© А.А. Зайцев, 2007

УДК 622.233.622:658.28

А.А. Зайцев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ ВЕСЬМА ОБВОДНЕННЫХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ТРУДНООБРУШАЮЩЕЙСЯ КРОВЛЕЙ

Разработка угольных месторождений, как правило, ведется в сложных горно-геологических условиях. Поэтому эффективная работа предприятий угольной промышленности во многом зависит от своевременного прогноза геомеханических и гидромеханических процессов. В настоящее время использование математических моделей, для изучения физических явлений в углепородном массиве, сводится к определению параметров только одного вида процесса – либо геомеханического, либо гидромеханического, либо гидродинамического. Причем определение этих параметров производится без учета их взаимодействия. В то же время опыт работы угольных предприятий показывает, что только комплексный гидрогеомеханический подход к изучению условий формирования техногенного режима подземных вод обеспечивает наиболее достоверные результаты прогнозных оценок.

Необходимо учитывать существенное влияние на фильтрацию подземных вод возникающих напряжений в горном массиве при отработке угольного пласта. В углепородном массиве происходит постоянное перераспределение напряжений и деформаций. Нестационарность процесса изменения геомеханических параметров связано с динамикой ведения работ и высокой скоростью продвигания горных выработок. В результате происходят существенные физико-механи-ческие изменения в углепородном массиве. Чем выше концентрация горных работ, тем больше влияние упруго-пластические деформации оказывают на формирование техногенного режима подземных вод. Это относится в первую очередь к разработке свиты пластов весьма обводненных угольных месторождений, во вмещающих породах которых присутствуют труднообрушающиеся кровли. В этом случае, учитывая динамический характер проявления горного давления при обрушении основной кровли в процессе очистных работ и образование зоны водопроводящих трещин (ЗВТ), возможно значительное поступление воды в горные выработки. В нередких случаях это приводит к аварийной ситуации.

Совместное исследование гидрогеомеханичских процессов позволит наиболее достоверно прогнозировать водоприток при ведении горных работ в зонах повышенного горного давления (ЗПГД), у скважин и затопленных выработок, в поймах и долинах рек, а так же

при подработке других водных объектов.

С другой стороны, следует отметить, что для всех литотипов горных пород характерно существенное снижение прочности в водонасыщенном состоянии. Величина относительного снижения прочности, выражаемая коэффициентом размягчения, находится в прямой зависимости от водопоглащения и развитие горных работ только усиливает этот процесс.

В этой связи возникает актуальная научно-практическая задача синтеза алгоритма и программного обеспечения расчетов гидродинамических, геомеханических и гидромеханических процессов при поэтапной их интеграции, с учетом изменения механических, фильтрационных и деформационных свойств горных пород в зоне влияния подземных горных выработок.

Адаптация математической модели реальному объекту исследования, при решении деформационной задачи, достигается использованием теории мягких слоев, основанной на процессе разрушения углепородного массива по межслоевым контактам. В математическую модель вводится корректировка, учитывающая использование плоскостей расслоения с более низким модулем упругости, и таким образом, при формировании матриц жесткости элементов, учитывается изменение физико-механических свойств пород.

При определении гидромеханических параметров в математических расчетах, при формировании матриц жесткости, используется условие коррекции фильтрационных свойств симплекс-элементов, с учетом нелинейного характера зависимостей, связывающих фильтрационные свойства и деформации в процессе изменения геомеханических параметров в углепородном массиве.

Зависимость коэффициента фильтрации от изменения деформаций углепородного масссива можно выразить соотношением

$$K_{\phi i} = K_{\phi 0}(1 - \mu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)), \qquad (1)$$

где $K_{\phi i}, K_{\phi 0}$ – коэффициент фильтрации соответственно в зоне влияния горных работ и в нетронутом массиве; μ – эмпирический коэффициент; $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – соответственно значения деформаций по оси x и y.

Матрица жесткости D_0^n фильтрационных свойств симплекс-элементов, при стационарном давлении, представляется в следующем виде:

$$D_0^n = \begin{bmatrix} K_{xx}^0 & 0 \\ 0 & K_{yy}^0 \end{bmatrix}, \qquad (2)$$

где K_{xx}^0 и K_{yy}^0 – соответственно коэффициенты фильтрации по оси x и y при стационарном давлении; n – номер элемента, n = 1, N; N – количество элементов.

При деформациях в углепородном массиве, в соответствии с соотношением (1), матрица жесткости D_i^n симплекс-элементов преобразовывается к следующему виду:

$$D_i^n = \begin{bmatrix} K_{xx}^i & 0 \\ 0 & K_{yy}^i \end{bmatrix}, \qquad (3)$$

где K_{xx}^i и K_{yy}^i – соответственно коэффициенты фильтрации по оси x и y с учетом деформации углепородного массива.

Таким образом, фильтрационная задача решается в два этапа. Сначала вычисляются гидромеханические параметры при стационарном давлении, а затем, с учетом деформации углепородного массива.

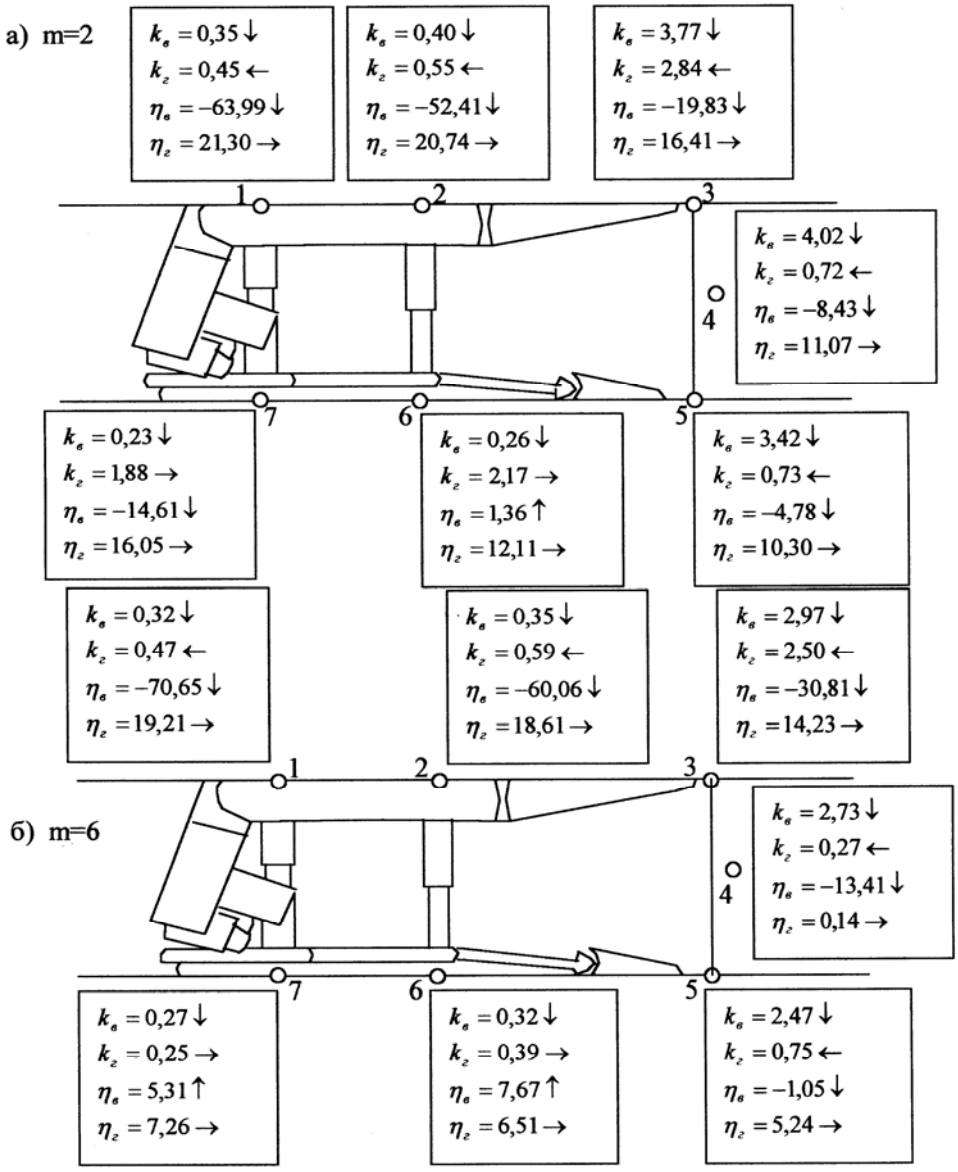

Рис. 1. Геомеханические параметры при разной мощности угольного пласта 2 и 6 м: $k_в$ - коэффициент концентраций вертикальных напряжений; $k_г$ - коэффициент концентраций горизонтальных напряжений; $\eta_в$ - вертикальные смещения, мм; $\eta_г$ -горизонтальные смещения, мм

Движение капельножидких вод подчинено действию гравитационных и компрессионных сил. По этим причинам движение подземных вод может идти в любом направлении – вниз, вверх, по пласту, через пласты в соответствии с

направлением передачи энергии в сторону падения напоров. Исследования проводились с учетом расположения источника поступления воды в горные выработки. Рассматривались два варианта. В первом варианте источник воды имел локальный характер. Во втором варианте источник находился в водонасыщенном слое песчаника. Для исследования были выбраны семь характерных точек (рис. 1). Точки 1 и 2 расположены в кровле пласта на участке распора соответственно заднего и переднего ряда гидростоек. Точки 3 и 5 находятся соответственно на пересечении кровли и почвы пласта с плоскостью забоя. Точка 4 расположена на расстоянии 0,76 м от поверхности очистного забоя вглубь пласта. Характерные точки 6 и 7 соответствуют участку распора переднего и заднего ряда гидростоек в почве угольного пласта. В качестве объекта исследования рассматривались относительные показатели изменения напряжений и смещений в углепородном массиве. Относительные показатели изменения вертикальных и горизонтальных напряжений в данном случае равны $\frac{\sigma_в}{\lambda \cdot \mathrm{H}}$ и $\frac{\sigma_г}{\lambda \cdot \mathrm{H}}$ соответственно, где $\sigma_в$ и $\sigma_г$ - вертикальные и горизонтальные напряжения; γ – удельная плотность пород; H – глубина разработки.

Относительные изменения вертикальных и горизонтальных смещений характеризуются величиной, равной отношению смещений в углепородном массиве к мощности пласта, т.е.

$$\omega_в = \frac{\eta_в}{m} \text{ и } \omega_г = \frac{\eta_г}{m},$$

где $\eta_в$, $\eta_г$ - соответственно вертикальные и горизонтальные смещения, м; m – мощность пласта, м.

В зависимости от расположения источника воды, значение напора, по мере удаления от источника, уменьшается. Для источника с дебитом 250 $м^3$/сут, расположенного в 5 м от забоя, рассчитанного для напряжений углепородного массива при стационарном давлении, напор уменьшается от 270 м – у поверхности очистного забоя, до 190 м – к выработанному пространству. В результате упруго-пластических деформаций напор значительно изменяет свои значения. При равных условиях напор равен соответственно 220 м и 165 м. Для источника воды расположенного в 10 м и 21 м от очистного забоя значения напоров равны соответственно: для расчета на γH – 200 м, 155 м и 130 м, 110 м; для упруго-пластических деформаций – 175 м, 135 м и 115 м, 95 м.

Для локальных источников, расположенных в кровле угольного пласта принципиальных изменений, относительно первого варианта, в распределении напоров нет. Полная энергия подземного потока определяется, в основном, его потенциальной составляющей, т.е. гидростатическим напором.

Для локального источника в 5м от забоя разность напоров увеличивается к забою до – 50 м, достигая максимального значения – 65 м в почве пласта в 5 м впереди очистного забоя. Рассматривая источник воды в 10 м и 21 м от забоя эти показатели равны – 35 м, – 40 м и – 15 м, – 16 м соответственно (рис. 2–4). Если источник воды располагается в кровле пласта, а в этом случае рассматривались варианты его расположения непосредственно над механизированной крепью, в 10 м и 21 м от очистной выработки, то разность напоров достигает максимального значения примерно в 10 м от поверхности очистного забоя в сторону выработанного пространства. Мак-

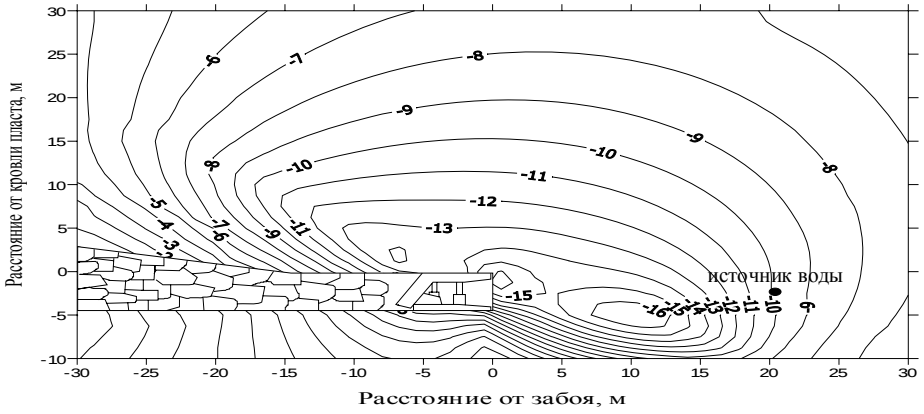

Рисунок 2- Разность напоров, м. Источник в угольном пласте с координатами X1=21м, Y1=-2.5м. Дебит воды в источнике равен 250 м3/сут

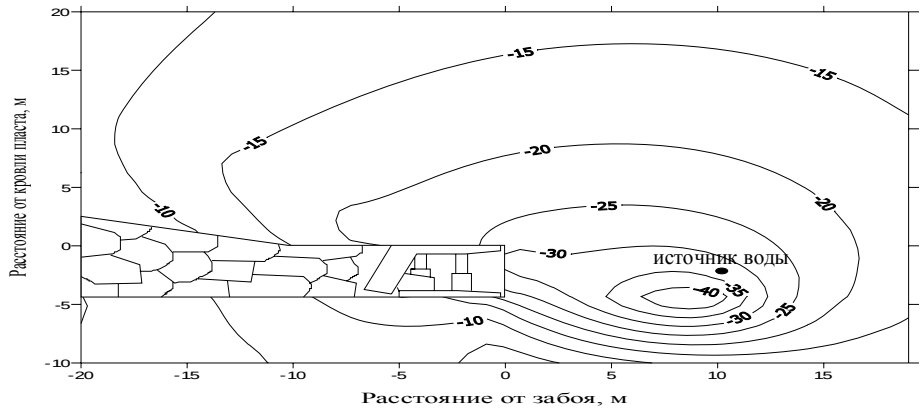

Рисунок 3 - Разность напоров, м. Источник в угольном пласте с координатами X1=10м, Y1=-2.5м. Дебит воды в источнике равен 250 м3/сут

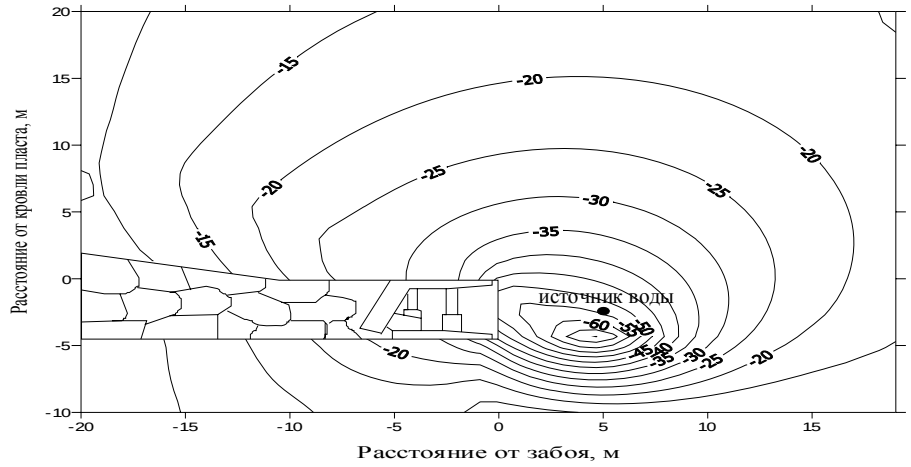

Рисунок 4 - Разность напоров, м. Источник в угольном пласте с координатами X1=5м, Y1=-2.5м. Дебит воды в источнике равен 250 м3/сут

симальные значения разности напоров в данном случае

работанному пространству и ее расход имеет максимальные значения в непо-

равны соответст[illegible]истной вы-

есть вода движет[illegible]

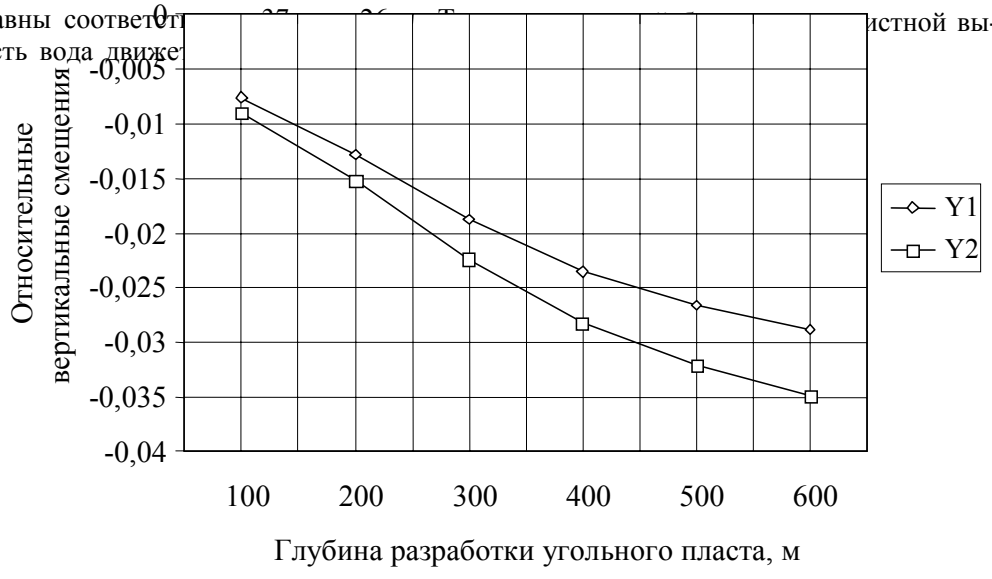

Рис. 5. Зависимость относительных вертикальных смещений в кровле от глубины разработки угольного пласта на уровне распора переднего и заднего ряда гидростоек: Y1 – относительные вертикальные смещения на уровне распора переднего ряда гидростоек; Y2 – относительные вертикальные смещения на уровне распора заднего ряда гидростоек

В процессе исследований деформаций труднообрушающихся пород кровли и фильтрации воды при разработке пологих пластов весьма обводненных угольных месторождений, когда источник воды находится в водонасыщенном слое песчаника, установлены следующие закономерности: с увеличением мощности пласта, в диапазоне от 2 до 6 м, коэффициент концентрации сжимающих вертикальных напряжений в породах кровли уменьшается; коэффициент концентрации сжимающих вертикальных напряжений в почве, с увеличением мощности пласта, увеличивается в районе распора переднего и заднего ряда гидростоек соответственно в 1,23 и 1,17 раза; коэффициент концентрации горизонтальных напряжений в кровле пласта возрастает, а в почве уменьшается; вертикальные смещения в кровле, по мере увеличения мощности угольного пласта (рис. 1), возрастают в 1,1 – 1,55 раза; при изменении глубины разработки в 6 раз (100 м $\leq H \leq$ 600 м) относительные вертикальные и горизонтальные смещения в кровле возрастают приблизительно в 3,8 раза (рис.к 5); при увеличении коэффициента фильтрации по оси Y в кровле и в почве, разность напоров в характерных точках увеличивается в 1,05 раза и уменьшается в 4 раза соответственно, то есть на водоприток в горные выработки большое значение оказывает водопроницаемость почвы угольного пласта; с увеличением расстояния от водонасыщенного слоя до угольного пласта в интервале от 10 м до 70 м разность напоров уменьшается в 1,2

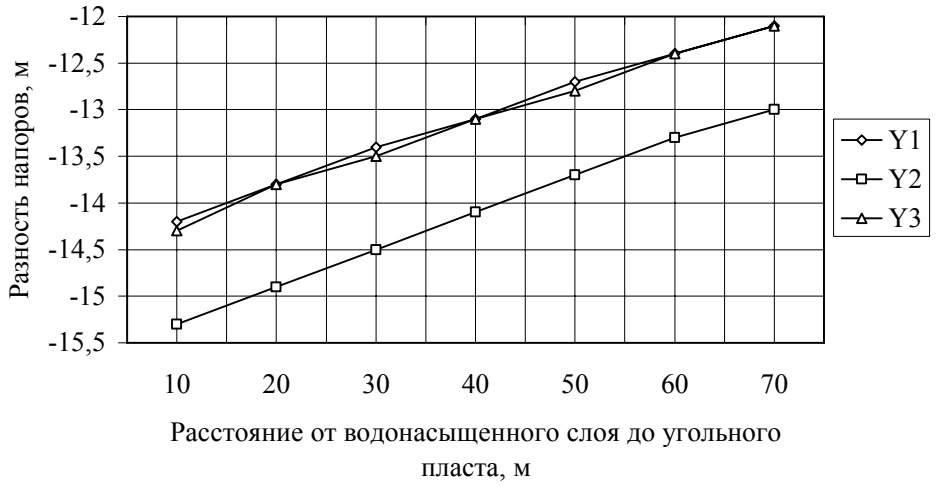

Рис. 6. Зависимость разности напоров от расстояния водонасыщенного слоя до угольного пласта: Y1 – значение разности напоров в первой характерной точке; Y2 – значение разности напоров во второй характерной точке; Y3 – значение разности напоров в третьей характерной точке зависимость водопритока от концентрации напряжений в углепородном массиве (рисунок 7); с увеличением крепости пород непосредственной кровли, в интервале от 2 до 10, водоприток уменьшается на 11%

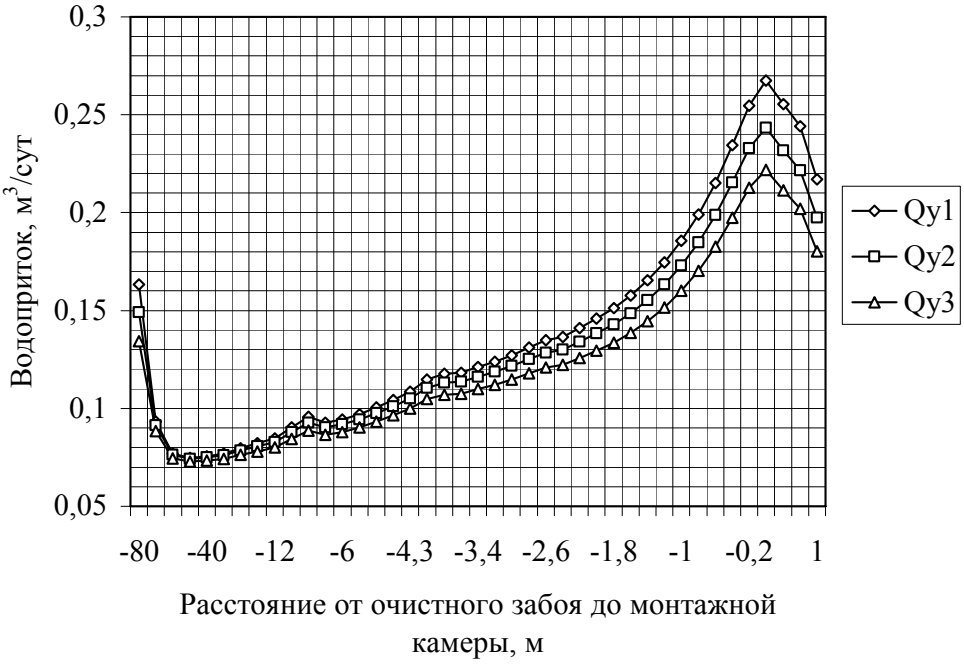

Рис. 7. Зависимость водопритока с кровли в очистном забое от изменения мощности угольного пласта на расстоянии 80 м от монтажной камеры: Qy1 – водоприток с поверхности очистного забоя при мощности угольного пласта 1,5 м; Qy2 – водоприток с поверхности очистного забоя при мощности угольного пласта 3 м; Qy3 – водоприок с поверхности очистного забоя при мощности угольного пласта 4,5 м

раза и представляет собой практически линейную зависимость (рисунок 6); максимальный водоприток в очистной забой наблюдается в момент первичного обрушения кровли, в дальнейшем, после первичного и вторичного обрушения основной кровли, водоприток уменьшается в 1,3 раза, и наоборот, в выработанном пространстве, за счет образования ЗВТ и перетока воды, увеличивается в 4,8 раза; при увеличении расстояния КМЗ до монтажной камеры с 20 м до 80 м, в связи с деформацией углепородного массива и образования ЗВТ, происходит уменьшение водопритока в очистной забой в 2 раза; установлена прямо пропорциональная

В соответствии с вышеизложенным, определение гидромеханических и геомеханическхих параметров, с учетом их взаимодействия в процессе ведения горных работ, позволит наиболее качественно прогнозировать эти процессы при разработке проектно-технической документации, как на этапе проектирования новых угольных шахт, так и в процессе их эксплуатации. ГИАБ

Коротко об авторах

Зайцев А.А. – ОАО шахта «Полосухинская» г. Новокузнецк.

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ОАО РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ДОБЫЧИ НЕФТИ			
ДАНИЛЬЧЕНКО Олег Николаевич	Методические принципы информационной поддержки адаптации геолого-технологических моделей	25.00.17	к.т.н.
ДЗЕТЛЬ Нурбий Бисланович	Геоэкологическое обоснование и совершенствование комплекса природоохранных технологий при разработке нефтегазо-	25.00.36 25.00.17	к.т.н.

	вых месторождений		