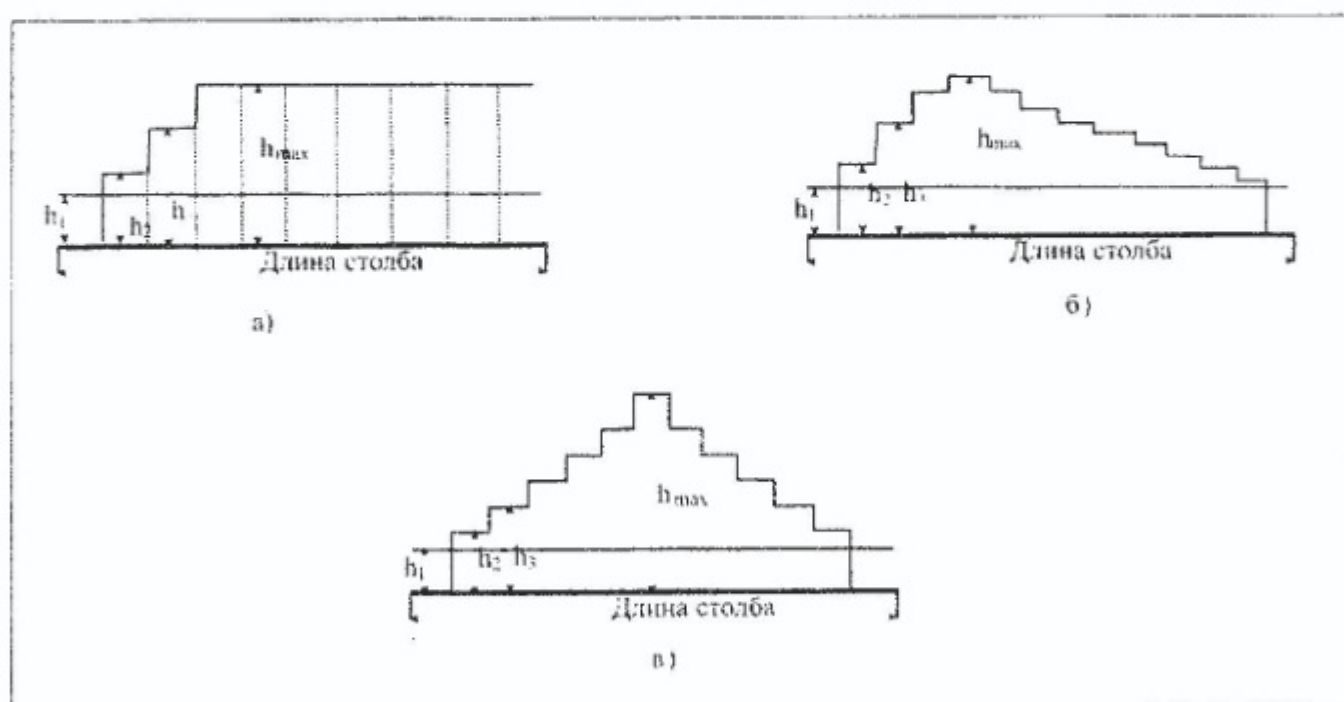


Рис. 4 – Модели сдвижения пород: а) первая, б) вторая, в) третья

Расчеты газообильности по предложенным моделям сдвижения пород в виде блоков были выполнены для западной части шахтного поля шахты им. А.Ф. Засядько на примере 16-й западной лавы пласта m_3 . Сравнение результатов расчета газообильности по предложенным моделям производились с фактическими данными газообильности лавы опубликованными ранее [6].

Расчет газообильности лавы производился следующим образом. Рассчитываем количество условных блоков посадки. Если длина столба составляет 1600 м, тогда $1600/105 \approx 16$ условных блоков. Для расчета величины блоков принимаем, что h_1 – соответствует зоне II (M_2), а h_{max} – зоне III (M_3) [3]. Тогда Δh вычисляется следующим образом:

$$\Delta h = \frac{h_{max} - h_1}{n_i - 1}, \text{ м.} \quad (2)$$

Для расчета M_2 и M_3 воспользуемся формулами:

$$M_2 = \frac{C_2 \times m_{отп}}{E_{н.с.} \times \Delta K_a}, \text{ м;} \quad (3)$$

$$M_3 = \frac{C_3 \times m_{отп}}{E_{н.р.} \times \Delta K_a}, \text{ м,} \quad (4)$$

где C_2, C_3 – коэффициенты, учитывающие зависимость горизонтальных деформаций слоев в различных зонах, изменяющийся в пределах соответственно 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; $m_{отп}$ – вынимаемая мощность пласта, м; $E_{н.с.}$ – предельные относительные деформации сжатия, при которых происходит разрушение горных пород; которые для песчаников, алевролитов и аргиллитов изменяются от 0,010 до 0,012; $E_{н.р.}$ – предельно относительные деформации растяжения, при которых горные породы начинают терять сплошность, и в них начинают появляться трещины: для алевролитов и аргиллитов – 0,006 – 0,008, песчаников – 0,003–0,004, углей – 0,002–0,003 и известняков – 0,005 –0,008; ΔK_a – поправочный безразмерный коэффициент, учитывающий влияние угла падения пород на развитие деформаций в массиве.

Поправочный коэффициент ΔK_a определяется по формуле:

$$\Delta K_a = \frac{0,75}{0,75 - 0,16 \frac{\alpha}{\rho}}, \quad (5)$$

где α – угол падения пород; ρ – переводной коэффициент, равный 57° .

Формулы для расчета газа в углях и породах принимаются в соответствии с [4]. При отработке угля непосредственно из него выделяется определенное количество газа. Для расчета количества газа выделяемого из одной тонны добытого угля (q_{po}) воспользуемся формулой:

$$q_{po} = \frac{(x - x_0)(100 - A^d - W^a)}{100}, \text{ м}^3/\text{т,} \quad (6)$$

где x, x_0 – природная и остаточная газоносность угля, $\text{м}^3/\text{т.с.б.м.}$; A^d – материнская зольность, %; W^a – аналитическая влага, %.

Остаточная газоносность определяется согласно нормативным документам [7] и зависит от марки добываемого угля.

Исходя из того, что газ в выработанное пространство поступает не только из угля, а и пород кровли, то для расчета средней газоносности пород с учетом литологического состава пород и предполагаемой величины блока используются следующие формулы.

Газовыделение из вмещающих пород кровли угольного пласта ($q_k, \text{м}^3$) определяется по формуле:

$$q_k = S \times h_i \times C_{oi} \times q_{po} \quad (7)$$

где h_i – интервал проседающих пород для каждого условного блока, включающий разные литологические разности пород кровли, м; C_{oi} – среднее содержание рассеянного органического вещества (РОВ) в породе, $\text{м}^3/\text{м}^3$: для аргиллитов – 0,08, алевролитов – 0,06, песчаников – 0,03; S – площадь исследуемого блока.

Газовыделения из песчаников, в основном, обусловлены объемами выделения свободного метана из пор, поэтому объемы газа выделяемого из песчаника определяются по формуле:

$$q_n = \frac{S \times h_i \times K_s \times P \times K_{изв}}{P_1} \quad (8)$$

где q_n – объемы метана, выделяемого из песчаника, м^3 ; h_i – мощность песчаника, м; K_s – коэффициент эффективной пористости, объем газа в м^3 в 1 м^3 породы; P – давление газа; при гидростатическом давлении: $P = 0,1\gamma H$, γ – плотность воды, $1\text{т}/\text{м}^3$; H – глубина залегания от пласта до земной поверхности; $K_{изв}$ – коэффициент извлечения метана, равен 0,75; P_1 – атмосферное давление, равное 1 атм.

Исходя из вышеизложенного, производим расчеты газообильности для трех различных моделей просадки основной кровли.

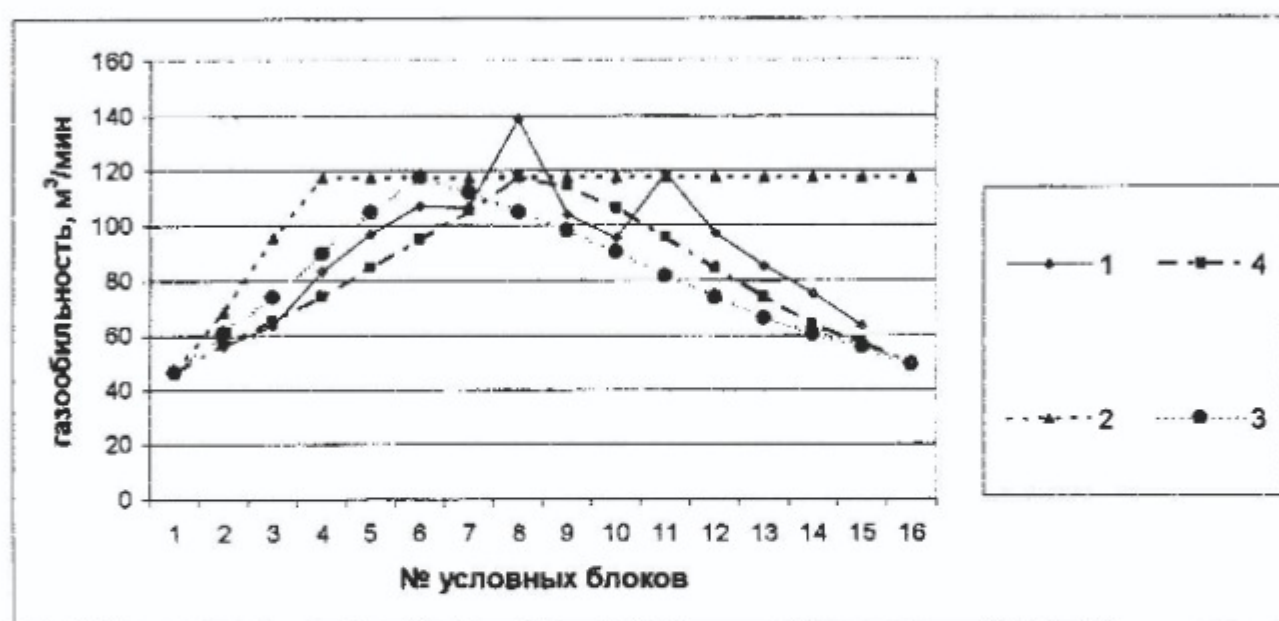
Первым этапом работ было определение h_1 (M_2) и h_{max} (M_3). Принимаем, что $m_{отр} = 1,7$ м, угол падения пород $\alpha = 7^\circ$, среднее для интервала пород кровли $E_{н.р.} = 0,005$, подставив эти значения в формулы (3), (4), (5), получаем $\Delta K_a = 1,03$; $M_2 = 27,4$ м; $M_3 = 99$ м.

Второй этап работ заключался в расчете Δh для каждой из моделей (рис. 4). Для первой модели, предложенной на рис. 4а, принималось, что лава достигает максимума разуплотнения пород (h_{max}) после первой посадки на расстоянии 280–290 м и после этого h_{max} остается неизменным. Тогда Δh составляет 23,9 м. Для второй модели, предложенной на рис. 4б, принимаем, что максимальное разуплотнение пород происходит на 1/3 длины столба лавы, следовательно, для левой части Δh составляет 14,32 м, а для правой $\Delta h = 7,16$ м.

Для третьей модели (рис. 4в) принимаем, что максимальная посадка угленосного массива происходит посередине столба лавы и Δh составляет 10,22 м.

На третьем этапе работ производился расчет газа выделяющегося из одной тонны угля в районе 16-й западной лавы пласта m_3 . Подставив исходные значения в формулу (6) ($x = 22,5 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$, $x_0 = 2 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$, $A^d = 11,13 \%$, $W^a = 1,17 \%$), получаем, что из одной тонны угля выделяется $17,98 \text{ м}^3$ газа.

Четвертый этап работ заключался в расчете газа, выделяющегося из пород кровли, по формулам (7) и (8) для каждой из предложенных моделей с учетом предполагаемой величины разуплотнения и литологического состава пород. После этого производился расчет общей газообильности для каждой из предложенной модели, которые представлены в виде графиков (рис. 5).



1 — фактическая газообильность; 2 — расчетная газообильность для первой модели;
3 — расчетная газообильность для второй модели; 4 — расчетная газообильность для третьей модели

Рис. 5 — Графики расчетной и фактической газообильности по блокам для разных моделей

Коэффициенты корреляции между фактической и расчетной газообильностью для каждого из вариантов составляют соответственно: для первой модели $r = 0,57$; для второй модели $r = 0,73$; для третьей модели $r = 0,89$ (рис. 6).



Рис. 6 – Значения коэффициентов корреляции между расчетной и фактической газообильностью по трем моделям: 1 – для первой модели; 2 – для второй модели; 3 – для третьей модели

Следующий этап работ заключался в проверке полученного результата. Для этого был произведен расчет газообильности с учетом фактической проходки очистного забоя по условно выделенным блокам, и рассчитан коэффициент корреляции фактической газообильности и расчетной газообильности с учетом фактической проходки очистного забоя за месяц для каждого из вариантов (рис. 7), которые соответственно составили: для первой модели $r = 0,9$; для второй модели $r = 0,82$; для третьей модели $r = 0,87$.

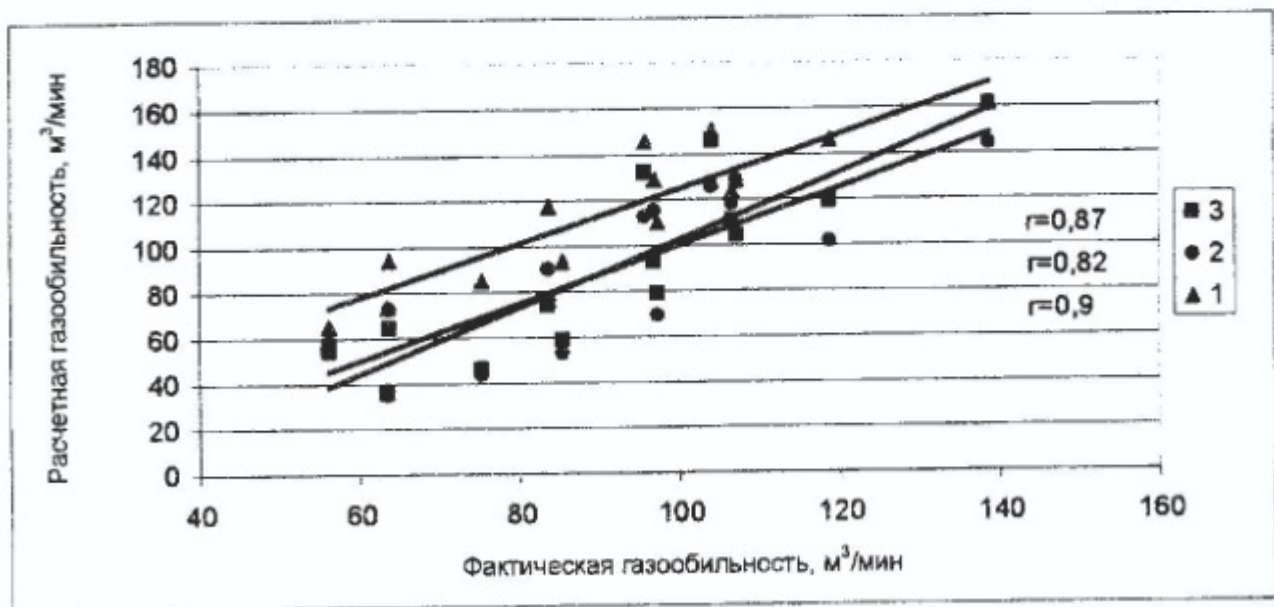


Рис. 7 – Значения коэффициентов корреляции между расчетной газообильностью по фактической проходке лавы и фактической газообильностью по трем моделям: 1 – для первой модели; 2 – для второй модели; 3 – для третьей модели

Таким образом, при сопоставлении полученных результатов получаем (табл. 1), что из трех рассмотренных моделей третья хорошо иллюстрирует высокую качественную связь расчетной и фактической газообильности при прочих равных значениях. Отсюда, предложенная третья модель сдвижения подработанной толщи позволяет с достоверностью 80–85 % прогнозировать газообильность очистного забоя при моноклиналином залегании пород.

Табл. 1 – Сравнение коэффициентов корреляции для каждого из моделей

Название модели	Коэффициент корреляции расчетной и фактической газообильности	Коэффициент корреляции расчетной газообильности по фактической проходке с фактической газообильностью
Первая	0,57	0,90
Вторая	0,73	0,82
Третья	0,89	0,87

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четверик М.С., Озеров И.Ф. Сдвижение земной поверхности и геологические процессы в подработанном массиве при разработке пологих пластов угля // Геотехническая механика. 1998. - № 9. - С. 64 – 70.
2. Четверик М.С., Анциферов А.В., Пимоненко Л.И., Андрощук Е.В. Сдвижение горного массива и геофильтрационные процессы при выемке угля в Западном Донбассе // Геотехническая механика. 2001. - №26 – С. 38 – 43.
3. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках – М.: Недра, 1985. – 248 с.
4. Лукинов В.В., Фичев В.В., Клец А.П. Принципы оценки ресурсов извлекаемого метана из подработанной угленосной толщи // Геотехническая механика. 2002. – №32. – С. 30 – 40.
5. Четверик М.С., Андрощук Е.В. Влияние сдвижения геологической толщи на газовыделения // Геотехническая механика. 2002. – №33 – С. 131 – 137.
6. Лукинов В.В., Баранов В.А., Пашенко П.С., Гуня Д.П. Влияние геологических факторов на газообильности горных выработок // Науковий вісник НГУ, 2005. №6. – С.76–79.
7. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 312 с.